

# 실외 대기오염물질이 소아청소년 알레르기비염에 미치는 영향

성명순,<sup>1</sup> 김민지,<sup>2</sup> 김현희,<sup>3</sup> 나영호,<sup>4</sup> 박 양,<sup>5</sup> 박용민,<sup>6</sup> 신윤호,<sup>7</sup> 염혜영,<sup>8</sup> 이경석,<sup>9</sup> 이웅주,<sup>10</sup> 전윤홍,<sup>3</sup> 지혜미,<sup>11</sup> 최봉석,<sup>12</sup> 최선희,<sup>4</sup> 김효빈;<sup>13</sup> 대한 소아알레르기 호흡기학회 비염 연구회

<sup>1</sup>순천향대학교 구미병원 소아청소년과, <sup>2</sup>세종충남대학교병원 소아청소년과, <sup>3</sup>가톨릭대학교 의과대학 소아청소년과학교실, <sup>4</sup>경희대학교 의과대학 소아청소년과학교실,

<sup>5</sup>원광대학교 의과대학 산본병원 소아청소년과, <sup>6</sup>건국대학교 의학전문대학원 소아과학교실, <sup>7</sup>차의과대학교 의학전문대학원 소아청소년과학교실 강남차병원,

<sup>8</sup>서울의료원 소아청소년과, <sup>9</sup>한양대학교 소아청소년과학교실, <sup>10</sup>연세대학교 의과대학 용인세브란스병원 소아청소년과, <sup>11</sup>차의과대학교 의학전문대학원

소아청소년과학교실, <sup>12</sup>경북대학교 의과대학 소아과학교실, <sup>13</sup>인제대학교 상계백병원 소아청소년과

## Effects of outdoor air pollution on children with allergic rhinitis

Myongsoon Sung,<sup>1</sup> Minji Kim,<sup>2</sup> Hyun Hee Kim,<sup>3</sup> Yeong-Ho Rha,<sup>4</sup> Yang Park,<sup>5</sup> Yong Mean Park,<sup>6</sup> Youn Ho Sheen,<sup>7</sup> Hye Yung Yum,<sup>8</sup> Kyung Suk Lee,<sup>9</sup> Yong Ju Lee,<sup>10</sup> Yoon Hong Chun,<sup>3</sup> Hye Mi Jee,<sup>11</sup> Bong Seok Choi,<sup>12</sup> Sun Hee Choi,<sup>4</sup> Hyo-Bin Kim;<sup>13</sup> for the Rhinitis Study Group in the Korean Academy of Pediatric Allergy and Respiratory Diseases

<sup>1</sup>Department of Pediatrics, Soonchunhyang University Gumi Hospital, Gumi; <sup>2</sup>Department of Pediatrics, Chungnam National University Sejong Hospital, Sejong;

<sup>3</sup>Department of Pediatrics, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul; <sup>4</sup>Department of Pediatrics, School of Medicine, Kyung Hee University,

Seoul; <sup>5</sup>Department of Pediatrics, Wonkwang University Sanbon Hospital, Gunpo; <sup>6</sup>Department of Pediatrics, Konkuk University Medical Center, Konkuk

University School of Medicine, Seoul; <sup>7</sup>Department of Pediatrics, CHA Gangnam Medical Center, CHA University School of Medicine, Seoul; <sup>8</sup>Department of

Pediatrics, Seoul Medical Center, Seoul; <sup>9</sup>Department of Pediatrics, Hanyang University Guri Hospital, Hanyang University College of Medicine, Guri; <sup>10</sup>Department

of Pediatrics, Yongin Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, Yongin; <sup>11</sup>Department of Pediatrics, CHA Bundang Medical Center, CHA University

School of Medicine, Seongnam; <sup>12</sup>Department of Pediatrics, School of Medicine, Kyungpook National University, Daegu; <sup>13</sup>Department of Pediatrics, Asthma and

Allergy Center, Inje University Sanggye Paik Hospital, Seoul, Korea

The global worsening of air pollution has decreased the quality of life. Air pollutants can induce oxidative stress, epigenetic changes, and alterations to microRNA expression in the airway and skin, leading to immune dysregulation. Previous epidemiological studies suggest a strong association between outdoor environmental pollution and childhood allergic disease, especially allergic rhinitis (AR). Moreover, traffic-related air pollution has increased the severity and incidence of AR, and heavy traffic has been associated with an increased prevalence of AR. Thus, this review aimed to define outdoor environmental pollution and clarify the mechanisms by which air pollutants aggravate AR. In addition, we performed a systematic review and meta-analysis to summarize the findings of several domestic and international epidemiological and clinical studies about the effects of air pollution on AR in children. (*Allergy Asthma Respir Dis* 2022;10:139-144)

**Keywords:** Allergic rhinitis, Air pollution, Children, Epidemiological studies

## 서론

알레르기비염은 비점막에 흡입항원이 노출되었을 때 수양성 콧물, 코막힘, 재채기, 코가려움, 후비루와 같은 증상이 발생하는 질환으로, 알레르기비염의 악화는 일상생활의 불편함, 학업성취도 저하 등 삶의 질을 떨어뜨리며 사회경제적인 부담을 초래하기도 한다.<sup>1</sup> 최근 알레르기비염 유병률은 세계적으로 증가 추세를 보이고 있는

데, 국내 소아청소년 알레르기비염 유병률 또한 증가 추세를 보이고 있다.<sup>2</sup> 2012년에서 2013년에 걸쳐 시행한 전국 소아청소년 대상 조사에서 알레르기비염 진단율은 초등학생 42.6%, 중학생 33.9% 이었고, 최근 12개월 이내 알레르기비염 증상은 초등학생 46.0%, 중학생 37.0%로 계속적으로 증가하고 있었다.<sup>3</sup> 또한 2008년에서 2017년까지 10여 년간 국민건강영양조사 연구에서도 알레르기비염의 유병률은 각각 영아 9.0%, 미취학아동 20.2%, 학동기 소아청

Correspondence to: Hyo-Bin Kim <https://orcid.org/0000-0002-1928-722X>

Department of Pediatrics, Inje University Sanggye Paik Hospital, 1342 Dongil-ro, Nowon-gu, Seoul 01757, Korea

Tel: +82-2-950-1663, Fax: +82-2-950-1662, Email: hbkim@paik.ac.kr

Received: March 17, 2022 Revised: April 21, 2022 Accepted: April 27, 2022

© 2022 The Korean Academy of Pediatric Allergy and Respiratory Disease  
The Korean Academy of Asthma, Allergy and Clinical Immunology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative

Commons Attribution Non-Commercial License

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

소년 27.6%로, 특히 학동기 소아청소년에서 알레르기비염의 유병률이 유의하게 증가하는 양상을 보이고 있었다.<sup>4</sup>

증가된 알레르기비염의 원인 중 하나로 지목되고 있는 실외 공기 오염에 대해서 최근 국내외적으로 관심이 증가되고 있는데 실외 공기오염물질은 알레르기비염의 유병률과 중증도와 상관관계가 있다고 알려져 있다.<sup>5</sup> 이에 알레르기비염과 미세먼지와 같은 대기오염 등 실외 대기오염물질에 대한 많은 연구가 국내외에서 이루어져 왔다.

그리하여 저자들은 알레르기비염과 연관된 실외 대기오염물질의 종류와 발생기전을 조사하고, 동시에 국내외 발간된 연구 결과들을 요약해서 실외 대기오염물질이 소아청소년들에 있어 알레르기비염 발생과 증상 악화에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

### 실외 대기오염물질의 종류

대기오염물질이란 공기 중에서 입자 또는 가스의 형태로 존재하면서 인체에 해로운 영향을 줄 수 있는 다양한 물질을 말한다. 그 중 실외 공기오염물질은 주로 산불, 화산, 황사와 같은 자연현상과 자동차 배기가스나 탄소 연료 연소와 같은 산업 환경과 관련되어 발생된다.

알레르기질환과 관련된 대표적인 실외 공기오염물질로는 미세먼지, 이산화황(SO<sub>2</sub>), 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO), 오존(O<sub>3</sub>) 등이 있다.<sup>6</sup> 최근 실외 대기오염물질의 주된 원인 중 하나로 지목받고 있는 미세먼지는 공기 중에 부유하는 입자성 분진을 의미한다.<sup>7</sup> 미세먼지는 입자의 크기에 따라 분류할 수 있는데 10 µm보다 작은 크기의 미세먼지를 PM<sub>10</sub>, 입자의 크기가 2.5 µm 이하 크기의 미세먼지를 PM<sub>2.5</sub> (초미세먼지, fine particle), 0.1 µm 이하 크기의 미세먼지를 PM<sub>0.1</sub> (나노입자, ultrafine particle)으로 구분한다. 미세먼지에는 주로 꽃가루, 곰팡이 포자, 부유 먼지, 석탄재 등이 포함되어 있는데 반해, 초미세먼지는 자동차 연료에서 생성된 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 아황산화물(SO<sub>x</sub>), 탄소산화물(CO<sub>x</sub>), 오존(O<sub>3</sub>) 등과 암모니움, 다환 방향족 탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons)와 금속류(납, 카드뮴, 니켈, 구리, 아연, 망간, 철, 비소 등)까지 포함한다.<sup>6</sup> 미세먼지는 먼지의 크기, 표면적, 양과 입자 상태에 따라 인체 건강에 미치는 영향이 다르게 나타나는데 PM<sub>2.5</sub>는 상부 호흡기 섬모의 청소 작용에 의해 걸러지지 않고 폐포까지 도달하고 폐혈관을 따라 혈액 속에 흡수되어 폐와 전신에 영향을 미친다고 알려져 있다.

### 실외 대기오염물질이 알레르기질환에 영향을 미치는 기전

실외 대기오염물질이 알레르기질환에 영향을 미치는 기전으로는 산화스트레스와 염증반응의 증가, 후생유전학적 변화와 면역불

균형의 야기 등이 제시되고 있다.<sup>8,9</sup> 실외 공기오염물질들에 노출되면 기도상피세포에 산화스트레스가 발생하고 이것이 면역반응을 변화시켜 염증매개물질을 증가시킴으로써 알레르기 기도 질환을 유발하게 된다.<sup>8,9</sup> 항산화물질인 글루타치온(glutathione)의 대사에 관여하는 글루타치온-S-전달효소 M1 (glutathione-S-transferase M1) 유전자형에 따라 알레르기질환의 발생 위험이 부분적으로 조절될 수 있다는 연구 또한 산화스트레스 반응이 실외 대기오염에 의해 알레르기질환이 발생하는 데 있어 기전으로 작용함을 알려준다.<sup>8,9</sup> 산화스트레스 반응이 발생하면 프로스타글란딘(prostaglandin)이나 류코트리엔(leukotriene), 리폭신(lipoxin)과 같은 지질매개물질 생성이 증가되어 염증반응이 시작하게 된다. 또한 실외 대기오염물질의 노출은 기도 내 Th<sub>2</sub>, Th<sub>17</sub> 반응을 증가시켜 기도과민성을 증폭시키고 조절 T세포를 억제하여 알레르기반응을 야기한다. 후생유전학적 변화는 환경에 의하여 유전자의 발현이나 활성성이 변화하게 함으로써 질환 발생을 야기하게 된다.<sup>8,9</sup> 그러므로 태아 시기에 실외 대기오염물질에 노출되었을 때 알레르기 관련 물질의 DNA 메틸화를 통해 소아청소년기 알레르기질환 발생에 관여한다고 알려지고 있다.<sup>8,9</sup>

### 실외 대기오염물질이 소아청소년 알레르기비염에 미치는 영향

소아가 성인보다 실외 공기오염물질에 더 취약한 원인은 네 가지로 볼 수 있다. 첫째, 소아의 폐는 아직 완전히 발달하지 않았으며, 환경오염물질에 대한 조기 노출은 폐의 발달과 기능을 더 쉽게 변화시킬 수 있다.<sup>10</sup> 둘째, 소아는 성인에 비해 실외에서 더 많은 시간을 보내면서 운동 등의 신체 활동을 하는데, 이는 호흡기에 환경오염물질이 더 많이 축적되는 결과를 초래한다.<sup>10</sup> 셋째, 어린 아이들의 경우 구강 호흡이 주를 이루는데, 이는 비강 필터를 거치지 않는 오염된 입자가 하부 기도로 들어갈 수 있다.<sup>10</sup> 마지막으로 소아는 체중에 비해 호흡수가 많아 폐로 대기오염물질의 노출이 더 많이 되고 이는 면역 체계가 미숙하여 쉽게 호흡기감염이 일어나는 소아에서 더 큰 영향을 끼칠 수 있다는 점이다.<sup>11</sup>

실외 대기오염이 소아청소년기 알레르기비염의 발생과 악화에 영향을 미칠 수 있다는 것은 잘 알려졌으나 알레르기질환과 관련된 대표적인 실외 대기오염물질들은 대부분 대기 중에 서로 섞여서 복합체 형태로 존재하므로 개별 오염물질에 대한 영향을 따로 분리하여 평가하기는 어렵다.<sup>7</sup> 그리고 대기오염의 노출 영향은 노출된 시기, 개인의 감수성, 알레르겐과 동시 노출 등 여러가지 요인들에 의해 그 영향이 다르게 나타날 수도 있다.<sup>12</sup> 따라서 개별 오염물질의 영향을 평가하기 위해서 역학적 관찰 연구에서 혼란 변수를 제거하여 그 영향을 보정하고 실외오염물질과 알레르기비염과의 상관관계를 확인하였다. 다음에서는 실제 연구들의 사례들을 통해 실

**Table 1.** Epidemiologic studies concerning air pollution on the occurrence or aggravation of symptoms of allergic rhinitis in Korean children

Study	Regions	Design	Air pollutants	Subjects	Description
Kim et al. <sup>13</sup> 2011	3 Metropolitan cities, 4 industrial cities	A prospective survey of questionnaires during a 2-year period	O <sub>3</sub>	1,340 Children	Exposure to ozone was associated with current wheeze and allergic rhinitis
Jeong et al. <sup>14</sup> 2011	Incheon and Jeju City in 2011	A cross-sectional study	CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10/2.5</sub> , formaldehyde, total volatile organic compounds	2,974 Children	Children living in Incheon, which was more polluted than Jeju, had a higher rate of AR and asthma symptoms compared to children in Jeju
Kim et al. <sup>15</sup> 2018	Jincheon in 2012 and 2016	A prospective survey of questionnaires	PM <sub>10</sub> , SO <sub>2</sub>	2,052 Children	Pollen seasonal current AR symptoms have a close relationship with PM <sub>10</sub>
Jung et al. <sup>16</sup> 2015	10 Cities in 2005–2006	A prospective cross-sectional survey of questionnaires	Traffic-related air pollution	5,443 Children	Exposure to traffic-related air pollution may be associated with an increased risk of asthma, AR, and allergic sensitization in schoolchildren.
Min et al. <sup>17</sup> 2020	Seoul in 2010	A cross-sectional study	Traffic-related air pollution	14,614 Children	No association was found between asthma and AR, although PM <sub>2.5</sub> showed a marginal association with AR
Kim et al. <sup>18</sup> 2021	Ulsan from 2009 to 2018	A prospective survey of questionnaires	CO, O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , SO <sub>2</sub>	3,592 Children	The concentration of SO <sub>2</sub> was related to the prevalence of AR

O<sub>3</sub>, ozone; CO, carbon monoxide; NO<sub>2</sub>, nitrogen dioxide; PM<sub>10</sub>, particulate matter; PM<sub>2.5</sub>, fine particulate matter; AR, allergic rhinitis; SO<sub>2</sub>, sulfur dioxide; volatile organic compounds.

외 대기오염물질과 알레르기비염의 상관관계를 국내와 국외 연구에서 정리해보고자 한다.

## 1. 실외 대기오염물질이 알레르기비염의 증상 발생과 악화에 미치는 영향 – 국내 연구

실외 대기오염물질과 알레르기비염에 대한 국내 연구는 다음과 같다(Table 1). 지표 오존은 이산화질소와 휘발성 유기화합물이 태양열에 반응해 생성되어 인체에 악영향을 미치는데, 알레르기비염, 천식, 아토피피부염 등의 알레르기질환 발생과 깊은 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다. Kim 등<sup>13</sup>의 연구에서는 오존 노출이 산업 지역에 거주하는 아동들에게 최근 12개월간 알레르기비염 유병률과 유의미한 관련이 있고 오존과 실외 알레르겐에 대한 민감성 비율 사이에도 유의미한 양의 연관성을 발견했다.

저자들은 국내의 경우 봄철 편서풍으로 인해 고농도 미세먼지가 노출될 경우 거의 국내 전역에 이르게 되므로 미세먼지의 국내에서 지역적 차이는 무의미할 것으로 생각하였다. 그러나 Jung 등<sup>14</sup>이 2008년 우리나라의 인천과 제주지역 초등학교 2,974명을 대상으로 한 대규모 연구에서 인천지역의 학교에서 측정한 실외 미세먼지가 제주지역에 비해 높았으며 비염 증상 또한 인천지역 학생에서 더 유의하게 높게 나타났다. 따라서 알레르기질환 유병률의 지역적 차이는 미세먼지 농도의 지역적 차이에서 기인할 수도 있다고 하였다.

Kim 등<sup>15</sup>의 연구는 산업화 또는 도시화 지역에 거주하는 초등학교 취학 전 아이들을 대상으로 하였다. 비교적 장기간 전향적으로 진행된 이 연구에서 현재 알레르기비염 증상과 PM<sub>10</sub>과 이산화황 농도 사이에 유의미한 양의 연관성이 나타났다. 다만 이 연구는 실외 대기오염물질이나 꽃가루 노출이 알레르기비염 증상과 직결된

다는 점을 입증하기 위해서는 대기오염물질에 대한 취약성이나 꽃가루를 개개인 별로 추정해 조사할 필요가 있다고 언급하였다.

Jung 등<sup>16</sup>은 도로 근처 거주와 알레르기질환이나 알레르기감작 사이의 관련성을 평가하고자 2005년부터 2006년까지 국내 10개 도시에서 6–14세 사이의 학동기어린이 5,443명을 대상으로 연구를 시행하였다. 주요도로에서 75 m 미만의 거리에 거주지가 있어 대기 오염 노출이 많은 경우 알레르기비염 유병률과 알레르기감작의 위험이 높게 나타났으며 또한 알레르기비염의 증상과 치료 와도 관련이 있었다. 그리고 학동기어린이의 알레르기민감성은 거주지에서 주요도로까지의 거리, 주요도로의 길이, 주요도로영역의 비율과 관련이 있었다.

한편 서울지역 초등학교와 유치원 14,614명 어린이를 대상으로 한 2020년 Min 등<sup>17</sup>의 단면연구에서 아토피피부염의 증상과 진단은 각각 이산화질소와 PM<sub>10</sub>은 연관성을 보였다. 그러나 알레르기비염과 천식은 세 가지 실외 대기오염물질(이산화질소, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>)과 통계적으로 유의한 결과를 보이지 않았다. 그리고 울산 지역 3,592명 초등학교생들을 대상으로 한 2021년 Kim 등<sup>18</sup>의 전향적 연구에서 알레르기비염은 이산화황과 높은 연관성을 보였다.

실외 대기오염물질이 알레르기비염의 유병률 증가와 증상 악화 등에 영향을 미치는가를 적절히 평가하기 위해서는 출생 코호트가 가장 이상적인 방법이나, 국내연구에서는 이에 대한 연구가 부족한 실정이다.

## 2. 실외 대기오염물질이 알레르기비염의 증상 발생에 미치는 영향 – 국외 연구

실외 대기오염물질과 알레르기비염의 관련성에 대한 국외 연구

**Table 2.** Epidemiologic studies concerning air pollution on the occurrence or aggravation of allergic rhinitis symptoms in children abroad

Study	Regions	Design	Air pollutants	Subjects	Description
Schierhorn et al. <sup>19</sup> 1999	Germany	Human nasal mucosa <i>in vitro</i> study	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>	105 patients with surgical therapy	Low O <sub>3</sub> and NO <sub>2</sub> lead to inflammation of human nasal mucosa <i>in vitro</i> , and priming factors such as atopy or preexisting inflammation increase the sensitivity to O <sub>3</sub> and NO <sub>2</sub> .
Hajat et al. <sup>20</sup> 2001	London, UK between 1992 and 1994	Cross-sectional survey from 45–47 general practices	SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>	<1–14 Years: 44,406–49,596 registered patients 15–64 Years: 185,267–204,039 registered patients	SO <sub>2</sub> and O <sub>3</sub> seem mainly responsible to worsen allergic rhinitis symptoms, and both seem to contribute independently
Heinrich et al. <sup>23</sup> 2002	Germany in the 1990s	Prospective, cross-sectional survey	TSP, SO <sub>2</sub>	7,632 Children	The prevalence of non-allergic respiratory symptoms was decreased, along with improvements in air pollutants.
Morgenstern et al. <sup>21</sup> 2008	European	Birth cohort study	PM <sub>2.5</sub>	3,061 Children	PM <sub>2.5</sub> absorbance, statistically significant effects were found for asthmatic bronchitis (OR, 1.56; 95% CI, 1.03–2.37), and allergic sensitization to pollen (OR, 1.40; 95% CI, 1.20–1.64)
Penard-Morand et al. <sup>22</sup> 2010	French	Objective, cross-sectional study for 3 years	Benzene, VOC, SO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , CO	4,907 Children	There was an association between urban air pollution and childhood asthma and allergies
Wang et al. <sup>23</sup> 2016	Taiwan	Cross-sectional survey	PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , CO, O <sub>3</sub>	2,661 Kindergarten children	Exposure to house dust mites and PM <sub>2.5</sub> had increased the incidence of asthma and rhinitis
Bose et al. <sup>24</sup> 2018	Peru	Longitudinal study over 1 year	PM <sub>2.5</sub>	484 Children from 9 to 19 years	Higher PM <sub>2.5</sub> and black carbon exposure is associated with worse rhinitis QoL among asthmatic children.
Zou et al. <sup>25</sup> 2018	Europe, Asia	Meta-analysis (8 cross-sectional studies, 5 cohort studies) between 2000 and 2018	NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub>		The prevalence of AR will be increase when exposed to NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , and PM <sub>2.5</sub> , but maybe the relationship between SO <sub>2</sub> /PM <sub>10</sub> and the prevalence of AR is not close in Asia.
Wang et al. <sup>26</sup> 2020	Xinxiang, China	Time-series study by biomedical big data and 4 hospital data sets between 2015 and 2018	PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , CO	14,965 AR patients	Exposure to air pollutants was associated with increased AR risks, and children might be more vulnerable.
Bedard et al. <sup>27</sup> 2020	Northern and Central Europe users	Investigative study by using mobile app in 2017 and 2018	O <sub>3</sub> , PM <sub>2.5</sub>	36,440 VAS person-day (3,323 users)	There was a strong interaction between air pollutants and rhinitis symptoms in the grass pollen season
Lin et al. <sup>28</sup> 2021	Web databases (PubMed, Web of Science, Google Scholar)	Meta-analysis	PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>	21 Studies were included	PM <sub>2.5</sub> and PM <sub>10</sub> have different performances in different subgroups. PM <sub>2.5</sub> exposure has a more significant effect on children's AR than PM <sub>10</sub> .

O<sub>3</sub>, ozone; NO<sub>2</sub>, nitrogen dioxide; SO<sub>2</sub>, sulfur dioxide; TSP, total suspended particulates; PM<sub>2.5</sub>, fine particulate matter; OR, odds ratio; CI, confidence interval; VOC, volatile organic compounds; PM<sub>10</sub>, particulate matter; CO, carbon monoxide; QoL, quality of life; AR, allergic rhinitis; VAS, visual analog scale.



는 다음과 같다(Table 2).

만성 코막힘으로 비강 폐쇄 수술치료를 받은 105명을 대상으로 한 연구에서 오존과 질소산화물에 노출된 배양 배지의 코점막에서 높은 농도의 히스타민이 나타났다.<sup>19</sup> 이것은 아토피피부염이나 알레르기비염 등의 기존 염증 질환이 촉발인자(priming factor)로 작용하여 오존 농도와 산화질소에 대한 민감도를 증가시킨다는 것을 나타낸다.<sup>19</sup> 1992년부터 1994년까지 런던에서 시행한 대규모 단면 연구에서는 대기오염 중 이산화황과 오존이 알레르기비염 증상을 악화시킨다고 하였으며 1-14세 사이의 소아가 성인보다 더 뚜렷한 결과를 보였다.<sup>20</sup>

또한 3,061명의 소아를 6세까지 자동차관련 대기오염물질의 개인 노출량을 평가하고 알레르기 발생과의 관련성을 살펴본 유럽지역의 출생 코호트 연구에서도<sup>21</sup> 주요도로에 인접하여 대기오염물질 노출이 많은 소아들에게 다른 알레르기질환과 알레르겐 감각 위험도가 높게 나왔다. 이 연구에서는 주요도로에서 50 m 이내에 인접하여 거주하는 경우 노출량도 많을 뿐 아니라 더 유해한 매연에 노출되어 알레르겐 감각과 알레르기질환 발병에 악영향을 미치게 된다고 하였다.<sup>21</sup> 미국에서 7-8세 알레르기비염 소아 347명을 대상으로 3년간의 추적 관찰 연구를 하였는데 소아가 자동차배기가스 농도가 높은 곳에서 거주하며 동시에 높은 농도의 집먼지진드기 알레르겐에 노출되었을 때 낮은 농도에 노출된 소아에 비해서 비염 증상 지속성이 높은 것으로 나타났다.<sup>8</sup>

도시 대기오염과 소아청소년기 천식과 알레르기 사이에는 연관성이 있었다. 지난 3년간 현 주소지에 거주했던 4,907명의 아동에 대한 연구는 벤젠, 이산화황, PM<sub>10</sub>, 질소산화물 및 일산화탄소와 유의미한 양의 연관성을 보였다.<sup>22</sup> 대만에서 취학 전 연령의 2,661명 소아를 대상으로 한 대규모 연구에서도 집먼지진드기와 PM<sub>2.5</sub>가 알레르기비염 발생에 중요한 역할을 한다고 하였으며, 집먼지진드기와 PM<sub>2.5</sub>의 동시 노출은 천식 발생에 상승 효과를 보이나 알레르기비염과는 관련이 없다고 하였다.<sup>23</sup> 페루에서 9-19세 천식어린이들을 대상으로 한 연구에서는 PM<sub>2.5</sub>와 흑탄소에 높게 노출된 천식 아동이 비결막염과 관련된 삶의 질이 악화된 결과를 보였다.<sup>24</sup>

또한 2000년부터 2013년까지 대기 오염과 소아의 알레르기비염 유병률에 대한 유럽과 아시아 지역 13개의 연구를 분석한 메타분석에서는 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, 이산화질소, 이산화황에 대한 노출은 알레르기비염 유병률과 상관관계가 있었다.<sup>25</sup> 그러나 아시아 지역에서 이산화황/PM<sub>10</sub> 노출과 알레르기비염의 유병률은 상관관계가 없었다.<sup>25</sup>

한편, 최근 빅데이터나 앱을 이용한 연구들도 많이 행해지고 있다. 중국에서 빅 바이오메디컬 데이터와 4개 병원 데이터세트를 이용한 시계열연구에서는 PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, 이산화황, 이산화질소와 일산화탄소에 노출되는 것이 알레르기비염 위험 증가와 관련이 있으며, 15세 미만의 어린이가 더 취약할 수 있다고 하였다.<sup>26</sup> Bedard 등<sup>27</sup>은 알레르기 다이어리앱을 이용하여 2017년과 2018년 북유럽과 중부

유럽 사용자 3,323명을 대상으로 시각아날로그스케일을 활용해 기록한 알레르기증상의 일일 영향력을 분석하였다. 이 연구 결과에서는 조절되지 않는 알레르기비염 증상과 대기오염 사이의 관계는 자작나무화분 시기가 아니라 잔디 화분 시기라는 것으로 나타났다. Lin 등<sup>28</sup>은 웹 데이터베이스의 메타분석에서 입자 물질 노출과 아동 알레르기비염 유병률 사이의 관계를 21개 문헌연구들을 통해 분석하였다. 소아청소년 알레르기비염과 PM<sub>2.5</sub>에 대한 논문은 9개였으며 PM<sub>10</sub> 대한 논문은 15개였다.

추가적으로 호흡기 증상과 관련하여 독일 어린이 7,632명을 대상으로 한 대규모 설문지연구에서도 대기오염물질이 개선되었을 때, 최근 12개월간의 비염 증상 또한 감소하는 것으로 나타났다.<sup>29</sup>

## 결론

알레르기비염은 현재 국내외에서 소아청소년 알레르기질환 중 가장 높은 유병률을 보이고 있고 이로 인하여 개인적으로 학교나 주간 생활 삶의 질 저하뿐만 아니라 사회경제적 비용 부담도 더욱 커지고 있다. 그래서 저자들은 실외 대기오염과 알레르기비염과의 관련 기전을 설명하였으며, 상관관계 또한 국내외 문헌들을 통해 고찰하였다. 하지만 실외 대기오염과 알레르기비염과의 직접적인 인과관계를 증명하기 위해서는 앞으로 개인의 감수성, 개인 노출량, 알레르겐과 동시 노출 등 알레르기비염 발생의 결정 인자들에 대한 세밀한 조사들이 국내 연구에서는 추가적으로 필요할 것으로 보인다. 그리고 실외 대기오염물질의 종류, 분포 및 농도가 지역과 시간에 따라 변화한다는 점을 감안할 때, 앞으로 국내에서 실외 대기오염 노출 평가 연구, 유전-환경 상호작용 연구, 출생 코호트 연구 등 환경 요인에 대한 장기적이고 과학적인 연구를 통해 그 영향력을 평가할 필요가 있다. 특히 알레르기 고위험 영유아에서는 생후 초기부터 적극적으로 대기오염의 노출을 최소화하려는 노력으로, 현재 증가하고 있는 소아청소년 알레르기비염 유병률을 감소시킬 수 있을 것으로 보인다.

## REFERENCES

1. Bousquet J, Khaltaev N, Cruz AA, Denburg J, Fokkens WJ, Togias A, et al. Allergic Rhinitis and its impact on Asthma (ARIA) 2008 update (in collaboration with the World Health Organization, GA(2)LEN and Allergen). *Allergy* 2008;63 Suppl 86:8-160.
2. Hong SJ, Ahn KM, Lee SY, Kim KE. The prevalences of asthma and allergic diseases in Korean children. *Pediatr Allergy Respir Dis (Korea)* 2008; 18:15-25.
3. Kim Y, Seo JH, Kwon JW, Lee E, Yang SI, Cho HJ, et al. The prevalence and risk factors of allergic rhinitis from a nationwide study of Korean elementary, middle, and high school students. *Allergy Asthma Respir Dis* 2015;3:272-80.
4. Ha J, Lee SW, Yon DK. Ten-year trends and prevalence of asthma, allergic

- rhinitis, and atopic dermatitis among the Korean population, 2008-2017. *Clin Exp Pediatr* 2020;63:278-83.
5. Lee KI, Chung YJ, Mo JH. The impact of air pollution on allergic rhinitis. *Allergy Asthma Respir Dis* 2021;9:3-11.
6. Kelly FJ, Fussell JC. Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmos Environ* 2012; 60:504-26.
7. Bowatte G, Lodge C, Lowe AJ, Erbas B, Perret J, Abramson MJ, et al. The influence of childhood traffic-related air pollution exposure on asthma, allergy and sensitization: a systematic review and a meta-analysis of birth cohort studies. *Allergy* 2015;70:245-56.
8. Yoo Y. Air pollution and childhood allergic disease. *Allergy Asthma Respir Dis* 2016;4:248-56.
9. Huang SK, Zhang Q, Qiu Z, Chung KF. Mechanistic impact of outdoor air pollution on asthma and allergic diseases. *J Thorac Dis* 2015;7:23-33.
10. Susanna E, Rossana T, Mara L, Valentina P, Erica N, Silvia C, et al. Possible molecular mechanisms linking air pollution and asthma in children. *BMC Pulm Med* 2014;14:31.
11. Bateson TF, Schwartz J. Children's response to air pollutants. *J Toxicol Environ Health A* 2008;71:238-43.
12. Brandt EB, Myers JM, Ryan PH, Hershey GK. Air pollution and allergic diseases. *Curr Opin Pediatr* 2015;27:724-35.
13. Kim BJ, Kwon JW, Seo JH, Kim HB, Lee SY, Park KS, et al. Association of ozone exposure with asthma, allergic rhinitis, and allergic sensitization. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2011;107:214-9.
14. Jeong SH, Kim JH, Son BK, Hong SC, Kim SY, Lee GH, et al. Comparison of air pollution and the prevalence of allergy-related diseases in Incheon and Jeju City. *Korean J Pediatr* 2011;54:501-6.
15. Kim YJ, Yoon SA, Woo SI. Relation of allergic rhinitis, allergen sensitization, and air pollutant in preschool children. *Allergy Asthma Respir Dis* 2018;6:197-205.
16. Jung DY, Leem JH, Kim HC, Kim JH, Kwang SS, Lee JY, et al. Effect of traffic-related air pollution on allergic disease: results of the children's health and environmental research. *Allergy Asthma Immunol Res* 2015; 7:359-66.
17. Min KD, Yi SJ, Kim HC, Leem JH, Kwon HJ, Hong S, et al. Association between exposure to traffic-related air pollution and pediatric allergic diseases based on modeled air pollution concentrations and traffic measures in Seoul, Korea: a comparative analysis. *Environ Health* 2020;19:6.
18. Kim SH, Lee J, Oh I, Oh Y, Sim CS, Bang JH, et al. Allergic rhinitis is associated with atmospheric SO<sub>2</sub>: follow-up study of children from elementary schools in Ulsan, Korea. *PLoS One* 2021;16:e0248624.
19. Schierhorn K, Zhang M, Matthias C, Kunkel G. Influence of ozone and nitrogen dioxide on histamine and interleukin formation in a human nasal mucosa culture system. *Am J Respir Cell Mol Biol* 1999;20:1013-9.
20. Hajat KS, Haines A, Atkinson RW, Bremner SA, Anderson HR, Emberlin J. Association between air pollution and daily consultations with general practitioners for allergic rhinitis in London, United Kingdom. *Am J Epidemiol* 2001;153:704-14.
21. Morgenstern V, Zutavern A, Cyrys J, Brockow I, Koletzko S, Kramer U, et al. Atopic diseases, allergic sensitization, and exposure to traffic-related air pollution in children. *Am J Respir Crit Care Med* 2008;177:1331-7.
22. Penard-Morand C, Raherson C, Charpin D, Kopferschmitt C, Lavaud F, Caillaud D, et al. Long-term exposure to close-proximity air pollution and asthma and allergies in urban children. *Eur Respir J* 2010;36:33-40.
23. Wang JJ, Tung TH, Tang CS, Zhao ZH. Allergens, air pollutants, and childhood allergic diseases. *Int J Hyg Environ Health* 2016;219:66-71.
24. Bose S, Romero K, Psoter KJ, Curriero FC, Chen C, Johnson CM, et al. Association of traffic air pollution and rhinitis quality of life in Peruvian children with asthma. *PLoS One* 2018;13:e0193910.
25. Zou QY, Shen Y, Ke X, Hong SL, Kang HY. Exposure to air pollution and risk of prevalence of childhood allergic rhinitis: a meta-analysis. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2018;112:82-90.
26. Wang J, Lu M, An Z, Jiang J, Li J, Wang Y, et al. Associations between air pollution and outpatient visits for allergic rhinitis in Xinxiang, China. *Environ Sci Pollut Res Int* 2020;27:23565-74.
27. Bedard A, Sofiev M, Arnavielhe S, Anto JM, Garcia-Aymerich J, Thibaudon M, et al. Interactions between air pollution and pollen season for rhinitis using mobile technology: a MASK-POLLAR Study. *J Allergy Clin Immunol Pract* 2020;8:1063-73.
28. Lin L, Li T, Sun M, Liang Q, Ma Y, Wang F, et al. Effect of particulate matter exposure on the prevalence of allergic rhinitis in children: a systematic review and meta-analysis. *Chemosphere* 2021;268:128841.
29. Heinrich J, Hoelscher B, Frye C, Meyer I, Pitz M, Cyrys J, et al. Improved air quality in reunified Germany and decreases in respiratory symptoms. *Epidemiology* 2002;13:394-401.