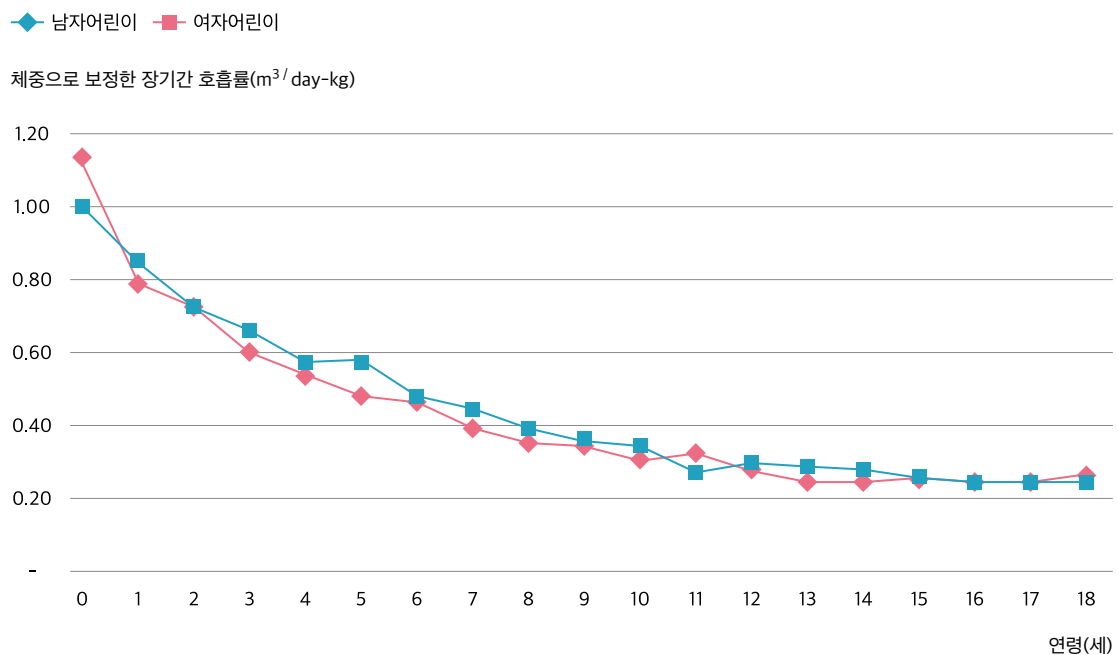


2. 학생의 미세먼지 노출 특성

학생은 대기오염물질에 대해 다음과 같은 노출 특성을 가지고 있습니다.

- 성장기 학생들이 하루 7~14시간 학교에서 생활
- 신장이 작기 때문에 호흡기 영역 위치가 낮음(지표면과 가까움)
- 성인보다 호흡 속도가 빠르고, 몸무게에 비해 더 많은 양의 공기를 호흡
- 신체적 및 생리적으로 활발한 성장단계에 있어 대기오염물질이나 화학물질 등 위험 요소에 의해 손상받기 쉬움
- 성인과 비교해 기대수명이 높으며 대기오염물질 노출에 따른 건강영향이 오랜 기간 지속
- 환경 유해인자로부터 자신을 보호하는 능력이 성인보다 낮음
- 상대적으로 야외활동 시간이 많고 활동량이 많음
- 호흡기 성장에 영향을 받아 성장 후에도 폐기능이 저하될 위험성이 있음

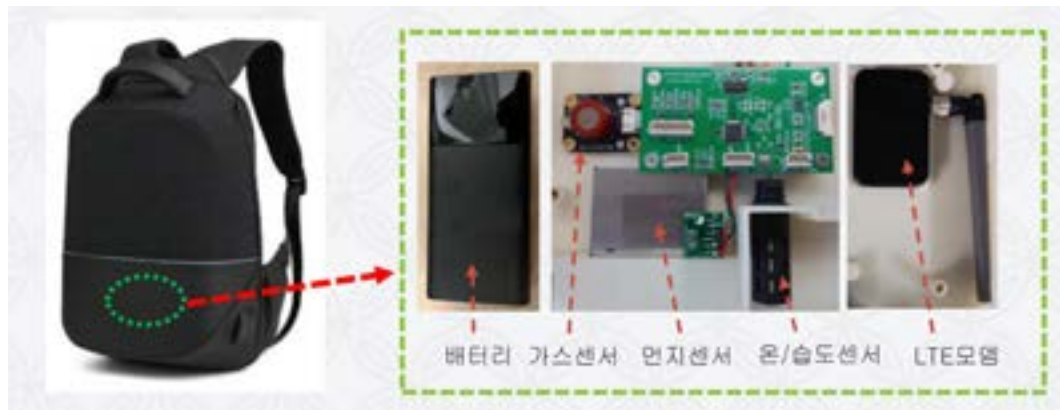


<그림 19> 연령별 호흡률

자료: 국립환경과학원(2019). 한국 어린이의 노출계수 핸드북

• 미세먼지 노출 학생 패널 구축

본 사업단에서는 학생의 미세먼지 노출 특성을 파악하기 위하여, 대도시 기반의 학생 패널(이하, '대도시 패널')과 중소도시 및 농촌 기반 학생 패널(이하, '중소 패널')을 구축하였습니다. 대도시 패널은 A지역의 2개 학교, 중소패널은 B지역의 2개 학교에서 각각 약 100명을 선정하였으며, 학생 개인의 미세먼지 노출을 평가하기 위하여, 백팩 형태의 IoT 기반 실시간 미세먼지 측정 장비를 착용하도록 하고, 학생들이 위치한 주변의 공기 중 PM₁₀, PM_{2.5}, TVOC, NO₂, 온도, 습도를 실시간으로 측정하였습니다.



<그림 20> IoT 기반 실시간 미세먼지 측정 장비

• 미세먼지와 질환 인과관계 분석

본 사업단에서는 미세먼지의 장기간 노출에 따른 영향과 시간적 선후관계가 명확하며, 성장기 학생들에게 취약한 환경성질환인 3As(아토피 피부염(Atopic Dermatitis), 천식(Asthma), 주의력결핍 과잉행동장애(ADHD, Attention Deficit Hyperactivity Disorder))를 미세먼지 관련 질환으로 선정하여 인과관계를 확인하였습니다.

확인 결과, B지역에서 PM₁₀ 10 μ g/m³ 증가 시, 0-6세의 남자, 여자 아이 모두 천식 발생 위험성이 있는 것으로 나타났으며, PM_{2.5} 10 μ g/m³ 증가 시, 7-12세의 남자 아이에게 천식 발생 위험이 있는 것으로 확인되었습니다. A지역에서는 3As 모두 미세먼지와 연관성이 없는 것으로 나타났습니다.

이는 두 지역에서 진행한 연구 결과로써 다른 지역에서도 같은 결과가 나타날 것으로 단정 지을 수는 없으나, 미세먼지로 인한 영향이 나타날 수 있다는 점을 시사합니다.

미세먼지로 인한 질병 또는 사망으로 손실되는 기대수명을 '질병 부담'이라고 하는데, 특정 인구집단에서 이상적인 건강수준과 실제 건강수준의 차이를 비교하여 확인할 수 있습니다. 본 사업단에서는 대상 지역에서 미세먼지가 3As가 발생에 기여한 정도(기여위험도¹²⁾)로 질병 부담을 나타냈습니다.

성·연령 구분 없이 천식 질환은 A지역 -0.07~0.27%, B지역 0.23~12.40%, 아토피 질환은 A지역 -0.09~0.26%, B지역 -0.58~5.47%, ADHD 질환은 A지역 -0.15~0.30%, B지역 -0.12~3.05%의 기여도를 가집니다. 이를 해석하면 B지역 천식 발생의 최대 12.40%는 미세먼지 노출 때문임을 뜻합니다.

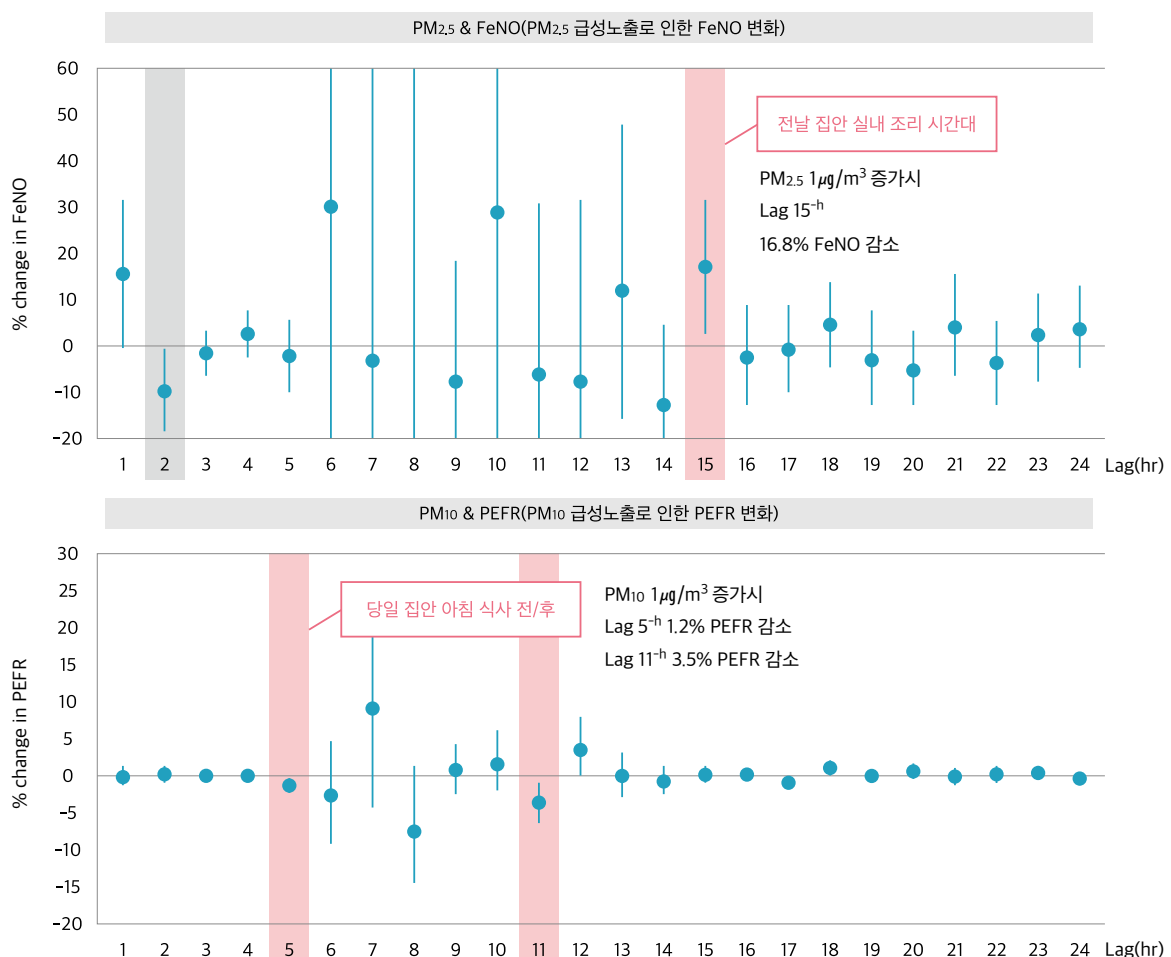
12) 특정 두 집단의 특성이 위험 요인에 대한 노출 여부를 제외하고 모두 동일하다고 가정한다면, 두 집단의 위험도 차이는 해당 위험 요인에 대한 노출로 인한 것으로 생각할 수 있음. 즉, 위험요인이 질병발생에 얼마나 기여했는지 나타내는 것.

호기성 산화질소(FeNO)는 염증이 발생하는 과정에서 많이 생겨나므로, 급성 및 만성 염증을 확인하는데 있어 중요한 역할을 하는 물질입니다. 특히, 천식 환자는 대부분 높은 FeNO 수치를 가지기 때문에 세계천식기구(GINA) 가이드 라인에서는 천식을 진단하는 보조 인자로 FeNO 를 이용할 것을 추천하고 있습니다.

이를 이용하여, 미세먼지 급성 노출이 폐기능에 미치는 영향을 지연 효과¹³⁾(lag effect)를 통하여 확인한 결과, 폐기능 측정으로부터 15시간 전, $\text{PM}_{2.5}$ 에 노출되었을 때(lag 15-h)에서 $\text{PM}_{2.5}$ $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가 시 FeNO 가 16.8% 증가하였고, PM_{10} $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가 시 FeNO 가 7.4% 증가하는 것으로 확인되었습니다. 즉, **미세먼지에 노출될 경우 염증을 유발하고 폐기능에 악영향을 미칠 가능성이 있음을 뜻합니다.**

이와 관련하여, 시간대별로 FeNO 의 변화량을 확인하였을 때, 전날 실내에서 조리 활동이 있었던 시간대와 FeNO 가 증가한 시간대가 일치하는 것을 고려할 때, 실내에서의 조리 활동이 미세먼지 발생과 관련이 있다고 볼 수 있습니다.

또한, 폐기능 측정으로부터 5시간 전, PM_{10} 에 노출되었을 때(lag 5-h)에서 PM_{10} $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가 시 최대호기속도¹⁴⁾(PEF, Peak Expiratory Flow)가 1.2% 감소하고, 폐기능 측정으로부터 11시간 전, PM_{10} 에 노출되었을 때(lag 11-h)에서 PM_{10} $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가 시 PEF가 3.5% 감소하는 것을 확인하였습니다.



<그림 21> 서울 2개교의 공간별 미세먼지 실시간 정보

13) 영향이 노출 직후 발생하는 것이 아니라, 일정 시간이 흐른 뒤에 나타나는 것.

14) 내뿜는 숨의 최대속도, 높을수록 폐기능이 좋다고 할 수 있음.

• 미세먼지 노출평가

미세먼지로 인한 피해를 파악하기 위해서는 어느 정도의 미세먼지 농도에, 얼마나 많은 사람이, 얼마나 오래 노출되고 있는지를 평가하는 것이 중요합니다. 따라서, 본 사업단은 서울 성북구 및 노원구에 거주하는 38명 초등학생을 대상으로 24시간 동안 개인별 미세환경에 따른 미세먼지 노출량과 노출기여도¹⁵⁾를 분석하였습니다.

분석 결과에 따르면, 학교에서의 노출기여도는 PM_{2.5} 22.0%, PM₁₀ 23.2%로 집 다음으로 크게 나타났습니다. 이는 학생들이 집, 학교 순으로 체류 시간이 많기 때문입니다.

[표 13] 초등학생 미세환경별 노출기여도

구분	집	학교	학원	실외(걷기)	실외(놀이터)	차량이동
PM _{2.5}	52.9%	22.0%	8.8%	7.8%	7.6%	0.9%
PM ₁₀	50.5%	23.2%	8.8%	8.4%	8.3%	0.9%

확인된 노출기여도를 토대로 1시간당 미세먼지 노출 강도를 미세환경별로 분석한 결과는 실외에서 노출강도가 PM_{2.5} 26.8%, PM₁₀ 24.6%로 가장 크게 나타났습니다. 실외 활동에서의 노출 시간이 짧기 때문에 다른 미세환경 보다 노출기여도는 낮지만 노출되는 시간 대비 노출강도는 매우 높은 것을 확인할 수 있습니다.

[표 14] 초등학생 미세환경별 1시간당 노출강도

구분	집	학교	학원	실외(걷기)	실외(놀이터)	차량이동
PM _{2.5}	11.2%	13.8%	16.4%	26.8%	23.4%	8.3%
PM ₁₀	12.6%	14.3%	17.0%	24.6%	22.8%	8.6%

15) 미세먼지에 노출 가능성이 있는 장소에서 보낸 시간에 대한 하루 24시간의 비율, 그 장소에서 많은 시간을 보낼수록 미세먼지 노출량의 기여도가 높다고 할 수 있음.