

Management Guide of School Particulate Matter

학교 미세먼지 관리 안내서

중·고등학생용



목차

Contents

Chapter 1

I. 미세먼지란?	06
1. 미세먼지가 뭐지?	06
2. 미세먼지는 어떻게 구성되어 있을까?	11
3. 미세먼지는 왜 생기는 걸까?	13
4. 우리나라와 외국의 미세먼지 환경기준은?	14
5. 국내·외 실내공기질 관리 기준	15
6. 우리나라 미세먼지 농도는 어느 정도일까?	16
7. 미세먼지 때문에 건강이 나빠질 수 있다던데?	21
II. 학교 미세먼지 문제 이해하기	23
1. 학교 공간의 특수성	23
2. 학생의 미세먼지 노출 특성	27
3. 학교 내·외부 미세먼지 발생원	29
4. 학교 미세먼지 농도 현황	32
5. 학교 입지에 따른 미세먼지 특성	40

Chapter 2

III. 학교 미세먼지 관리방법	44
1. 미세먼지에 의한 건강영향 예방을 위한 평상시 건강수칙	44
2. 미세먼지 영향을 줄이기 위한 실내 미세먼지 관리 방법	53
3. 학생의 학교 미세먼지 대응 방법	58
IV. 관련기관 비상연락망	60
1. 연락망 안내	60
2. 중앙행정기관	60
3. 시·도교육청	61
4. 지방자치단체	62
5. 지역 보건소	63
V. 참고문헌	73
VI. 부록	75

Management Guide of School Particulate Matter

학교 미세먼지 관리 안내서

중·고등학생용



Chapter 1

I. 미세먼지란?

1. 미세먼지가 뭐지?
2. 미세먼지는 어떻게 구성되어 있을까?
3. 미세먼지는 왜 생기는 걸까?
4. 우리나라와 외국의 미세먼지 환경기준은?
5. 국내·외 실내공기질 관리 기준
6. 우리나라 미세먼지 농도는 어느 정도일까?
7. 미세먼지 때문에 건강이 나빠질 수 있다던데?

II. 학교 미세먼지 문제 이해하기

1. 학교 공간의 특수성
2. 학생의 미세먼지 노출 특성
3. 학교 내·외부 미세먼지 발생원
4. 학교 미세먼지 농도 현황
5. 학교 입지에 따른 미세먼지 특성

I. 미세먼지란?

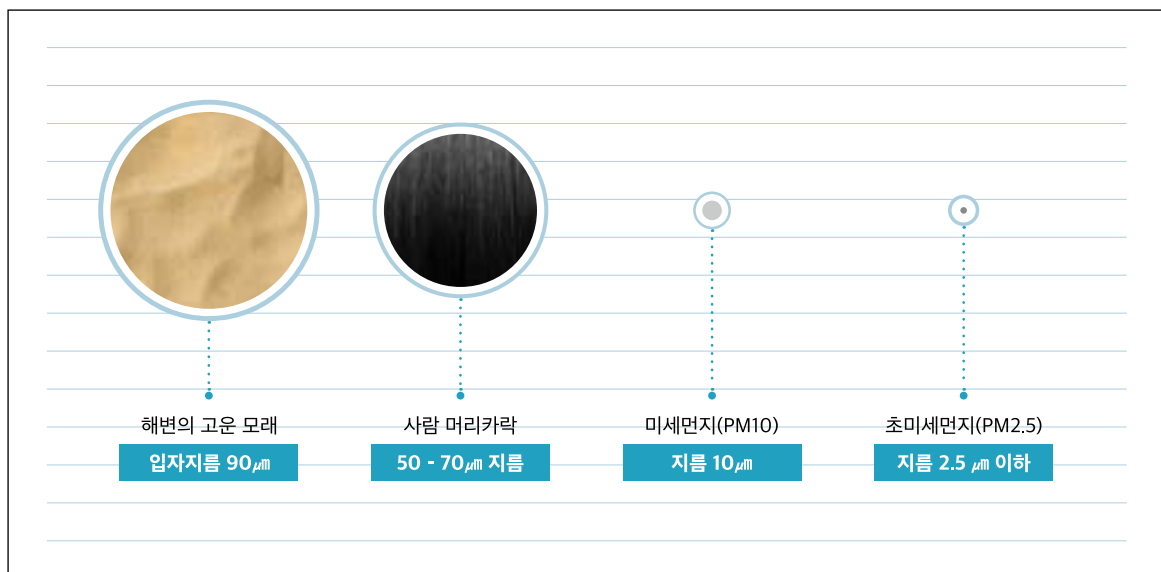
1. 미세먼지가 뭐지?

일반적인 공기 중에는 다양한 모양과 크기, 성분으로 이루어진 먼지 입자들이 섞여 떠다니고 있습니다. 이러한 먼지는 분진(Dust)으로 불립니다.

먼지의 지름이 $50\mu\text{m}$ (마이크로미터)보다 작은 것을 ‘총부유분진(TSP, Total Suspended Particles)’이라고 부르는데, 머리카락 한 올의 두께(약 $50\sim 70\mu\text{m}$ 수준)와 비슷한 크기라고 볼 수 있습니다.

먼지의 지름이 $10\mu\text{m}$ 보다 작은 경우 ‘미세먼지(PM₁₀, Particulate Matter less than $10\mu\text{m}$)’라고 부르며, $2.5\mu\text{m}$ 보다 작은 경우 ‘초미세먼지(PM_{2.5}, Particulate Matter less than $2.5\mu\text{m}$)’라고 합니다.

PM_{2.5}는 머리카락 두께의 약 20분의 1 수준에 불과해 눈에 보이지 않을 정도로 매우 작기 때문에, 사람이 숨을 쉴 때 따라 호흡기를 거쳐 인체 내로 들어와 다양한 건강영향을 일으킬 수 있습니다.



<그림 1> 미세먼지의 크기 비교

• 미세먼지는 어떻게 셀 수 있을까?

미세먼지는 ‘크기’와 ‘농도’의 두 가지 단위로 표현하고 있습니다.

미세먼지의 크기를 나타내는 단위는 μm (마이크로미터)입니다. μm 는 1미터의 100만분의 1 수준을 의미합니다. PM_{10} 의 크기인 $10\mu\text{m}$ 를 주로 사용하는 단위인 cm 로 환산하면 0.001cm 입니다.

미세먼지의 농도를 나타내는 단위는 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (세제곱미터당 마이크로그램 또는 마이크로그램 퍼 세제곱미터)입니다. 1m^3 (세제곱미터) 부피의 공기 안에 있는 미세먼지의 무게를 1g 의 100만분의 1 수준인 μg (마이크로그램)으로 표현합니다. 일정 부피에서의 미세먼지 질량을 표현하기에 ‘질량농도’라고 부르기도 합니다.

• 미세먼지의 측정은 어떻게 하는거야?

공기 중 미세먼지 농도의 측정 방법으로는 「대기오염공정시험기준」에 따른 ‘중량법’과 ‘베타선법’이 이용되고 있습니다.

‘중량법’은 펌프를 활용하여 공기를 모으는 시료채취기에 무게를 측정한 필터를 연결하고, 시료채취기를 24시간 동안 작동시킨 후 필터의 무게를 측정하여, 처음에 측정한 값과 나중에 측정한 값의 차이를 비교하는 방법입니다.

‘베타선법’은 방사선인 베타선이 어떠한 물질을 통과할 때 그 물질의 질량이 클수록 더 많이 흡수되는 성질을 이용하여 미세먼지 채취 이전의 필터에 흡수된 베타선의 양과 미세먼지 채취 이후의 필터에 흡수된 베타선의 양을 비교하는 방법입니다.

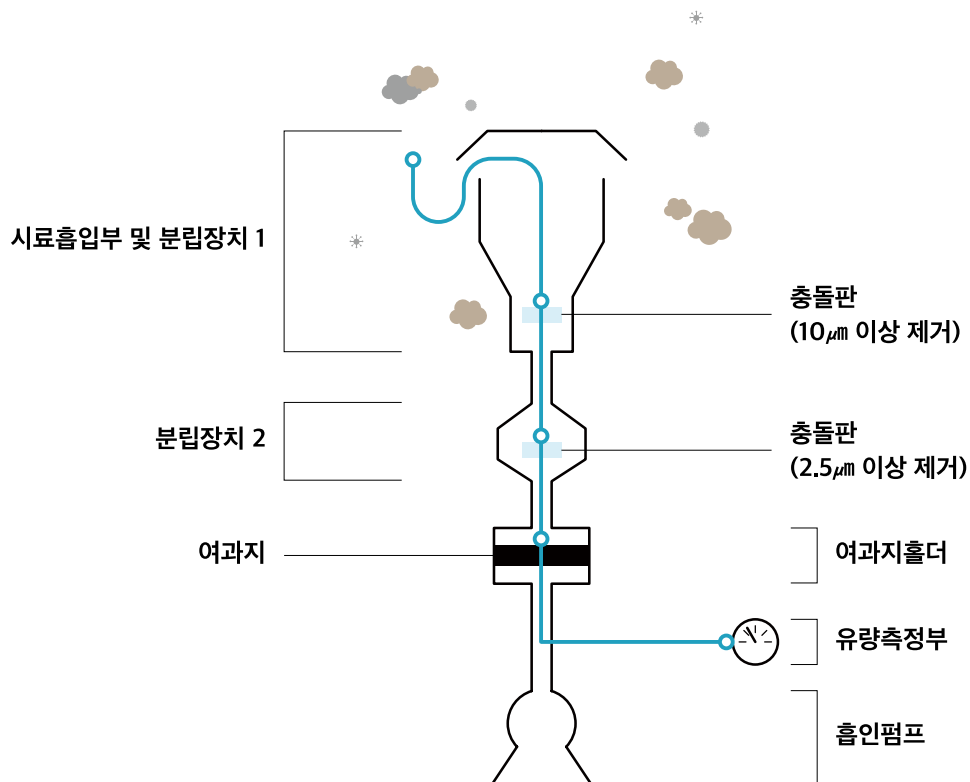
• 황사랑 미세먼지는 뭐가 달라?

황사는 중국과 몽골의 사막, 황토고원 등의 모래 먼지가 저기압에 의해 발생한 강한 바람을 타고 장거리를 이동하여 떨어지는 현상으로, 삼국사에 기록되었을 만큼 오래된 자연 현상 중 하나입니다.

황사는 계절상으로 저기압이 활발하게 나타나는 3~5월에 많이 발생하며, 주로 알루미늄, 칼슘, 철, 규소 등과 같은 성분으로 이루어져 있습니다. 크기로 구분하지 않지만, 황사의 주성분인 황토 혹은 모래의 크기는 $0.2\sim 20\mu\text{m}$ 정도이며, 우리나라에서 관측되는 황사의 크기는 약 $1\sim 10\mu\text{m}$ 정도입니다.

최근에는 중국의 급격한 산업화로 인해 황사 속 중금속(납, 카드뮴, 크로뮴 등)의 농도가 높아져 건강 문제와 관련된 관심과 우려가 점차 커지고 있습니다.

황사와 미세먼지의 가장 큰 차이점은, 황사의 경우 바람에 의하여 모래 먼지가 이동하면서 발생하는 자연현상이며, 미세먼지의 경우 자동차나 공장, 가정 등에서 사용하는 화석 연료에 의해 인위적으로 발생한다는 점입니다. 또한 황사는 주로 봄에 발생하여 영향을 미치며, 미세먼지는 일 년 내내 영향을 미치는 차이점이 있습니다.



<그림 2> 미세먼지 측정 원리

• 황사랑 미세먼지는 뭐가 달라?

황사는 중국과 몽골의 사막, 황토고원 등의 모래 먼지가 저기압에 의해 발생한 강한 바람을 타고 장거리를 이동하여 떨어지는 현상으로, 삼국사에 기록되었을 만큼 오래된 자연 현상 중 하나입니다.

황사는 계절상으로 저기압이 활발하게 나타나는 3~5월에 많이 발생하며, 주로 알루미늄, 칼슘, 철, 규소 등과 같은 성분으로 이루어져 있습니다. 크기로 구분하지 않지만, 황사의 주성분인 황토 혹은 모래의 크기는 0.2~20 μm 정도이며, 우리나라에서 관측되는 황사의 크기는 약 1~10 μm 정도입니다.

최근에는 중국의 급격한 산업화로 인해 황사 속 중금속(납, 카드뮴, 크로뮴 등)의 농도가 높아져 건강 문제와 관련된 관심과 우려가 점차 커지고 있습니다.

황사와 미세먼지의 가장 큰 차이점은, 황사의 경우 바람에 의하여 모래 먼지가 이동하면서 발생하는 자연현상이며, 미세먼지의 경우 자동차나 공장, 가정 등에서 사용하는 화석 연료에 의해 인위적으로 발생한다는 점입니다. 또한 황사는 주로 봄에 발생하여 영향을 미치며, 미세먼지는 일 년 내내 영향을 미치는 차이점이 있습니다.

[표 1] 미세먼지와 황사

구분	미세먼지	황사
정의	눈에 보이지 않을 정도로 작은 직경 10 μm 이하의 입자상 물질	강한 바람에 의해 흙먼지, 모래가 이동하면서 지표에 떨어지는 자연현상
발생원	화석연료의 연소를 통해 배출된 오염물질이 다른 물질과 반응하여 발생	중국과 몽골의 사막, 황하 중류의 건조 지대, 황토 고원, 내몽골 고원
구성성분	황산염, 질산염, 유기탄소 등	알루미늄, 칼슘, 철, 규소 등

자료: 환경부, 2019, 미세먼지 팩트 체크, 미세먼지! 무엇이든 물어보세요에 대한 저자 편집

• 미세먼지와 관련된 법이 있다던데?

우리나라는 대기환경과 수질 및 수생태계, 소음 등의 환경오염을 예방하고, 환경을 보호하며, 국민이 건강하고 쾌적한 삶을 누릴 수 있도록 환경정책의 기본이 되는 사항을 정한 「환경정책기본법」을 제정(1990.8.1.)하고, PM₁₀과 PM_{2.5}를 포함한 8개 항목에 대해 대기환경기준을 설정하여 관리하고 있습니다.

「대기환경보전법」을 제정(1990.8.1.)하여 대기오염물질 배출시설의 설치 및 운영을 제한하고, 자동차·선박 등의 배출가스를 줄이도록 하여 대기오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하고 있습니다.

최근에는 미세먼지가 국민의 건강을 위협하는 중요한 문제로 대두됨에 따라 정부에서는 미세먼지를 줄이기 위해 특별대책과 각종 정책을 시행하였습니다. 하지만, 효과가 뚜렷하지 않아 국민의 불안이 점차 커졌고, 미세먼지 문제를 개선하기 위해서는 근본적인 원인을 찾아내고 대책을 마련하는 것이 중요해졌습니다.

이에 미세먼지의 배출을 저감하고 효율적으로 관리함으로써 국민건강에 미치는 영향을 예방하고 쾌적한 생활환경을 조성하고자 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」이 제정(2018.8.14.)되었으며, 미세먼지 저감을 위한 사업 및 지원, 취약계층에 대한 보호 대책을 마련하는 데 그 목적이 있습니다.

「재난 및 안전관리 기본법」에서 미세먼지를 사회적 재난으로 규정하고 국가 등이 미세먼지로 인한 피해를 최소화할 수 있도록 미세먼지 재난관리를 수립 및 실행할 수 있도록 법을 개정하였습니다.

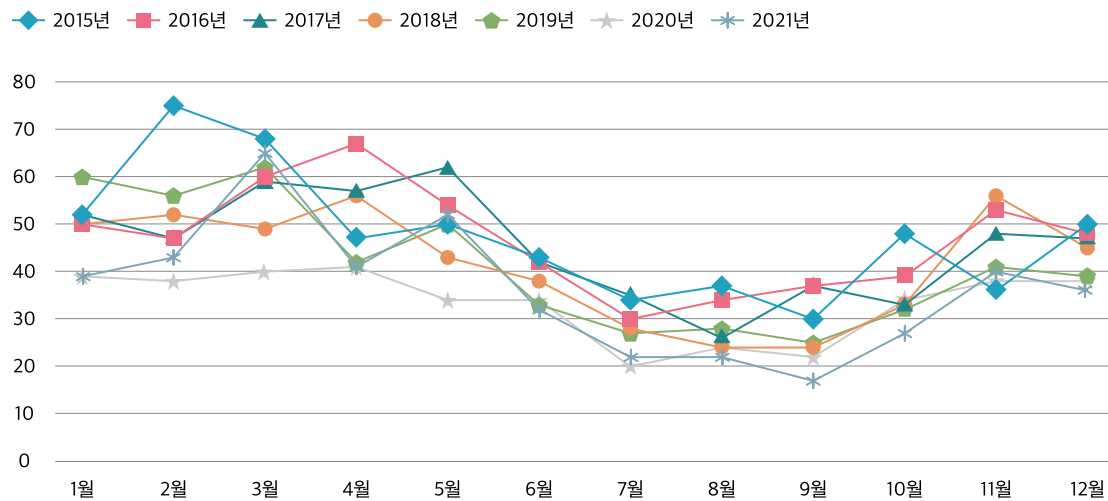
이 외에도, 다중이용시설과 지하역사, 공동주택 및 대중교통 차량의 공기질을 관리하기 위한 「실내공기질 관리법」, 사무실과 작업장의 공기를 쾌적하게 유지 및 관리하기 위한 「산업안전보건법」, 학교 내 공기질 관리를 위한 「학교보건법」 등을 통해 미세먼지를 포함한 실내 공기질을 관리하고 있습니다.

• 우리나라 미세먼지는 계절마다 다를까?

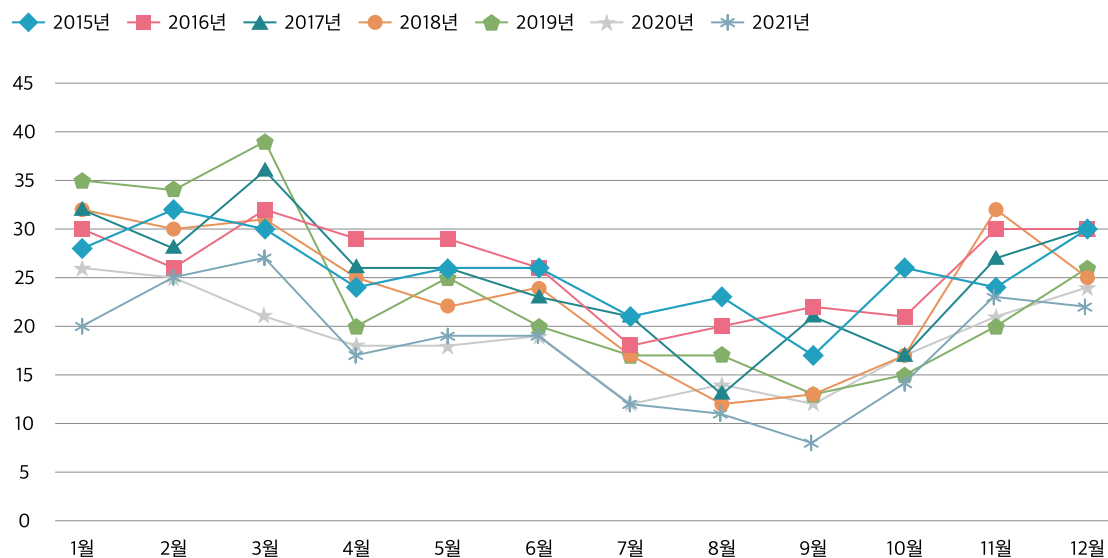
우리나라의 미세먼지 농도는 월마다 다르고, 계절에 따라 차이가 있습니다.

겨울(12~3월)에는 기온이 낮아지면서 난방을 위한 연료를 많이 사용하기 때문에 여름과 비교했을 때 미세먼지 농도가 높게 나타납니다.

또한, 미세먼지 농도를 결정하는데 중요한 역할을 하는 대기 혼합고¹⁾는 지표면의 온도가 낮은 겨울에 낮아지기 때문에 미세먼지 농도가 높아질 수 있습니다.



<그림3> PM10 월평균 농도



<그림 4> PM2.5 월평균 농도

1) 밀면적은 같고 높이가 다른 공간 두 개가 있다면 높이가 높은 공간의 부피가 더 클 것이다. 높이가 낮은 곳과 높은 곳에 같은 양의 미세먼지가 있다고 가정했을 때, 더 높은 곳에서 큰 부피를 가지므로 미세먼지가 희석되면서 농도가 낮아질 수 있다. 즉, 대기 혼합고는 공기 이동으로 인해 섞일 수 있는 최대 높이를 의미한다.

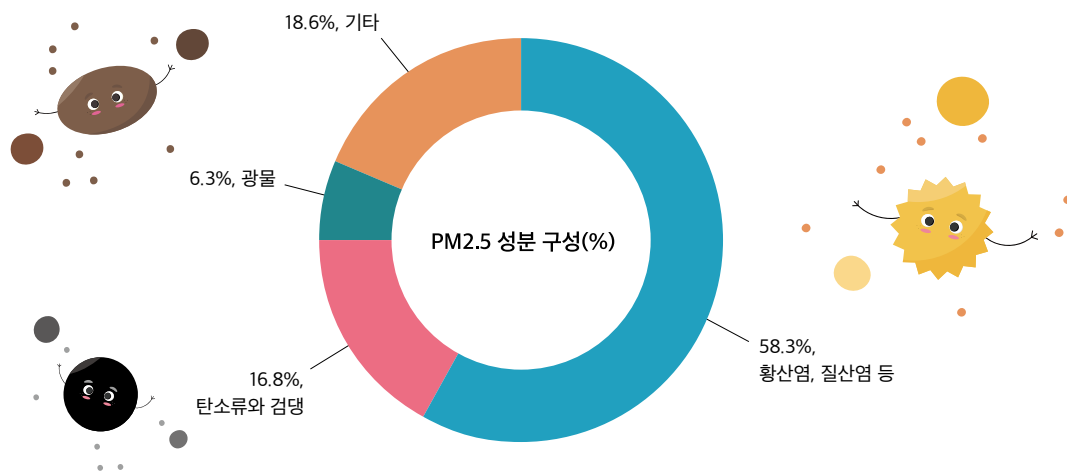
2. 미세먼지는 어떻게 구성되어 있을까?

미세먼지가 건강에 영향을 미치는 데에는 미세먼지의 크기와 함께 미세먼지의 구성 성분이 중요하게 여겨집니다. 그 이유는 미세먼지의 구성 성분에 따라 인체에 미치는 영향이 다양하게 나타날 수 있기 때문입니다. 미세먼지의 구성 성분은 **미세먼지가 발생한 지역이나 계절, 기상 조건, 학교 인근에 위치한 산업시설과 교통량 등에 따라** 다양하게 나타날 수 있습니다.

대부분의 미세먼지는 다음과 같이 구성됩니다.

- 대기오염물질이 공기 중에서 화학반응을 통하여 형성(황산염, 질산염 등)
- 석탄, 석유 등 화석연료를 태우는 과정에서 발생(탄소류와 검댕)
- 지표면의 흙먼지 등에서 발생(광물 등)

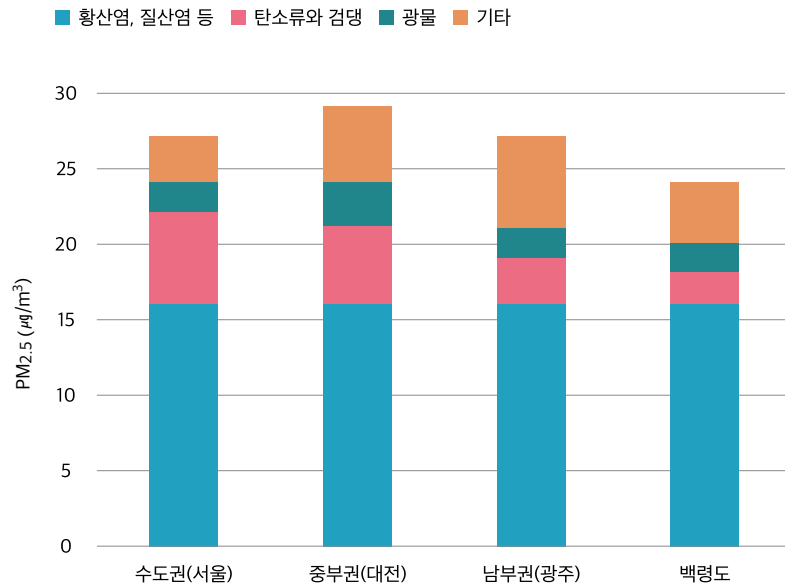
환경부에서의 조사 결과에 따르면, 전국 6개 주요 지역에서 측정된 미세먼지 구성 성분의 비율은 대기오염물질 덩어리(황산염, 질산염 등)가 58.3%로 가장 높고, 탄소류와 검댕 16.8%, 광물 6.3% 순으로 확인되었습니다.



<그림 5> PM2.5 성분 구성(%)

자료: 환경부(2016). 바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까?

우리나라 주요 지역별로 PM_{2.5}의 구성 성분을 비교한 연구결과에 따르면, 우리나라에서의 미세먼지 자체 발생과 더불어 국외로부터 유입되는 미세먼지의 영향을 상대적으로 많이 받는 백령도에서는 탄소류와 검댕의 비율이 다른 성분에 비해 상대적으로 낮게 나타났습니다.



<그림 6> 주요 지역별 PM_{2.5} 성분 구성(%)
 자료: 환경부(2016). 바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까?

3. 미세먼지는 왜 생기는걸까?

미세먼지는 입자의 크기에 따라 발생원과 발생 특성이 구분됩니다. 크게 **자연적/인위적** 발생원, **1차/2차** 발생으로 구분할 수 있습니다.

일반적으로 크기 **2.5 μ m 이상의** 상대적으로 큰 입자의 경우, 토양, 해염, 꽃가루 등의 자연적인 발생원과 마모, 마찰 및 기계적 분쇄과정 등 인위적인 발생원을 갖고 있으며, 고체 상태로 발생하는 1차 발생이 주를 이룹니다.

반면, 크기 **2.5 μ m 미만인** 입자(PM_{2.5})는 화석연료의 연소, 트럭, 버스, 자동차 등의 배기가스, 화학물질의 제조과정 등 주로 인위적인 발생원을 가지며, 화학반응과 응축과정을 거쳐 생성된 2차 발생이 주를 이룹니다.

[표 2] 미세먼지의 발생원 및 발생별 분류

구분		설명
발생원	자연적	흙먼지, 바닷물에서 생기는 소금(해염), 식물 꽃가루 등
	인위적	석면석유 등 화석연료를 사용하는 과정에서 나오는 매연, 자동차 배기가스, 건설현장에서 발생하는 비산먼지, 공장 내에서 사용하는 소각장 연기 등
발생	1차적	굴뚝 등 발생원으로부터 고체 상태로 발생하는 경우
	2차적	발생원으로부터 기체 상태로 나온 물질(황산화물, 질소산화물 등)이 공기 중의 다른 물질(오존, 암모니아, 수증기 등)과 화학반응을 일으켜 발생하는 경우

자료: 환경부(2016). 바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까?

참고로, 2016년에 국립환경과학원과 미국항공우주국(NASA)이 함께 진행한 ‘한·미 대기질 합동연구(KORUS-AQ)’에 따르면 **우리나라에서 관측되는 PM_{2.5}의 52%는 우리나라에서 발생하며**, 48%는 중국이나 일본, 북한 등 국외에서 유입되는 것으로 나타났습니다.

4. 우리나라와 외국의 미세먼지 환경 기준은?

세계보건기구(WHO)의 가이드라인은 대기오염 문제를 개선하기 위해 적절한 목표를 설정하는데 도움을 주기 위해 만들었습니다. 모든 국가가 그 가이드라인 수준으로 설정하라고 요구하지 않고, 각 국가의 사회·경제·기술적 상황을 고려하여 미세먼지 환경기준을 설정할 수 있도록 4단계의 잠정목표와 권고기준을 제시하고 있습니다. 우리나라는 WHO 잠정목표 3에 해당하는 PM_{2.5} 환경기준(15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 설정하고 있는데, 이 기준은 일본과 동일하고 중국보다 엄격한 수준입니다.

[표 3] 미세먼지에 대한 WHO 권고기준과 잠정목표, 우리나라의 대기환경기준

구분	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		단계별 연평균 기준 설정 시 건강영향
	일평균	연평균	일평균	연평균	
WHO 잠정목표1	150	70	75	35	권고기준 대비 사망위험률 약 15% 증가 수준
WHO 잠정목표2	100	50	50	25	잠정목표1보다 6%(2~11%) 사망위험률 감소
우리나라 대기환경기준	100	50	35	15	
WHO 잠정목표3	75	30	37.5	15	잠정목표2보다 6%(2~11%) 사망위험률 감소
WHO 잠정목표4	50	20	25	10	선행연구 사망률에 따라 2021 WHO 신규 제안
WHO 권고기준	45	15	15	5	PM _{2.5} 장기간 노출 시 심폐질환과 폐암에 따른 사망률 증가가 최저수준
EU	50	40	-	25	-
미국	150	-	35	12 ²⁾ , 15 ³⁾	-
일본	100	-	35	15	-
중국	150	70	75	35	-

2) 취약계층을 위한 1차 기준 (Primary)

3) 공공을 위한 2차 기준 (Secondary)

Q. 24시간, 연간 기준의 농도가 다른 이유는?

연구를 통해 미세먼지 장기 노출로 인한 건강악화가 입증되면서 이를 보호하기 위한 연평균 기준이 생겼습니다.

연평균 농도가 낮더라도 미세먼지 농도 변화가 심한 지역에서 순간적인 고농도가 발생할 수 있으므로 24시간 평균 기준 또한 설정하였습니다.

5. 국내·외 실내공기질 관리 기준

실내공기 오염물질로는 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})를 포함하여 폼알데하이드, 곰팡이, 휘발성유기화합물, 일산화탄소, 라돈 등이 있습니다. 이 중 PM₁₀과 PM_{2.5}는 주로 주방 내에서 음식을 조리하는 경우, 흡연, 내부에 있는 사람들의 활동, 교실 외부 공기의 내부 유입 등에 의해 발생합니다.

우리나라는 시설의 종류에 따라 각 부처(교육부, 환경부, 고용노동부)에서 실내 미세먼지 기준을 정하여 관리하고 있습니다. 학교의 실내공기질 관리 기준은 교육부 「학교보건법」에서 규정하고 있으며, 교실 등에 대해 PM₁₀은 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5}는 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 제시하고 있습니다.

[표 4] 국내 각 관련법령에 따른 실내 미세먼지 기준

항목	학교보건법 (교육부)		실내공기질관리법 (환경부)			사무실 공기관리 지침 (고용노동부)
	교실 등	체육관 및 강당	지하역사 등	어린이집, 의료기관	실내주차장	사무실
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	75	150	100	75	200	100
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	35	-	50	35	-	50

자료: 국가법령정보센터 각 법령에 대한 저자 편집

6. 우리나라 미세먼지 농도는 어느 정도일까?

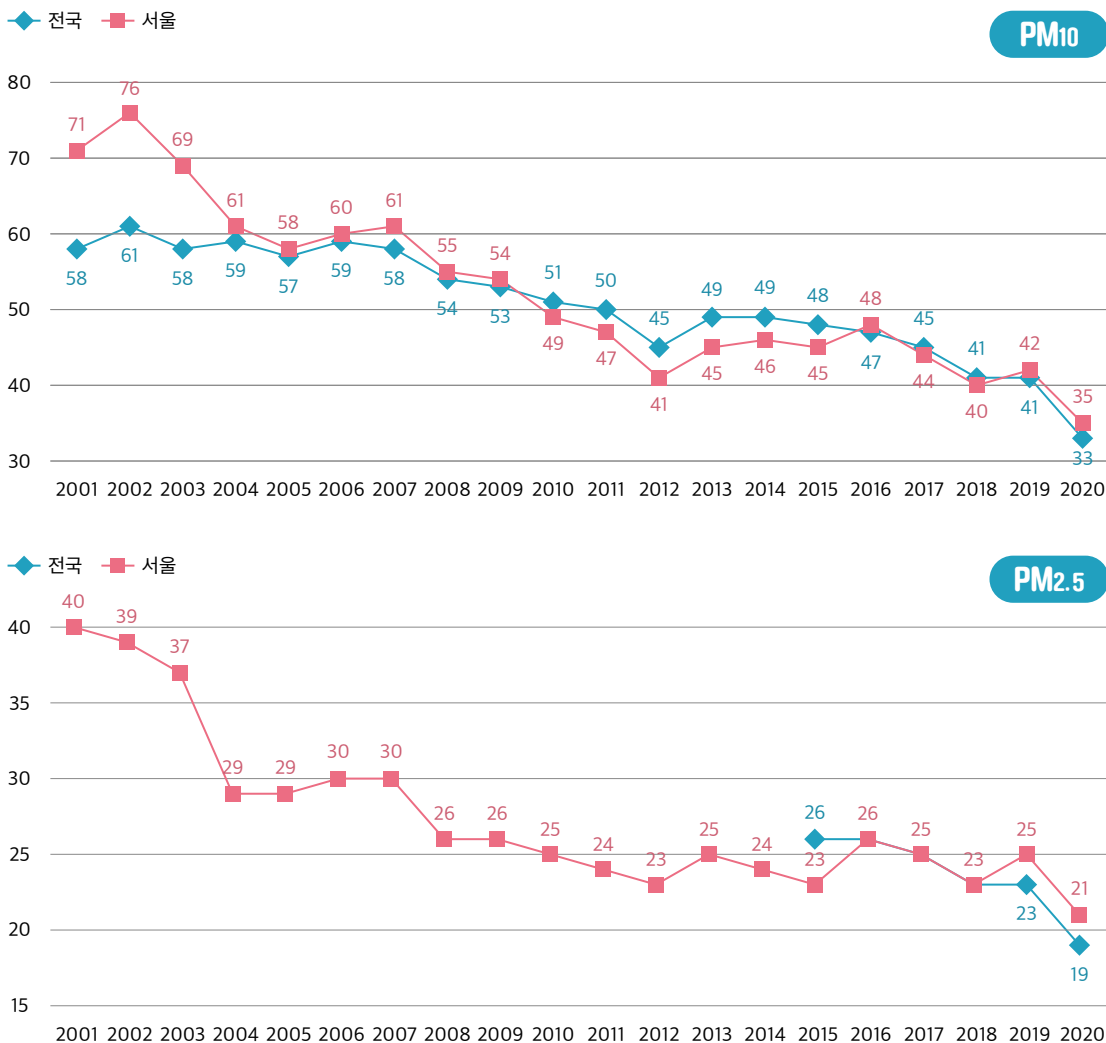
한국환경공단에서는 우리나라의 배경농도(각 지역의 일반적인 공기 중 미세먼지 농도)를 파악하고 국외로부터 대기오염물질 영향을 받고 있는지 여부와 미세먼지의 장거리 이동 등을 파악하기 위하여 「환경정책기본법」 제12조 중 일부 항목인 미세먼지(PM₁₀), 초미세먼지(PM_{2.5}), 아황산가스(SO₂), 이산화질소(NO₂), 일산화탄소(CO), 오존(O₃)의 농도를 측정하고 ‘대기오염도 실시간공개시스템 (Airkorea)’을 통하여 미세먼지 등 대기오염 상태를 국민에게 수치 및 등급으로 제공하기 시작하였습니다. PM_{2.5}는 2011년 「환경정책기본법 시행령」 일부 개정을 통해 추가되어 2015년부터 전국적인 측정이 시작되었습니다.

• 우리나라의 미세먼지 농도 변화('01~'20, 전국 및 서울 기준)

대부분의 사람들이 생각하는 것과는 달리, **우리나라의 미세먼지 농도는 장기적으로 개선되어가고 있습니다.**

PM₁₀의 경우, 전국을 기준으로 2001년에 58 μ g/m³를 기록한 이후 꾸준히 감소하여, 2020년에는 33 μ g/m³로 2001년 대비 **약 43%가 감소**한 것으로 확인되었습니다. 서울의 경우는 감소폭이 더욱 커, 2001년에 71 μ g/m³를 기록한 이후 꾸준히 감소하여, 2020년에는 35 μ g/m³로 2001년 대비 약 51%가 감소하였습니다.

PM_{2.5}의 경우, 전국 측정을 시작한 2015년 26 μ g/m³를 기록한 이래로, 2020년에는 19 μ g/m³로 2015년 대비 **약 27%가 감소**하였습니다. 서울의 경우 더 이전부터 PM_{2.5} 농도를 측정해왔으며, 2001년에 40 μ g/m³를 기록한 이래로 꾸준히 감소하여, 2020년에는 21 μ g/m³로 2001년 대비 약 47.5%가 감소하였음을 알 수 있습니다.



<그림 7> 전국과 서울의 PM₁₀, PM_{2.5} 농도 수준('01~'20)

자료: 관계부처합동(2019). 미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)

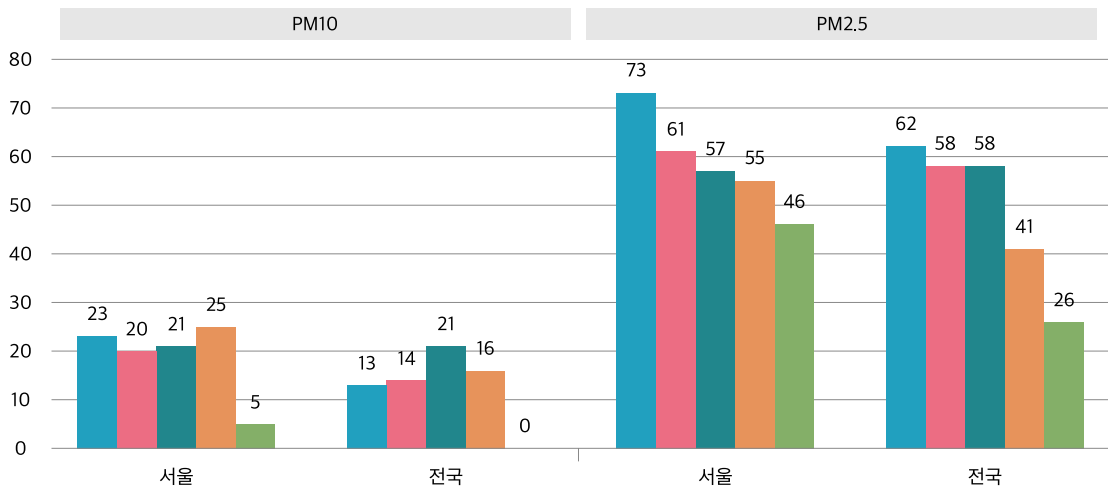
• 우리나라의 미세먼지 '나쁨', '매우나쁨' 일수

환경부 대기환경연보(2020)에 따르면, PM₁₀의 경우, '나쁨' 일수가 서울과 전국 모두에서 2019년까지 일정 수준을 유지하다가 2020년에는 서울이 5일, 전국은 발생하지 않았습니다. '매우나쁨' 일수의 경우는 서울과 전국 모두 증감을 반복하다가 2020년에는 발생하지 않았습니다. PM_{2.5}의 경우, 서울과 전국 모두 '나쁨' 일수가 감소추세에 있으며, '매우나쁨' 일수는 서울과 전국 모두 증가 추세로, 2019년에 서울이 9일, 전국에서 6일을 보였으나, 2020년에는 서울과 전국 모두에서 발생하지 않았습니다.

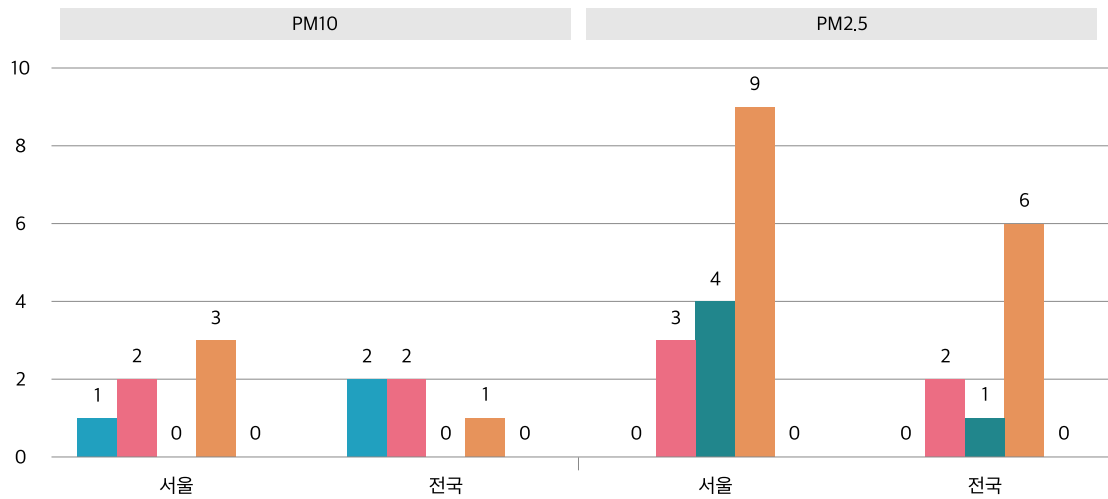
이는 상대적으로 입자의 크기가 큰 PM₁₀에 대해서는 관리가 적절히 이루어지고 있으나, 입자가 작은 PM_{2.5}에 대해서는 더욱 면밀한 관리가 필요하다고 볼 수 있습니다. 2020년에 '나쁨', '매우나쁨' 일수가 발생하지 않은 부분은 코로나 바이러스 감염증-19(COVID-19)로 인한 영향이 발생한 것으로 예상하고 있습니다.

■ 2016 ■ 2017 ■ 2018 ■ 2019 ■ 2020

[미세먼지 '나쁨' 일수]

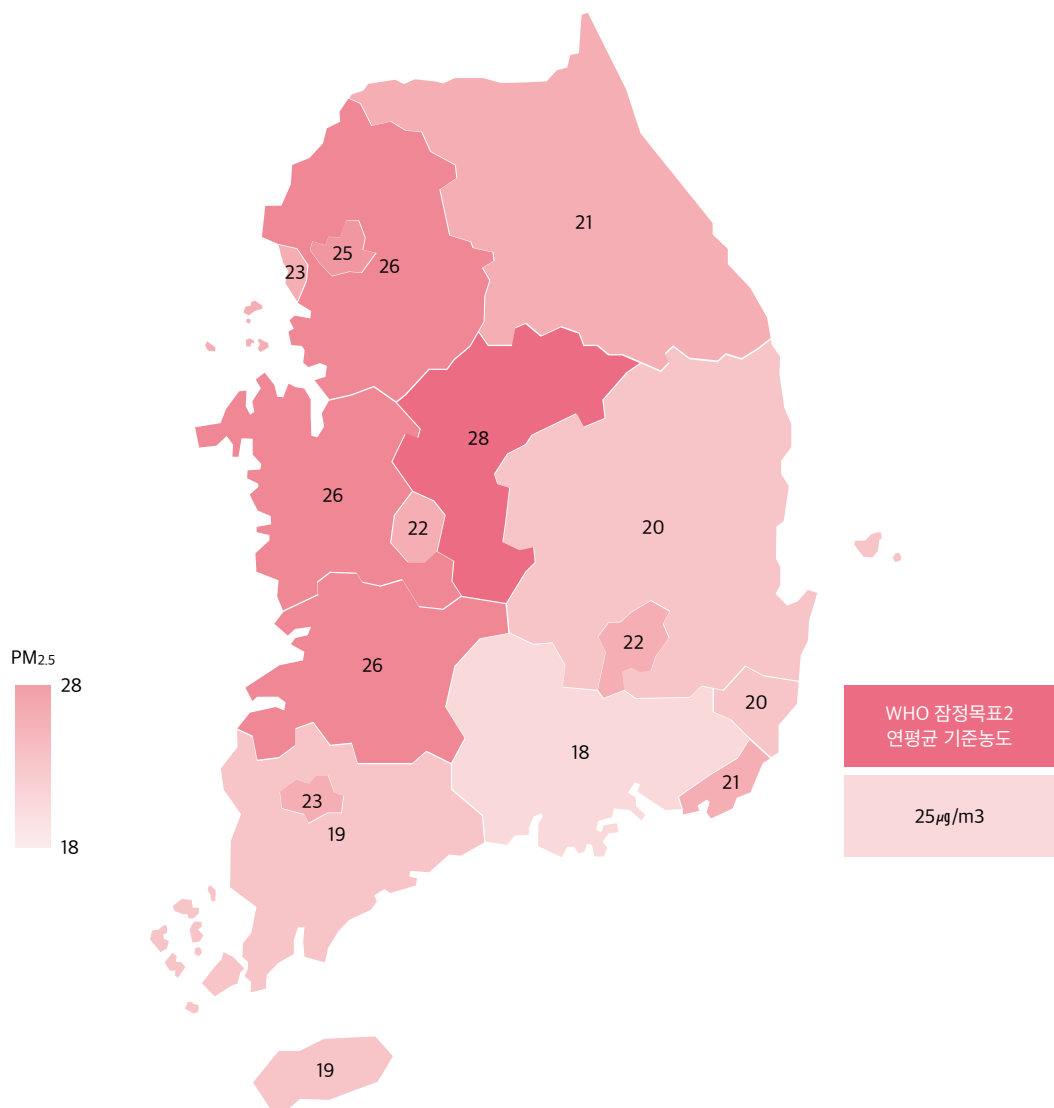


[미세먼지 '매우나쁨' 일수]



<그림 8> 전국, 서울의 PM₁₀, PM_{2.5} 나쁨, 매우나쁨 일수('16~'20)

자료 : 환경부(2021), 2020 대기환경연보

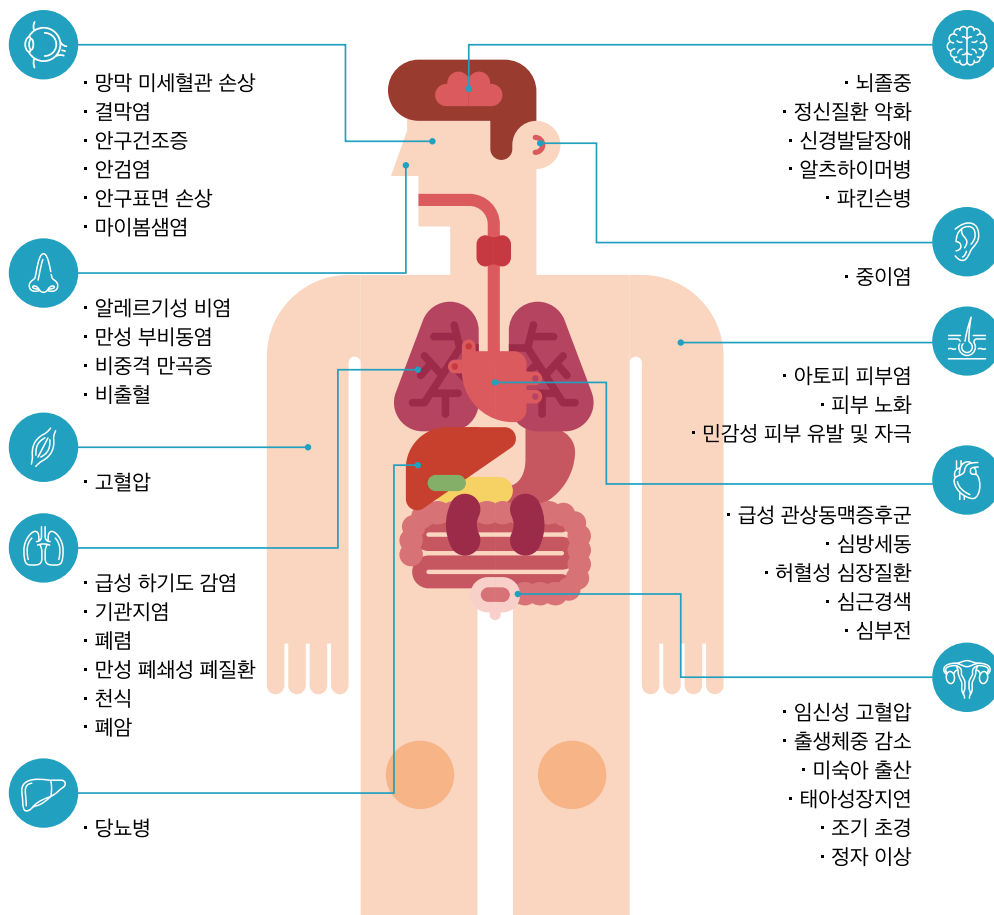


<그림 10> 시·도별 PM_{2.5} 연평균 농도

7. 미세먼지 때문에 건강이 나빠질 수 있다던데?

2013년 세계보건기구(WHO) 산하의 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)는 대기오염물질과 미세먼지의 발암성을 명확히 제시하며, 공식적으로 1군 발암물질(인간에게 발암성이 있는 것으로 확인된 물질)로 지정했습니다. 미세먼지 노출은 다양한 역학 연구들을 통해 호흡기계, 심뇌혈관계, 신경정신계, 내분비계, 생식기계 등에 다양한 건강영향을 일으키는 것으로 알려졌습니다⁴⁾.

미세먼지는 아주 낮은 농도에서도 일정한 건강상 영향을 일으킬 수 있는데, 이는 의학적으로 안전한 수준의 미세먼지 농도란 없다는 의미이며, 세계보건기구(WHO)가 가능한 낮은 기준으로 미세먼지 농도를 관리하도록 권고하는 기초 근거입니다⁵⁾.



<그림 11> 미세먼지에 의한 건강영향

4) 미세먼지의 건강영향. 배상혁, 홍윤철. 한국의사협회지. 2018;61(12): 749-755.

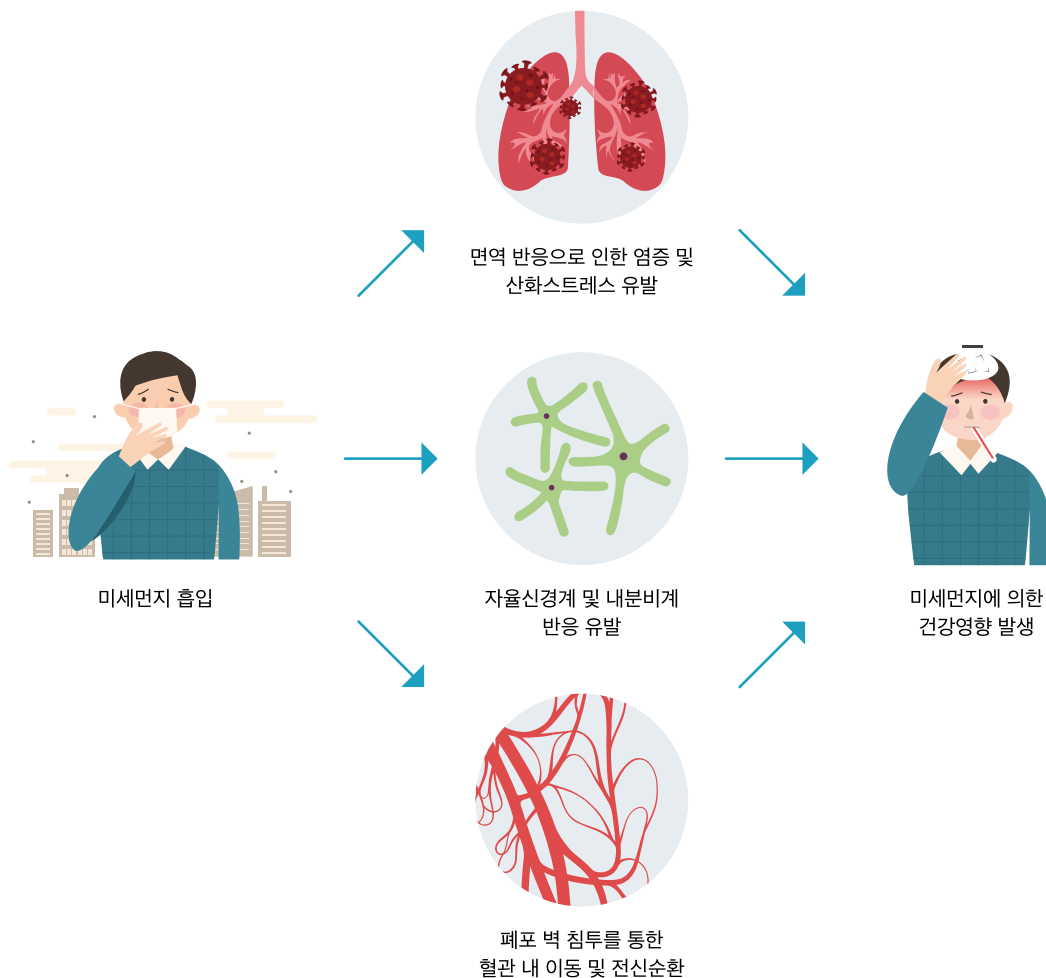
5) 환경운동연합(2018). 「건강한 숨을 되찾기 위한 미세먼지 행동 가이드북」

총부유분진은 대부분 코에서 걸러지지만 그보다 작은 미세먼지, 특히 초미세먼지는 작은 입자크기로 인해 폐포 끝까지 깊숙이 들어갈 수 있어 호흡기로 들어온 초미세먼지가 심혈관계 및 소화계 등의 다른 조직에까지 생리학적 반응을 일으킬 수 있다고 알려져 있습니다.

미세먼지가 질병을 일으키는 기전은 다음과 같이 크게 3가지의 이론이 알려져 있습니다.

- 폐의 염증세포를 활성화시켜 산화 스트레스 작용 유발
- 폐포의 수용체를 활성화시켜 자율신경계 및 내분비계 반응 유발
- 폐포 벽을 침투하여 혈액으로 이동해 여러 장기에 직접적인 영향

이러한 기전을 통해 미세먼지는 인체 내에서 혈관 수축, 혈압 증가, 인슐린 저항성 증가, 고지혈증, 혈관내막 기능장애, 혈소판 응집, 혈액 응고 등의 반응을 유발하여, 여러 질병을 일으킬 수 있습니다⁶⁾.



<그림 12> 미세먼지의 건강영향 기전

6) 대한의학회, 질병관리청(2021). 「미세먼지 진료 길잡이」

II. 학교 미세먼지 문제 이해하기

1. 학교 공간의 특수성

일반적인 건물과는 달리, 학교는 공공의 성격을 띠고, 어린이의 건강과 안전이 직결되어 있으며, 학부모 및 지역 사회의 큰 관심을 받는 장소입니다. 학교는 일반적인 실내 공간과는 다른 특수성을 가지고 있습니다.

- 성인에 비하여 신체·정신적으로 미성숙한 민감군이 좁은 공간에 모여서 생활 (면적당 활동하는 학생 수가 사무실에 근무하는 사람보다 4배 많음)
- 미술실, 과학실 등 다양한 목적의 교실에서 진행되는 수업이나, 체육과 같이 외부에서 진행되는 수업 등 수업의 형태에 따라 수업 중과 수업 이후에 다양한 실내 오염물질이 발생
- 대부분의 학교에서 창문을 이용한 자연환기를 실시하고 있어 외부 환경영향에 취약함
- 다양한 난방, 환기, 냉방 장치가 설치되어 있어 유지·관리 부담이 있음
- 통학버스의 디젤 배출 문제, 등·하교 시간에 학생 및 교직원의 차량이 같은 장소에 집중
- 흡연, 난방기구 연소, 조리과 같은 실내 발생원이 없어 주변 대기오염도와 재실자의 활동 형태의 영향을 받음⁷⁾

• 학교환경 특성평가

본 사업단에서는 학교환경에 대한 특성을 평가하기 위하여 학교 유형, 지역, 외부환경, 내부환경, 학교 건축 현황, 건물 인증 현황, 기타 사항을 확인하였습니다. 예를 들어 복도는 크게 편복도(복도의 한쪽에만 교실이 있는 경우), 중복도(복도의 양쪽에 교실이 있는 경우)로 구분할 수 있으며, 이에 따른 교실의 외기 노출수준 차이에 따른 기밀 성능 차이가 있을 수 있습니다.

주방과 화장실의 배기구, 콘센트를 모두 밀봉한 상태에서 건물에 바람을 불어넣어 실내외 압력차를 이용하여 건물의 기밀 성능을 측정하는 Blower-door 측정법을 이용해 경기도 내 22개 학교 교실, 체육관 기밀성능 비교측정 실험을 실행했습니다.

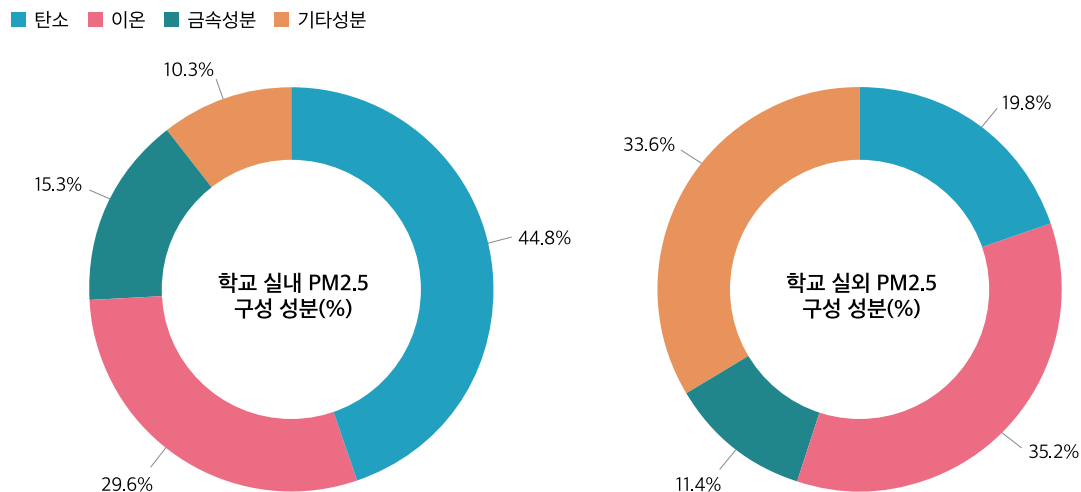
실험 결과, 예상한 것과는 달리 건물연령과 기밀성능 사이에는 큰 상관관계가 없었으며, 이는 2011부터 2015년 까지 실시한 노후학교 창호 개선사업으로 창호의 기밀성능이 향상되었기 때문으로 보입니다. **교실 출입문의 기밀 상태 불량 및 천장 마감 불량 등 유지보수 문제가 기밀성능에 더 큰 영향을 주는 것으로 분석했습니다.**

교실 내 미세먼지 부유량은 증가되는 미세먼지(외부에서 들어온 미세먼지, 교실 내에서 학생들이 활동함에 따른 생성되는 미세먼지와 공기 중으로 날리는 미세먼지)와 감소되는 미세먼지(중력에 따라 바닥에 떨어지는 미세먼지, 공기정화장치 작동에 따라 저감되는 미세먼지)를 고려하게 계산하게 됩니다.

⁷⁾ 손윤석. (2020). 국내 초등학교내 입자상 물질 및 영향 요인. Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 36(2), 153-170.

• 학교 미세먼지 구성 성분(학교 실내외 화학성분 특성 조사)

본 사업단의 연구 결과에 따르면, 국내 학교(경기도 12개교, 전북 3개교 등 총 27개교)의 실내와 실외 PM_{2.5} 성분 농도를 분석한 결과, 학교 실내의 PM_{2.5} 구성 성분은 탄소(44.8%), 이온(29.6%), 금속성분(15.3%), 기타성분(10.3%) 순으로 확인되었으며, 학교 외부의 PM_{2.5} 구성 성분은 이온(35.2%), 기타성분(33.6%), 탄소(19.8%), 금속성분(11.4%) 순으로 확인되었습니다.



<그림 13> 학교 실·내외 PM_{2.5} 구성 성분 분석 결과

• 침기/환기 특성 규명

건물의 실내는 환기, 침기 등에 의해 외부와 끊임없이 공기가 교환됩니다. 여기서 미세먼지는 건물의 외피나 창호의 틈새, 개구부를 통해 실내로 들어오며, 실내가 받는 미세먼지 영향은 먼지가 어떻게 들어오느냐에 따라 달라질 수 있습니다⁸⁾.

연구원에서 Blower-door 측정법을 이용하여 52개 교실의 기밀성능을 측정한 결과, 50Pa 조건에서 기밀성능은 평균 23.3h⁻¹⁹⁾ (6.42~46.84h⁻¹)이었습니다. 한국건축친환경설비학회에서 제시하는 건축물의 기밀성능 기준 (KIAEBS C-1: 2013)이 5.0 h⁻¹ 이하인 것을 고려했을 때, 대부분 학교의 기밀성능이 좋지 않다고 볼 수 있습니다.

재실 인원⁹⁾에 따라 이산화탄소 농도와 침기량이 증가하는 것으로 나타나, 다수의 학생이 재실하고 있는 수업시간 중 **외기의 침입량이 증가**하고 이에 따른 미세먼지 유입 증가가 우려되는 상황입니다.

8) Liu, D. L., & Nazaroff, W. W. (2001). Modeling pollutant penetration across building envelopes. Atmospheric Environment, 35(26), 4451-4462.

9) 환기횟수(공기교환횟수) : 환기를 위해 들어온 공기 부피/해당 공간 전체 부피 = 환기를 위해 들어온 부피를 전체 공간 부피로 나눠서 한 시간동안 몇 번 교환되었는지 알아보는 도구, 숫자가 클수록 공기가 많이 들어오는 것으로 막혀있지 않고 공기가 잘 통하는 공간을 의미한다.

• 외기영향 요소 추적

대기 중의 미세먼지는 건물 틈새 또는 창호를 통해 실내로 유입되는데, 침기량과 환기유형(자연환기, 기계환기)에 따라 실내로 유입되는 정도가 달라집니다.

또한 외부 미세먼지의 실내 전달은 미세먼지 크기에 따라 매우 다르게 나타납니다. 크기가 $1\mu\text{m}$ 보다 작은 극초미세 먼지는 주로 외부 공기의 의도하지 않은 실내 유입으로 인해 전달되고, $2.5\sim 10\mu\text{m}$ 의 미세먼지는 학생활동에 의해 다시 떠오르거나 만들어집니다. 결과적으로 $\text{PM}_{1.0}$ 은 외부 농도에 비하여 실내에서 농도가 낮으며, PM_{10} 은 실내에서 생성되는 경우가 많아 외부 농도에 비하여 실내에서 농도가 높고, $\text{PM}_{2.5}$ 는 두 항목의 중간 정도 경향을 보입니다.

[표 5] 환경 변화에 따른 실내 미세먼지 농도 영향

구분	PM_{10}	$\text{PM}_{2.5}$	$\text{PM}_{1.0}$
청정기 가동	매우 민감하게 감소		큰 영향없음
창문개방	외기에 의해 유입		다소 영향
학생활동 (수업)	큰 영향없음		활동량에 비례
학생활동 (쉬는시간)	침기량 증가에 따라 작게 증가		활동량 증가에 따라 매우 민감하고 크게 증가
외기 농도	주로 외기농도보다 낮음 외기농도에 영향 받음		주로 외기농도보다 높음
유추 정보	침입효과		학생활동에 의해 다시 흩어지거나 생성

실내·외 농도의 관계는 국내 연구에서 제시한 실내·외 농도비 (Indoor/Outdoor ratio)를 이용하여 확인할 수 있습니다¹⁰⁾.

$$I/O \text{ ratio} = \frac{\text{실내 미세먼지 농도}(C_{in})}{\text{실외 미세먼지 농도}(C_{out})}$$

I/O ratio = 1 : 실내·외 농도가 서로 균질하다는 것을 의미

I/O ratio < 1 : 실외 농도가 더 높아, 실내로 미세먼지가 유입될 수 있음

I/O ratio > 1 : 실내농도가 더 높고, 실내에 미세먼지 발생원의 영향이 있음

I/O ratio가 1에 가까울수록, 실내·외 농도가 서로 비슷하다는 것을 의미합니다. 만약 I/O ratio가 1보다 낮으면 실외 농도가 더 높아서 실내로 미세먼지가 유입될 수 있다는 것을 의미하며, 반대로 I/O ratio가 1보다 높으면 실내농도가 더 높고, 실내에 미세먼지가 발생하는 원인이 있을 수 있습니다.

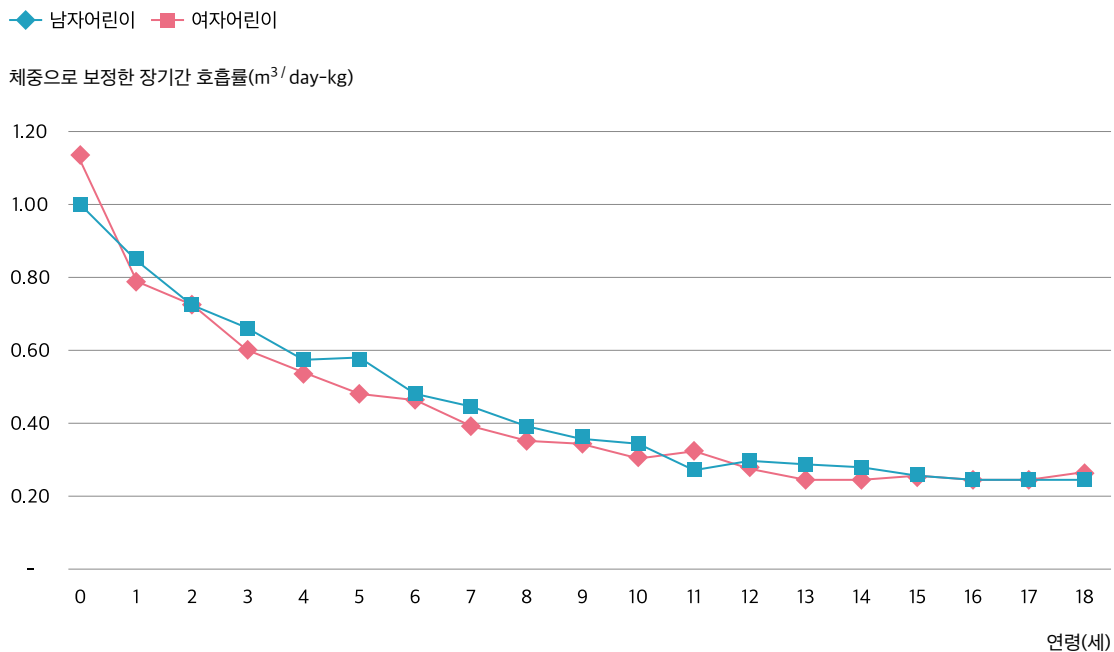
10) 강지원. (2020). 실내 외 농도비 (I/O ratio) 에 기반한 주변환경과 실내 미세먼지 농도분포 특성: 선행연구 리뷰와 여름철 부산과 평택 초등학교에서의 측정 결과를 중심으로. 대한원격탐사학회지, 36(6), 1691-1710.

실내 재실인원의 활동, 계절, 건물용도, 주변 환경 등을 고려하여, PM₁₀와 PM_{2.5}의 I/O ratio를 비교한 결과, PM₁₀의 I/O ratio가 PM_{2.5}보다 높았습니다. 이를 해석하자면, PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 외부에서 내부로 유입될 수 있으나, PM₁₀은 PM_{2.5}에 비하여 상대적으로 사람의 활동에 의해 발생한다고 볼 수 있습니다. PM₁₀의 I/O ratio가 학생들의 활동이 많은 학교에서 1을 초과함을 고려하면 실내 PM₁₀은 신체 활동으로 인해 공기 중에 다시 흩어지면서 농도가 높아질 수 있습니다.

2. 학생의 미세먼지 노출 특성

학생은 대기오염물질에 대해 다음과 같은 노출 특성을 가지고 있습니다.

- 성장기 학생들이 하루 7~14시간 학교에서 생활합니다.
- 키가 작기 때문에 성인보다 호흡기 영역 위치가 낮습니다.
- 성인보다 호흡 속도가 빠르고, 몸무게에 비해 더 많은 양의 공기를 호흡합니다.
- 신체적 및 생리적으로 활발한 성장단계에 있어 대기오염물질이나 화학물질 등 위험 요소에 의해 손상받기 쉽습니다.
- 성인과 비교해 남은 수명이 길어 대기오염물질 노출에 따른 건강영향이 오랜 기간 지속됩니다.
- 오염물질로부터 스스로를 보호하기 위해 도움이 필요합니다.
- 상대적으로 야외활동 시간이 많고 활동량이 많습니다.
- 호흡기 성장에 영향을 받아 성장 후에도 폐기능이 저하될 위험성이 있습니다.



<그림 14> 연령별 호흡률

자료 : 국립환경과학원(2019). 한국 어린이의 노출계수 핸드북

• 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 노출기여도¹¹⁾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 6] 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 미세환경보다 노출기여도는 낮지만 노출되는 시간 대비 노출강도는 매우 높은 것을 확인할 수 있습니다.

[표 7] 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%

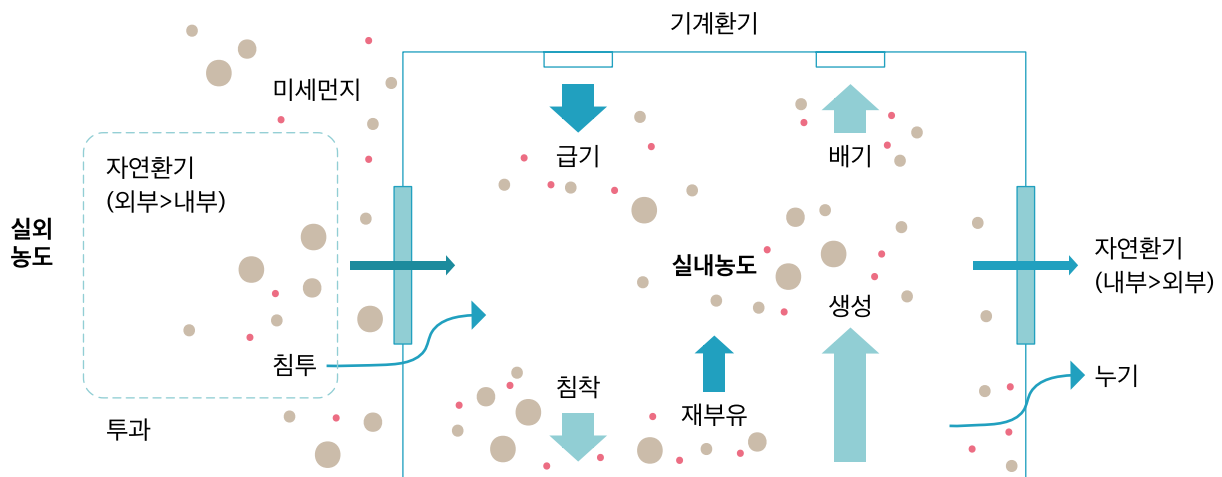
11) 미세먼지에 노출 가능성이 있는 장소에서 보낸 시간에 대한 하루 24시간의 비율, 그 장소에서 많은 시간을 보낼수록 미세먼지 노출량의 기여도가 높다고 할 수 있음.

3. 학교 내·외부 미세먼지 발생원¹²⁾

학교 미세먼지가 발생하는 원인은 크게 ‘내부적 요인’과 ‘외부적 요인’으로 구분할 수 있습니다.

‘내부적 요인’은 교실 내 학생들의 일상적인 활동(등교, 수업, 체육활동, 급식 등)에 따라 내부에 정체된 미세먼지가 공기 중으로 비산되거나, 건물 내 틈을 통해 외부 공기가 유입되는 경우 등으로 볼 수 있습니다. 학교 외벽이나 창문, 건물의 구조적 틈새를 통해 외부 공기가 내부로 유입되는 요인을 점검할 수 있으며, 교실 내부 인원의 밀집도, 교실 청소 빈도, 실내화 착용 여부 등의 점검을 통해 해당 학교의 내부 자체 미세먼지 발생 요인을 확인할 수 있습니다.

‘외부적 요인’은 학교 주변에 도로가 많거나, 인근에 산업단지, 공장, 주변 대규모 공사 등 학교 주변의 물리적 환경 여건에 따라 미세먼지가 발생할 수 있는 요인을 검토할 수 있습니다. 일정 거리 내에 교통이 혼잡한 도로가 있거나, 학교 주변에 미세먼지 발생 가능성이 크다고 판단되는 시설이 있는 경우 도로나 해당 시설이 학교에서 얼마나 떨어져 있는지 확인이 필요합니다. 또한, 도로나 시설의 미세먼지 영향이 어느 정도 수준인지에 대해 추가로 확인해야 합니다.



<그림 15> 실내 미세먼지 농도형성 메커니즘

자료 : 이병희(2018). 미세먼지의 입경에 따른 특성 및 실내 영향

12) EPA reference guide

• 학교 외부 미세먼지 발생원

학교 외부에서 발생하는 미세먼지를 막는 가장 좋은 방법은 학교 위치 선정 시 학교 주변에 미세먼지 발생원이 없는 양호한 장소를 선정하는 것입니다.

학교 주변에 도로와 차량과 같은 이동오염원이 가까이 있는 학교는 도로의 교통량 변화 정도가 학교 외부 미세먼지 농도에 영향을 주게 됩니다. 따라서 학교 위치 선정 시 이러한 정보를 확인하고 교통량 패턴을 파악하는 것이 학교 공기질 관리를 위한 대응 방안 수립에 도움이 됩니다.

일부 학교의 경우 주변에 공장, 산업시설, 산업단지 등이 위치하여 미세먼지나 다른 대기오염물질에 따른 영향을 받는 경우도 있습니다. 산업단지 내 공장시설의 가동에 따른 시간적 대기오염물질 배출 패턴을 파악하는 것 또한 학교 공기질 관리를 위한 대응 방안 수립에 도움이 될 것입니다. 이 외에도 터미널이나 역사와 같이 배기가스를 배출하는 차량이 다수 운행하는 시설, 학교 인근에 있는 공사 현장, 폐기물 처리 및 재활용 시설 등이 주요 발생원입니다.

이처럼 학교 외부에서 발생한 미세먼지는 학교 건축물의 노후 등으로 인한 벽 틈, 환기를 위하여 개방한 창문 등을 통하여 실내로 침투하여 학생과 교직원 등 학교 구성원의 건강에 악영향을 미칠 수 있습니다.



<그림 16> 학교 입지 관련 미세먼지 배출원 유형별 구분

• 학교 내부 미세먼지 발생원

학교 건물 내 미세먼지는 외부에서 유입되는 미세먼지와 더불어 실내에서 다양한 발생원에 의해 발생합니다. 학교 교실 내 미세먼지 농도는 학교 주변 대기오염도와 재실자의 활동 형태에 큰 영향을 받습니다.

본 사업단의 ‘학교 미세먼지 오염특성 연구’ 결과에 따르면, 외부에서 유입되는 미세먼지와 학생과 교사 등 재실자의 활동에 의해 발생하는 미세먼지가 교실 내 PM_{2.5}의 주된 오염원임을 밝혀냈습니다.

국내 연구결과에 따라 교실 용도와 높이, 학교 건물의 건축 연도, 교실 내의 온도와 습도 등이 교실 내 미세먼지 농도에 영향을 미치는 인자라고 지적하였습니다¹³⁾.

학생들의 활동이 활발하게 일어나는 교실일수록 미세먼지 농도가 높게 나타났으며, 학교 건물이 오래되었을수록 건물의 노후화 등으로 생긴 틈, 창문 등으로 미세먼지가 많이 유입되는 것으로 밝혀졌습니다. 따라서 학교 교실 내 공기질을 보다 효율적으로 관리하기 위해서 학교 안의 미세먼지 발생원을 파악하고, 발생원에 따라 적절하게 관리하는 것이 매우 중요합니다.

[표 8] 학교 내·외부 미세먼지 발생원

발생원 구분	종류
외부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 인근 도로의 자동차 배기가스 ▪ 인근 산업시설에서 배출된 미세먼지 ▪ 인근 공사장으로부터의 비산먼지 ▪ 하역장, 폐기물 처리시설 등
내부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 교실 내 표면에 침착된 먼지의 재비산 ▪ 학습 도구 ▪ 학생과 교사의 물리적 활동 ▪ 오염된 외기의 유입 ▪ 환기장치 내부의 먼지

13) 손윤석(2020). 국내 초등학교 내 입자상 물질 및 영향 요인. 한국대기환경학회지 36(2), 153-170.

4. 학교 미세먼지 농도 현황

• 전국 학교 운영 현황

우리나라의 학교는 2021년 기준으로 초등학교 6,309개교, 중학교 3,283개교, 고등학교 2,417개교, 특수학교 188개교를 설립·운영 중입니다.

[표 9] 학급별 국내 학교수

구분	초등학교	중학교	고등학교	특수학교	그외	합계
학교수 (비율)	6,309 (51.4%)	3,283 (26.7%)	2,417 (19.7%)	188 (1.5%)	88 (0.7%)	12,285 (100.0%)

자료: 학교알리미 공개 자료(2021)

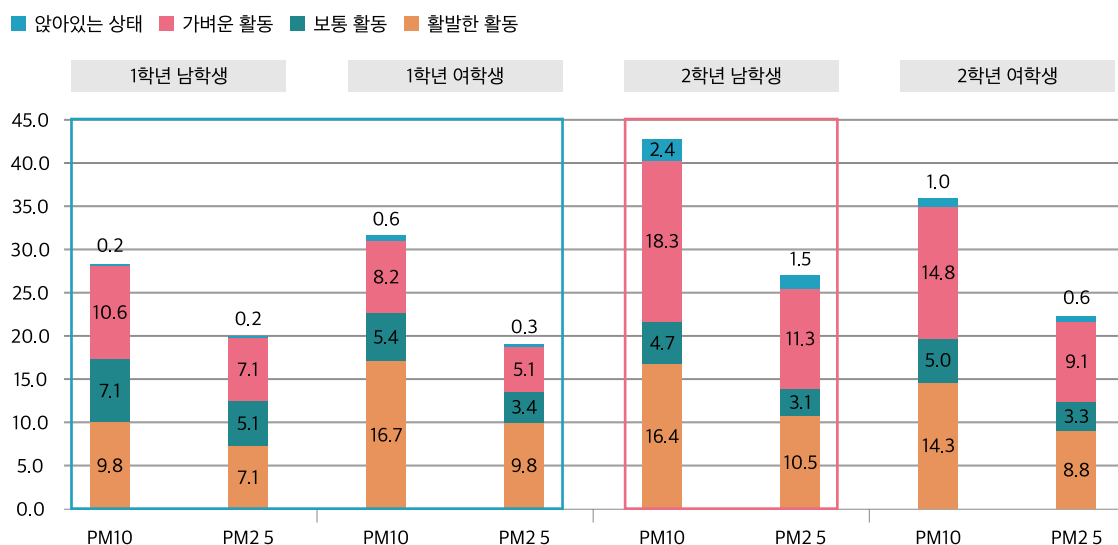
2021년 기준으로 전국 학교의 학생 수는 약 530만 명이며, 유치원, 초·중·고, 특수학교의 학급당 평균 학생 수는 유치원 18.6명, 초등학교 22.2명, 중학교 24.8명, 고등학교 24.5명, 특수학교 5.3명입니다.

• 학생 활동도 기반 노출특성 평가

본 사업단에서는 4명(남학생 2명, 여학생 2명)의 초등학생을 대상으로 신체활동 강도 측정 장비를 활용하여 미세먼지 노출 특성을 실시간으로 측정하였습니다.

미세먼지 추적 관찰 결과, **학생들 모두 등·하교길 실외에서 가장 높은 농도의 미세먼지에 노출되었고**, 쉬는시간 및 점심시간에는 활동강도가 높아지며 미세먼지 노출량이 증가하는 것을 확인하였습니다.

미세먼지 노출량은 2학년 남학생이 가장 높았는데, 미세먼지 농도가 가장 낮은 교실에서 보낸 시간이 가장 적고, 미세먼지 농도가 높은 실외나 급식실, 복도에서 보낸 시간이 많았습니다. 1학년 남학생과 여학생은 고강도 활동의 비율이 낮고, 교실에서 보낸 시간이 비교적 길었기 때문에 미세먼지 노출량도 낮게 측정된 것으로 보입니다.

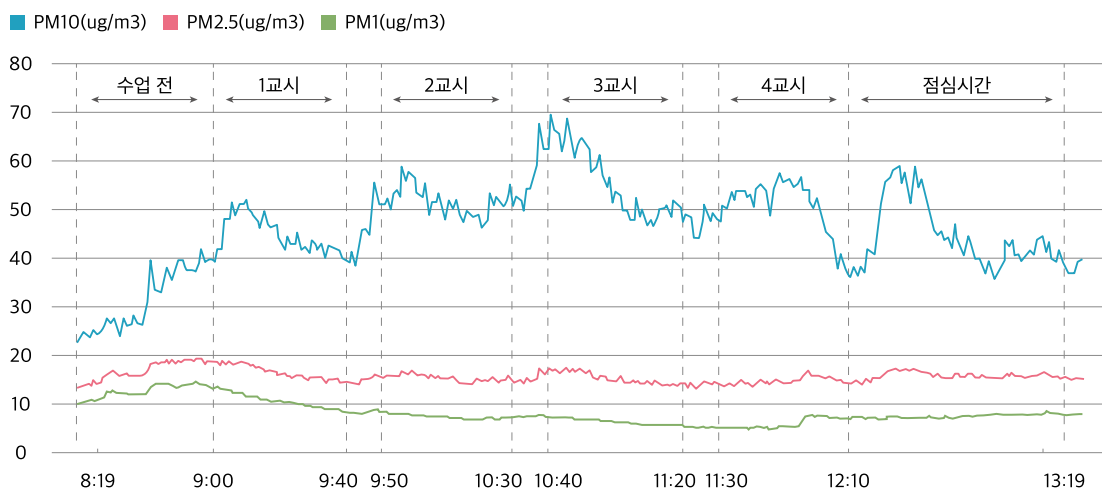


<그림 17> 학생별 활동도에 따른 미세먼지 노출 수준

• 교실 내 미세먼지 농도 현황

본 사업단에서는 시간대별 교실 내 미세먼지 농도 변화를 확인하기 위하여, 수업 전·후, 수업 중, 쉬는시간, 점심 시간으로 나누어 미세먼지 수준을 확인하였습니다. 「학교보건법」 제4조에 따른 공기질 유지기준(PM_{10} $75\mu g/m^3$, $PM_{2.5}$ $35\mu g/m^3$) 이하 농도로 유지되고 있음을 확인할 수 있었습니다.

PM_{10} 농도는 수업 전·후에 가장 낮으며, 수업을 시작하면서 농도가 상승하는 경향을 보였습니다. 수업 일정별로 PM_{10} 농도 변화는 다양했으나, 반대로 $PM_{1.0}$ 은 수업 전·후에 농도가 높고 수업 이후 농도가 감소하는 경향이 나타났습니다. $PM_{2.5}$ 농도는 전반적으로 일정한 농도로 유지되었습니다.

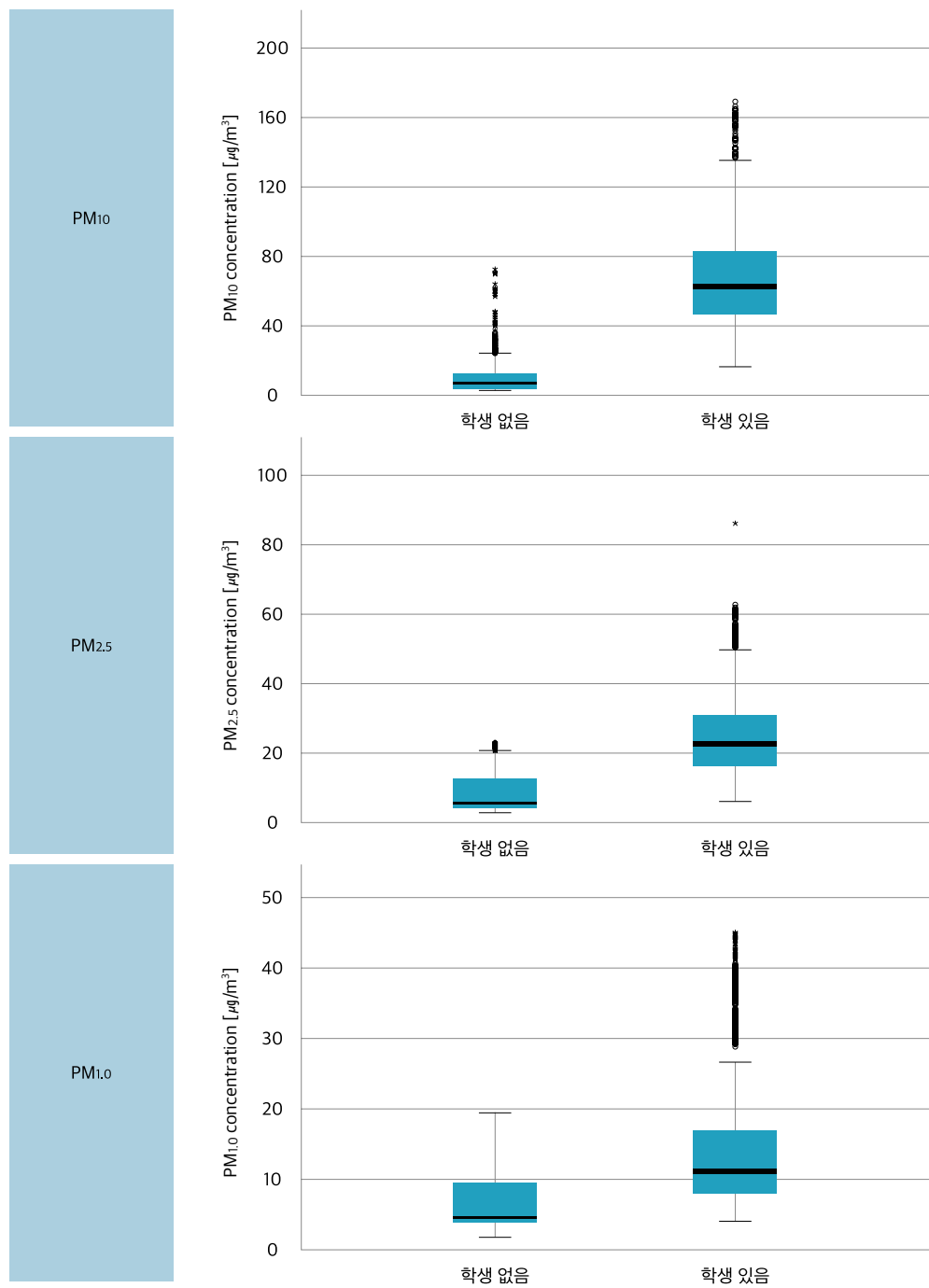


<그림 18> 시간대별 교실 내 미세먼지 농도 변화

학생의 재실 여부에 따른 미세먼지 농도를 확인한 결과에서는, 실외 미세먼지 농도가 높았던 2, 3월보다 실외 미세먼지 농도가 낮았던 7, 11월의 실내 미세먼지 농도가 더 높게 관측되었습니다.

보편적으로, 실외 미세먼지 농도가 높으면 실내 미세먼지 농도도 높게 나타나지만, 실외 미세먼지 농도가 낮았음에도 불구하고 7, 11월에 실내 미세먼지 농도가 높은 경향을 보인 부분은, 교실에 학생들이 있어 학생들의 활동에 따라 미세먼지가 발생하여 실내 농도가 더 높았을 것으로 보입니다. 이 결과를 통해 실내 미세먼지는 계절적인 영향뿐 아니라 **학생의 재실 상태에도 큰 영향을 받는 것을 확인할 수 있었습니다.**

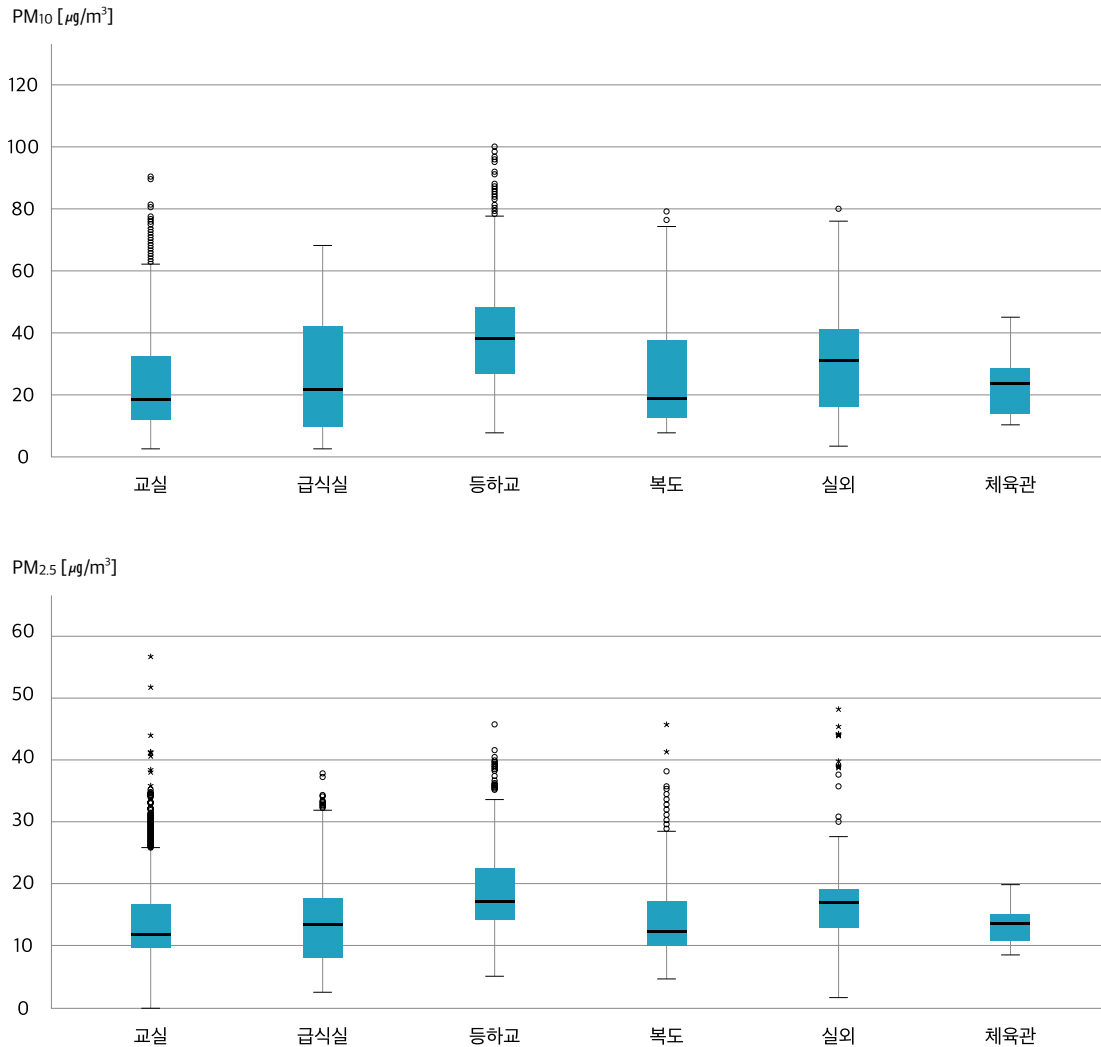
위의 분석 결과를 실제로 확인하기 위해, 교실의 학생 유무에 따른 PM_{10} , $PM_{2.5}$, $PM_{1.0}$ 수준을 측정한 결과, 모든 항목에서 학생이 없을 때보다 학생이 있을 때 미세먼지 농도가 높은 것을 확인할 수 있었습니다.



<그림 19> 학생 재실 유무에 따른 미세먼지 농도 분석 결과

학교생활의 전반적인 과정(등교부터 하교까지)에서의 미세먼지 노출 수준을 확인하기 위하여, 학교 등·하교, 교실, 급식실, 복도, 실외(학교 내), 체육관 등에서의 미세먼지 농도를 측정된 결과, PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 **등하교>실외>급식실>복도>교실>체육관** 순으로 나타났습니다.

등·하교 및 실외에서는 학교에 인접해있는 도로의 영향을 많이 받고, 급식실은 조리 과정에서 발생하는 미세먼지의 영향을 많이 받는 것으로 추정되었습니다. 측정 지점 중에서 교실과 체육관에서의 미세먼지 농도가 가장 낮은 것으로 나타났습니다.



<그림 20> 학교생활에서의 주요 포인트별 미세먼지 노출 수준 분석 결과

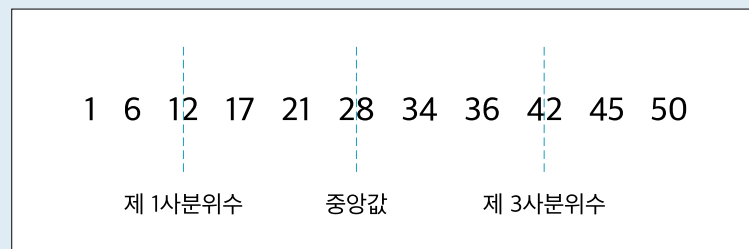
Q. 그래프를 어떻게 봐야하나요?

그림 18,19에 사용한 그래프는 박스 플롯(Box Plot)으로 데이터를 한눈에 볼 수 있도록 도와줍니다.

전체 데이터를 작은수부터 나열했을 때 50%의 위치에 있는 값을 중앙값이라고 하고 이를 기준으로 데이터가 위아래로 분포되어 있습니다.

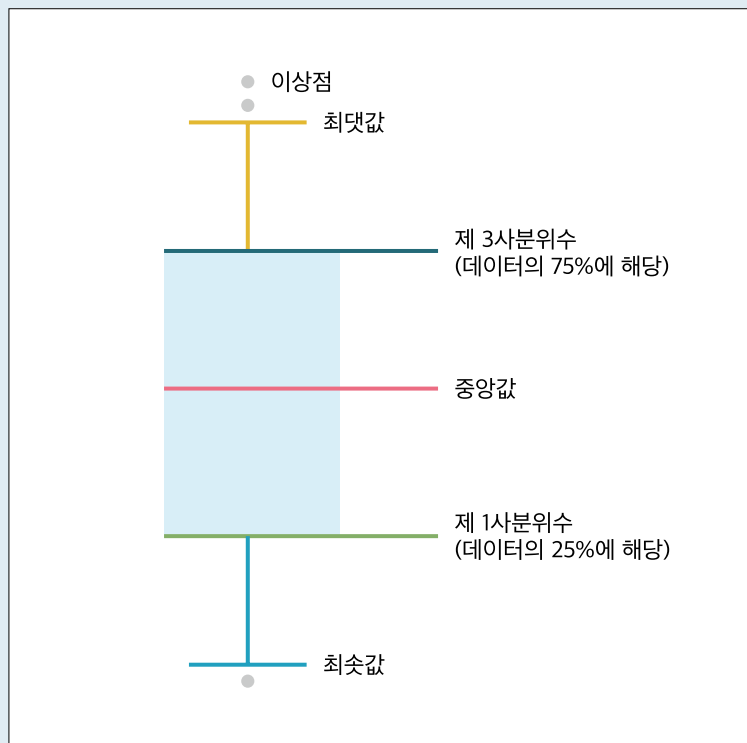
25%의 위치에 있는 값을 1사분위수라고 하는데 이는 박스 하단(초록색)에 위치하고 있습니다

75% 위치에 있는 값은 3사분위수이고, 박스 상단(남색)에 위치하고 있습니다.



또한 박스의 위에 연결된 선(노란색)은 최대값이고, 아래에 있는 선(하늘색)은 최소값을 나타냅니다.

최댓값, 최솟값 위아래의 점(회색)은 이상치(Outlier)로 수집한 데이터의 범위에서 많이 벗어난 값을 의미하며, 작은 이상치와 큰 이상치가 있을 수 있습니다.



• 계절 및 시간별 학교 미세먼지 농도 변화

우리나라 학교 주변을 세가지 유형으로 구분한다면 다음과 같습니다.

유형Ⅰ : 양호

유형Ⅱ : 학교 주변에 간선도로 또는 교통시설이 위치한 경우

유형Ⅲ : 산업시설이 가까이 있는 경우

우리나라 학교 주변 미세먼지 농도의 계절적 특성을 확인한 결과, 학교의 학사일정이 시작되는 1학기 중(3월~6월)에 PM₁₀, PM_{2.5} 농도가 가장 높은 특성을 보였으며, 간선도로나 교통시설이 학교 주변에 위치하는 경우가 동일기간에 더욱 농도가 높게 유지되는 경향을 보였습니다. 산업시설이 학교와 인접한 거리에 위치한 경우, 겨울철로 접어드는 2학기(11월~12월)에 농도가 높게 유지되는 경향을 보였습니다.

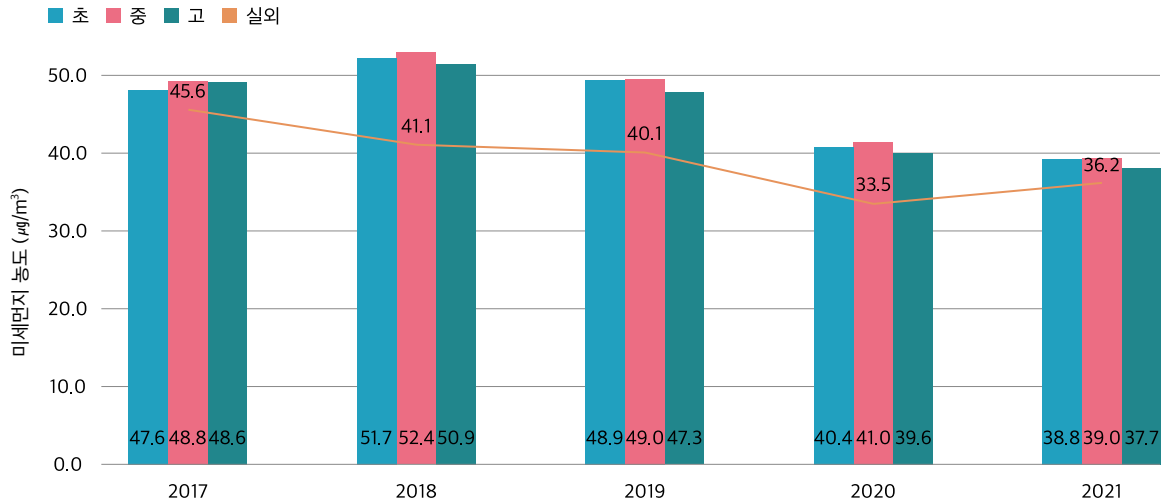
시간대별로 살펴보면, 새벽 시간대에 미세먼지 농도가 상대적으로 낮게 유지되었으며, 학교 주 운영 시간대(8~17시)에 대체로 하루 중 가장 높은 농도를 유지하였습니다. 주변에 아무것도 없는 것보다 주변 교통량이 많은 경우에 대부분 높은 농도가 나타났으며, 산업시설이 있는 경우 공장 가동이 시작되는 초기 시간대(9~11시)에 미세먼지 농도가 두드러지게 증가하는 경향이 나타났습니다.



<그림 21> 학교 주변 상태에 따른 월별, 시간대별 PM₁₀, PM_{2.5} 농도 변화

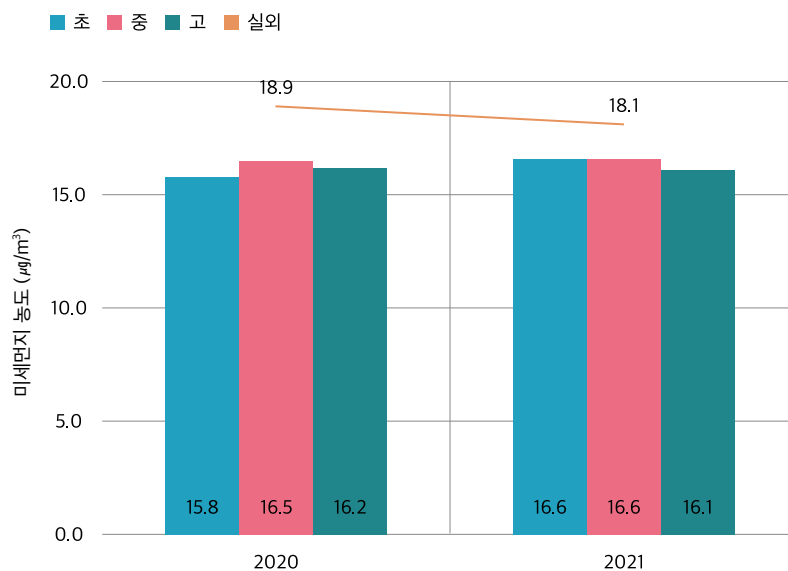
• 교실 내 미세먼지 농도 실태 조사

본 사업단에서는 ‘학교알리미’ 공개 자료 및 관련 문헌을 활용하여 연도별 학교 미세먼지 농도 실태를 조사하였습니다. 연도별 학교 실내 PM₁₀의 연도별 평균 농도를 확인한 결과, 모두 「학교보건법」 유지기준인 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하지 않는 것으로 나타났습니다.



<그림 22> 학교급에 따른 연평균 실내 PM₁₀ 농도

2018년 「학교보건법」이 개정되며 PM_{2.5}의 유지기준이 만들어졌습니다. PM_{2.5} 또한 연도별 평균이 기준치 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하지 않는 것으로 나타났습니다. 다만, 전체 학교의 약 52.1~60.5%가 측정하지 않았거나 공개하지 않은 상태 이므로 추가적인 조사를 실시할 필요가 있습니다.

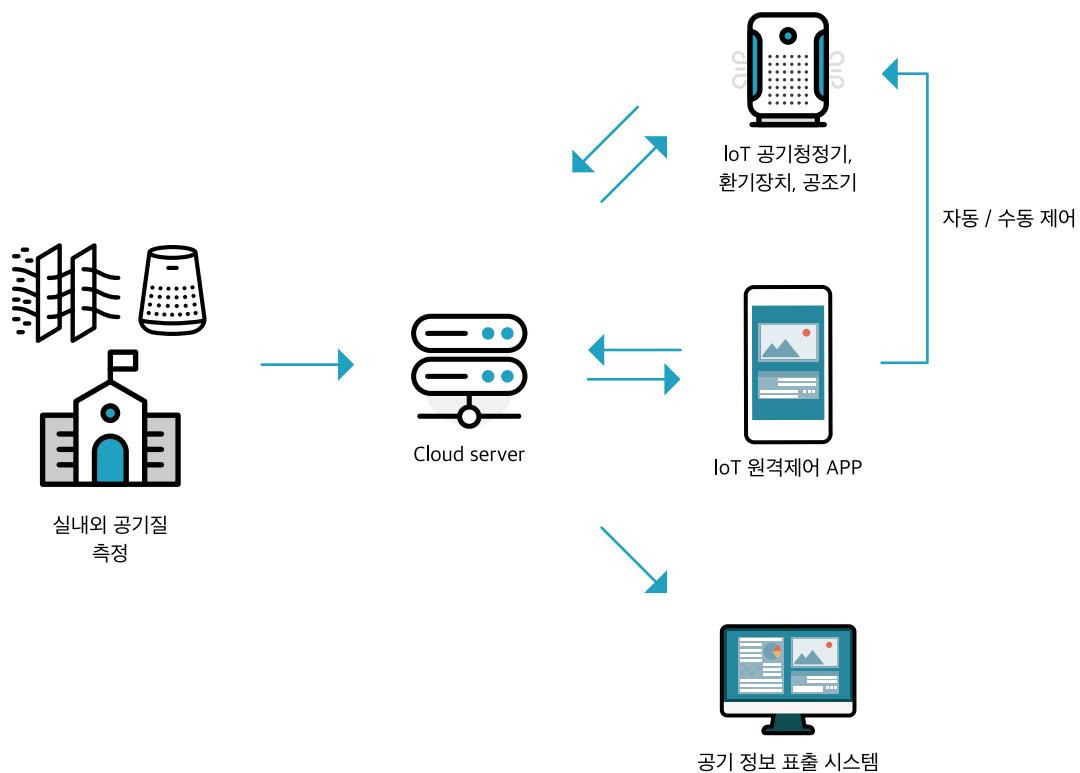


<그림 23> 학교급에 따른 연평균 실내 PM_{2.5} 농도

본 사업단에서는 위에서 확인된 결과를 토대로 하여, 실제 교실의 미세먼지 관리 컨설팅을 위하여 5개교를 선정하여 **리빙랩(Living Lab)**을 구축하였습니다. 리빙랩이란 ‘일상생활의 실험실’이란 의미로, 정보통신기술(ICT)을 활용해 생활속에서 발생하는 도시문제를 사용자가 직접 참여하여 해결하는 시민참여 정책 중 하나입니다. 일상의 문제해결에 있어 민간과 공동체 영역을 하나로 묶어 연구와 실행을 연결하는 개방형 플랫폼 형태입니다.

실내 공기질 정보는 실시간으로 측정되어 클라우드 서버에 전송 및 저장되며, 측정 데이터는 사용자가 모바일 앱이나 PC를 통해 해당하는 학교의 실내 공기질 정보를 확인할 수 있도록 하였습니다.

원격제어 앱을 통하여 리빙랩에 설치된 공기청정기, 환기설비, 공조기를 자동 또는 수동으로 제어할 수 있도록 하였습니다. 이러한 리빙랩 사용 주체들을 대상으로 미세먼지 관련 교육 및 리빙랩 시스템을 적극 활용하도록 조치할 계획입니다.



<그림 24> 학교 실내공기질 개선을 위한 IoT 기반 원격제어시스템 구성

5. 학교 입지에 따른 미세먼지 특성

학교 주변의 교통은 학교 공기질에 영향을 주는 가장 큰 요인으로 볼 수 있습니다. 미국 환경보호청(U.S.EPA)에서는 자동차에서 배출되는 오염물질 농도가 일반적으로 도로 근처 500ft(약 150m) 이내에서 높게 나타나며 2,000ft(약 600m)까지 떨어져야 배경농도 수준으로 낮아진다고 보고하고 있습니다. 따라서, 교실이 있는 학교 건물은 고속 및 간선도로 등 오염물질 발생원에서 가능한 멀리 배치하도록 권고하고 있습니다¹⁴⁾.



<그림 25> 학교 주변 도로영향을 고려한 교사 배치

자료: U.S.EPA(2015). Best Practices for Reducing Near-Road Pollution Exposure at Schools

우리나라의 미세먼지 이슈는 사계절 변화로 인해 외부 미세먼지가 고농도로 높아지는 상황이 기본적인 문제이므로, 학교 미세먼지 관리 또한 학교가 위치한 외기와 교실 내부 공기를 유동적으로 같이 고려해야만 합니다.

14) 한국교육환경보호원(2019). 학교 공기정화장치 설치 및 운영을 위한 컨설팅 방안 및 업무 가이드라인 개발 연구

Management Guide of School Particulate Matter

학교 미세먼지 관리 안내서

중·고등학생용



Chapter 2

III. 학교 미세먼지 관리방법

1. 미세먼지에 의한 건강영향 예방을 위한 평상시 건강수칙
2. 미세먼지 영향을 줄이기 위한 실내 미세먼지 관리 방법
3. 학생의 학교 미세먼지 대응 방법

IV. 관련기관 비상연락망

1. 연락망 안내
2. 중앙행정기관
3. 시·도교육청
4. 지방자치단체
5. 지역 보건소

V. 참고문헌

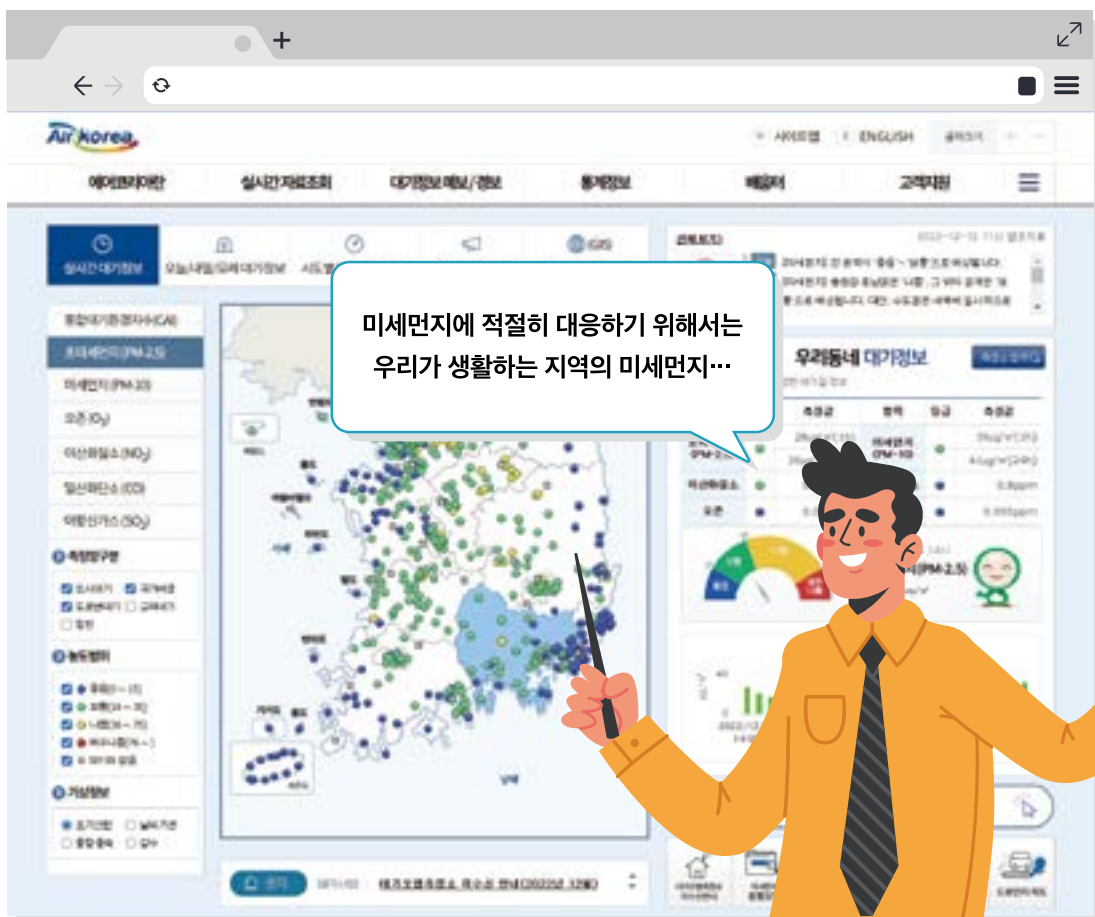
VI. 부록

III. 학교 미세먼지 관리방법

1. 미세먼지에 의한 건강영향 예방을 위한 평상시 건강수칙





• 에어코리아를 활용한 실시간 우리동네 대기정보 확인

미세먼지에 적절히 대응하기 위해서는 우리가 생활하는 지역의 미세먼지 예보와 같은 대기정보를 수시로 확인하는 것이 중요합니다. 실시간으로 우리동네의 미세먼지 농도 등의 대기질 정보를 확인하기 위해 한국환경공단에서 운영하는 "에어코리아(AirKorea)" 홈페이지 (www.airkorea.or.kr) 또는 모바일 앱 "우리동네 대기정보"를 활용할 수 있습니다. 한국환경공단은 기존부터 측정해온 국가대기측정망의 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}), 오존, 이산화질소, 일산화탄소, 아황산가스 등의 자료를 이용하여 2005년 12월부터 "에어코리아(AirKorea)" 홈페이지를 통해 전국의 대기 오염도 정보를 실시간으로 제공하고 있습니다.



<그림 26> 에어코리아(AirKorea) 홈페이지 실시간 대기정보 확인

도시대기측정소는 1시간마다 주요 대기오염물질 6종인 미세먼지(PM₁₀), 초미세먼지(PM_{2.5}), 아황산가스(SO₂), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO₂), 오존(O₃)에 대한 대기오염도를 시간대/일자/요일별로 제공하며, 인체영향과 체감오염도를 반영한 통합대기환경지수(CAI, Comprehensive Air-quality Index)를 적용하여 대기오염 상황을 4개 등급과 색상으로 표현하여 제공

통합대기환경지수	좋음	보통	나쁨	매우나쁨
	0 ~ 50	51 ~ 100	101 ~ 250	251 ~
픽토그램				

<그림 27> 통합대기환경지수 4개 등급 표현 방법

출처 : 한국환경공단

환경부에서는 대기오염으로 인한 국민건강 피해를 최소화하기 위해 미세먼지 오염도 기준으로 4단계(좋음, 보통, 나쁨, 매우나쁨)의 예보 등급으로 구분하여 하루 4회(오전 5시, 오전 11시, 오후 5시, 오후 11시) 예보하고 있습니다. 예보 등급은 국제보건기구(WHO) 권고치, 국외 사례, 국내 대기질 상황, 전문가 의견 등을 반영하여 인체 위해성을 근거로 설정하였습니다.

[표 10] 미세먼지 농도별 예보 등급

구분	예보*등급			
	좋음	보통	나쁨	매우나쁨
PM ₁₀ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	0 ~ 30	31 ~ 80	81 ~ 150	151 이상
PM _{2.5} ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	0 ~ 15	16 ~ 35	36 ~ 75	76 이상

* 예보는 환경부가 대기모델링 등을 이용하여 미세먼지 농도를 예측하여 다음 날의 대기질을 발표

미세먼지 실시간 평균 농도가 건강에 유해한 영향을 미칠 수 있는 수준으로 높아지면 그 지역의 시간당 평균 농도 수준에 따라 지자체에서 자체적으로 미세먼지 주의보 혹은 경보를 발령하고 있습니다.

[표 11] 미세먼지 농도별 경보 등급

구분	경보 등급	
	주의보	경보
PM ₁₀	150 μ g / m ³ 이상 2시간 지속	300 μ g / m ³ 이상 2시간 지속
PM _{2.5}	75 μ g / m ³ 이상 2시간 지속	150 μ g / m ³ 이상 2시간 지속

미세먼지에 적절하게 대응하기 위해서는 자신이 생활하는 지역의 미세먼지 농도를 지속적으로 확인하는 것이 중요합니다. 미세먼지 농도와 예보, 경보 등급을 확인하여 외부 활동을 조절하고, 외출 시 보건용 마스크를 사용하는 등 행동 방안을 결정해야 합니다.

• 미세먼지 민감군 확인

미세먼지 민감군은 미세먼지에 노출되었을 때 나타나는 건강영향이 건강한 사람들에 비해 크게 나타나는 사람들을 의미합니다. 미세먼지 민감군은 임산부와 영·유아, 어린이, 노인, 기저질환자(심혈관질환자, 호흡기·알레르기 질환자) 등이 있습니다. 이러한 특성이나 질환이 있는 사람들은 자신이 미세먼지 민감군임을 스스로 인식하고, 일상생활 속 미세먼지 노출을 줄이기 위한 노력이 필요합니다.

18세 이하 어린이와 청소년은 성인과 비교하였을 때 야외활동 시간이 길고, 활동량과 호흡량이 많아 미세먼지 노출 가능성이 더 높습니다. 폐와 면역력이 완벽하게 성장하지 않았기 때문에 호흡기 및 폐질환 발생 가능성이 높고 이러한 질환들은 호흡기 성장에 영향을 주어 성인이 되었을 때 폐기능의 저하를 일으킬 수 있습니다.

• 미세먼지 노출 후 나타나는 증상 확인

미세먼지 노출은 영향을 받는 부위나 정도에 따라 다양한 증상과 질환을 유발하거나 악화시킵니다. 미세먼지는 코와 눈, 기도 등의 점막을 자극하여 눈이 따갑거나 눈물이 날 수 있고, 가려움증, 습진성 병변, 콧물, 코막힘, 호흡 곤란, 가슴 답답함, 기침 등의 증상이 생길 수 있습니다. 특히 호흡기질환이 있는 사람은 깊게 호흡하기 어렵고 기침, 쌉쌉거림, 짧은 호흡, 비정상적인 피로가 발생할 수 있어 더욱 주의를 기울여야 합니다.

이러한 증상이 나타났을 때는 **병원에 내원하여 치료**하고, 비상약을 구비하여 증상 악화 시 응급처치를 할 수 있도록 준비하여야 합니다. 미세먼지에 지속적으로 노출되어도 미세먼지에 대한 면역력이 생기거나, 높아지지 않기 때문에 노출 후 증상이 나타나거나, 기저질환이 있다면 미세먼지 예보를 잘 확인하고 질환을 관리하는 등 각별한 주의가 필요합니다.

• 보건용 마스크 준비

보건용 마스크 착용은 미세먼지 노출을 줄이기 위해 개인이 할 수 있는 가장 효과적인 방법으로 권장되고 있습니다. **미세먼지 예보 등급이 '나쁨' 이상인 경우** 마스크 착용으로 건강영향을 예방할 수 있습니다. 마스크는 목적과 성능에 따라 보건용 마스크, 산업용 방진 마스크, 방한대, 비말 차단용 마스크, 수술용 마스크 등으로 구분할 수 있습니다. **미세먼지 농도가 높은 날 적합한 마스크는 보건용 마스크이며, 방한용 마스크, 비말 차단용 마스크, 수술용 마스크는 미세먼지 차단에 효과적이지 않습니다.**

우리나라의 보건용 마스크는 식품의약품안전처에서 '의약외품'으로 관리하고 있습니다. 의약외품으로 허가된 마스크는 **Korea Filter(KF)** 값에 따라 KF80, KF94, KF99 등급으로 구분할 수 있는데, 이는 먼지 포집 효율이 각각 80%, 94%, 99%인 것을 의미하고, **수치가 높을수록 먼지가 많이 걸러지게 됩니다.**

KF 수치가 높을수록 필터가 촘촘하여 착용자의 호흡이 힘들 수 있습니다. 보건용 마스크를 착용한 후 두통, 호흡곤란, 어지러움 등의 증상이 발생한 경우 즉시 마스크를 벗도록 합니다.

호흡기질환, 심장질환을 앓고 있거나 어린이, 임산부, 노인 등 호흡에 어려움이 있을 수 있는 사람은 의사와 상의하여 마스크를 착용하고, 무리해서 착용하지 않도록 합니다.

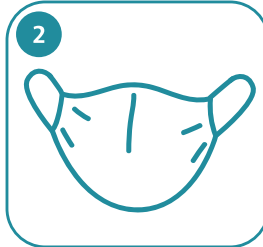
보건용 마스크는 본인의 얼굴 크기에 맞는 것을 선택하여, 코 주변을 비롯한 얼굴과 맞닿는 주변부가 얼굴에 밀착 되도록 착용해야 합니다. 얼굴과 마스크 사이에 틈이 생겨 공기가 드나들게 되면 마스크의 미세먼지 차단 효과가 감소하게 됩니다. 또한, **세탁하여 재사용하지 않고, 형태를 변형하여 착용하지 않아야 합니다.**

보건용 마스크 구입 시에는 입자 차단 성능이 없는 방한대, 의약외품으로 허가받지 않은 마스크 등이 미세먼지를 차단할 수 있는 것처럼 광고 및 판매되는 사례가 있어 반드시 제품 포장지에 **'의약외품'**이라는 표시와 **KF80, KF94, KF99 표시를 확인**해야 합니다.

올바른 마스크 착용법



마스크를 만지기 전에 먼저 손을 깨끗하게 씻어주세요.



양 손으로 마스크의 날개를 펼치고 날개끝을 잡아 오므려주세요.



고정심이 내장된 부분을 위로해서 잡고 턱 쪽에서 시작하여 코 쪽으로 코와 입을 완전히 가리게 합니다.



머리끈을 귀에 걸어 위치를 고정하거나 끈을 머리 뒤쪽으로 넘겨 연결고리에 양쪽 끈을 걸어주세요.



양 손의 손가락으로 고정심 부분이 코에 밀착되도록 고정심을 눌러주세요.



양 손으로 마스크 전체를 감싸고 공기가 새는지 체크하면서 얼굴에 밀착되도록 조정하세요.





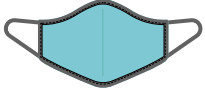
※ 마스크 착용 후 호흡곤란, 두통 등과 같은 불편감이 느껴지면 바로 벗으세요.

※ 호흡기질환자의 경우 보건용 마스크 사용은 의사와 상의한 후에 착용하여야 합니다.

<그림 28> 올바른 마스크 착용법

자료: 질병관리본부, 대한의사협회

[표 12] 마스크의 종류와 기능

종류	예시(사진)	기능
보건용 마스크*		황사, 미세먼지 등 입자성 유해물질 또는 감염원으로부터 호흡기 보호
수술용 마스크*		진료, 치료, 수술 시 감염 예방
비말 차단용 마스크* (KF-AD)		일상생활에서 비말감염을 예방
산업용 방진 마스크		산업 현장에서 미세 분진등으로부터 호흡기 보호
방한대		추위로부터 얼굴 보호

* 보건용 마스크, 수술용 마스크, 비말 차단용 마스크는 식품의약품안전처에서 의약외품으로 등록하여 관리

• 야외활동 조절

미세먼지 예보 등급이 '나쁨' 수준 이상일 때는 **가급적 실외 활동을 자제**하고 공기정화설비가 되어있는 실내에서 생활하고, 신체 활동 강도를 낮춰 가볍게 활동하는 것이 좋습니다. 실외에서 조깅, 자전거 타기 등과 같은 중증도 이상의 강도로 운동하는 경우 호흡량이 증가하여 미세먼지가 인체 내로 유입될 가능성이 높아집니다.

그러나 외부 미세먼지 노출과 신체 활동을 비교하여 건강증진 효과를 수치화한 연구¹⁵⁾에 의하면, 모든 사람에게 미세먼지 예보에 따른 실외 활동 제한을 일률적으로 적용하는 것은 바람직하지 않으며, **나이와 개인의 건강 상태를 고려하여 자율적으로 신체 활동을 하도록 권장하고 있습니다.** 다만, 어린이, 노인, 임산부, 호흡기·알레르기 질환자와 같은 미세먼지 민감군은 미세먼지 농도가 '나쁨' 수준이거나, 주의보 또는 경보가 발령된 경우에는 실외 활동을 제한하거나 금지하고, 외출한다면 보건용 마스크를 착용해야 합니다.

만약 실외 활동을 할 경우, 미세먼지 노출을 최소화하기 위해서는 가능한 **교통량이 많은 대로변이나, 공사장과 같이 대기오염이 심한 곳은 피해서 다니는 것**이 좋습니다. 넓은 도로에서는 화물차를 비롯한 차량의 통행량이 많고, 타이어와 브레이크의 마모로 인해 미세먼지가 많이 발생할 수 있습니다. 건설 현장, 공사장, 발전소 주변은 비산먼지를 배출하기 때문에 미세먼지 농도가 높게 나타납니다. 특히, 운동할 때는 심장박동과 호흡이 빨라지면서 미세먼지의 흡입량도 많아지게 되므로 주의가 필요합니다.

15) Tainio M, de Nazelle AJ, Götschi T, Kahlmeier S, Rojas-Rueda D, Nieuwenhuijsen MJ, et al. Can air pollution negate the health benefits of cycling and walking? Preventive medicine. 2016;87:233-6.

• 손 씻기와 개인위생 관리

손 씻기 등 개인위생을 관리하는 것은 병원체 및 이물질이 입을 통해 들어오거나, 피부를 통해 전달되는 것을 막을 수 있기에 미세먼지뿐 아니라 다양한 오염물질에 의한 건강영향을 줄일 수 있습니다.

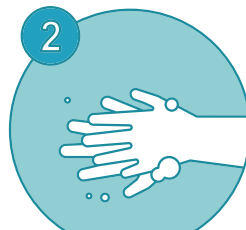
손바닥, 손가락 사이, 손톱 밑 등 구석구석 깨끗한 손씻기를 실천해요!

올바른 손씻기 6단계



손바닥

손바닥과 손바닥을
마주대로 문질러 주세요.



손등

손등과 손바닥을
마주대고 문질러 주세요.



손가락 사이

손바닥을 마주대고
손가락지를 끼고 문질러 주세요.



두 손 모아

손가락을 마주잡고
문질러 주세요.



엄지 손가락

엄지손가락을 다른 편
손바닥으로 돌려주면서
문질러 주세요.



손톱 밑

손가락을 반대편 손바닥에
놓고 문지르며 손톱 밑을
깨끗하게 하세요.

자료: 질병관리청 저자 재편집

• 수분 및 과일·채소 섭취

물은 인체의 대표적인 구성 성분으로, 인체 내에서 발생하는 노폐물의 배출을 도와주며, **호흡기의 점막을 촉촉하게 유지하여 미세먼지가 인체에 들어오는 것을 막는데 도움을 줄 수 있습니다.**

과일과 녹황색 채소에 많이 들어있는 비타민은 항산화 작용을 통해 염증이나 심혈관계 질환을 줄이는데 도움을 줄 수 있으므로, 비타민과 항산화 성분이 풍부한 식품을 골고루 섭취하는 것도 중요합니다.

• 대기오염물질 배출 줄이기

인구와 경제활동이 집중된 도시에서 자동차의 배기가스는 대표적인 대기 오염원입니다. 따라서 **가까운 거리는 걷거나 자전거 타기, 대중교통 이용 등으로 자동차에서 배출되는 미세먼지를 줄일 수 있습니다.**

플라스틱이나 비닐 등은 소각 시 미세먼지뿐만 아니라 다이옥신, 환경호르몬과 같은 독성물질이 발생하기 때문에 일상생활에서 사용을 줄이고, 재활용이 가능한 경우, 분리하여 배출하는 것도 미세먼지를 줄이는 방법입니다.

2. 미세먼지 영향을 줄이기 위한 실내 미세먼지 관리 방법

• 실내 온·습도 유지

환경부에서 권장하는 계절별 실내 최적온도 및 습도는 아래의 표와 같습니다.

[표 13] 계절별 실내 최적온도 및 습도

온도			습도
겨울철 난방	실내온도	여름철 냉방	
18~20℃	18~28℃	26~28℃	30~80%

자료: 학교보건법 시행규칙 별표2

온도는 여름엔 에어컨이나 선풍기, 겨울엔 히터 등의 냉·난방시설을 통해 쉽게 조절이 가능합니다. 그러나 습도는 계절 간 큰 온도 차이에 의해 적절하게 유지하기 어렵습니다. 습도를 적절하게 유지하는 것은 공기질을 쾌적하게 유지하는 것뿐만 아니라 건강에도 직접적인 영향을 주게 됩니다. 습도가 너무 낮을 경우, 공기가 건조해지므로 안질환 및 인후염, 피부 건조증 등이 발생할 수 있으며, 습도가 너무 높을 경우, 곰팡이, 세균, 진드기 등이 쉽게 생존할 수 있는 환경이 조성되므로 호흡기에 나쁜 영향을 줄 수 있습니다.

실내 습도가 적절하게 유지되면 실내의 미세먼지는 공기 중의 물 분자와 만나 무거워지고, 바닥으로 가라앉게 됩니다. 가라앉은 미세먼지는 청소를 통해 제거할 수 있습니다. 특히, 쉽게 건조해지는 겨울철에는 가습기를 사용하거나, 실내에서 빨래 말리기 등을 통해 습도를 적절하게 유지하면 실내 미세먼지 관리에 도움이 됩니다.

• 주기적인 자연환기 및 기계환기

환기는 내부의 오염된 공기를 외부로 배출하고 외부의 신선한 공기를 공급하는 행위입니다. 환기는 크게 자연환기와 기계환기로 구분할 수 있으며, 자연환기는 실내와 실외의 온도 차이 또는 압력 차이와 같은 자연적인 동력을 이용해 건물의 창이나 출입구, 틈을 통해 이루어지는 환기를 말합니다.



자연환기는 하루에 최소 3번, 30분 이상 충분히 하는 것이 좋습니다. 늦은 저녁이나 새벽에는 대기가 안정화되어 공기중의 오염물질이 쌓여있을 수 있으므로, 대기 흐름이 활발한 오후 12~6시에 하는 것이 좋습니다.

맞은편의 창문을 함께 열어 실내로 들어온 공기가 외부로 나갈 수 있는 **맞통풍 환기**를 하는 것이 적절합니다.

외부의 미세먼지 농도가 높은 날에도 짧게 환기를 해주는 것이 좋습니다. 환기를 하지 않으면 미세먼지뿐만 아니라 실내에서 발생할 수 있는 이산화탄소, 폼알데하이드, 휘발성유기화합물, 라돈 등이 축적되어 실내공기질이 나빠지고, 건강에 영향을 줄 수 있기 때문입니다. 따라서, 실외의 미세먼지 농도가 높더라도 짧게나마 자연환기를 시키고, 이후에는 공기청정기 등을 이용하여 실내공기질을 관리하는 것이 효과적입니다.

다만 자연환기는 바람 등 환경의 외기조건에 의존하는 특성에 따라 적용에 한계가 발생할 수 있습니다. 이처럼 자연환기를 적용함에 한계가 있는 경우에는 기계 환기(기계 환기설비, 국소배기장치 등)를 적용하여 내부 공기를 인위적으로 교환할 필요가 있습니다.

• 공기정화장치 사용

실외의 미세먼지 농도가 높거나, 건물 주변에 큰 도로, 산업단지 등 대규모의 오염물질 배출 시설이 있는 경우, 자연 환기가 충분하지 않거나 어려울 수 있습니다. 이런 경우, 보조적으로 공기정화장치를 사용한다면 실내 미세먼지 관리에 도움이 됩니다. '공기정화장치'란 실내공간의 오염물질을 없애거나 줄이는 장치를 말하며, 공기정화설비와 공기청정기로 구분할 수 있습니다¹⁶⁾. 공기정화설비와 공기청정기 모두 기계장치의 동력을 이용하는 기계환기로, 내부에 먼지 제거부와 송풍기가 내장되어 있습니다.

공기정화장치 사용 시에는 외부와 실내의 미세먼지 상황, 실내 이산화탄소 농도를 고려하고, 사용기준에 따라서 **가동해야 합니다**. 이를 고려하지 않고 공기정화장치를 계속해서 사용하는 것은 인체에 미치는 건강영향뿐 아니라 필터의 성능 유지 및 에너지 소비량 등 공기정화장치에 직접적인 영향을 줄 수도 있기 때문입니다.

공기정화장치를 주기적으로 관리하는 것도 중요합니다. 공기정화장치의 필터를 주기적으로 교체하지 않고 계속 사용하게 되면 포집된 먼지가 필터를 막아 공기정화장치의 능력이 떨어지기 때문에 **반드시 필터를 주기적으로 교체하고 공기정화장치의 표면의 먼지를 제거하는 관리가 필요합니다**.

실내에서 공기정화장치를 사용할 때도 주기적으로 창문을 열어 환기해야 합니다. 그 이유는 앞의 자연환기 부분에서 설명한 것과 같이 유해물질이 축적되어 실내공기를 더욱 나쁘게 만들 수 있기 때문입니다.

16) 교육부(2021). 학교 공기정화장치 설치 및 유지관리 업무 안내서(5차 개정)

• 실내 미세먼지 발생원 관리

미세먼지 농도가 높은 날에는 삼겹살 같은 기름진 음식을 먹어서 씻어내야 한다는 말이 있지만 이는 과학적인 근거가 없는 속설입니다. 오히려 조리 과정에서 미세먼지가 발생할 수 있습니다. 특히 굽거나 튀기는 조리를 할 때 많이 발생합니다. 이렇게 발생한 오염물질이 실내로 퍼지는 것을 방지하기 위해서는 조리 시에 레인지 후드나 환기 팬을 켜고, 조리가 끝난 후에 창문을 열어 충분히 환기합니다.

흡연 시 발생하는 담배 연기에는 미세먼지를 포함하여 다양한 유해 물질이 포함되어 있습니다. 환경부에서 진행한 실험에서 담배 2개비를 태웠을 때 발생하는 PM_{2.5} 농도는 다중이용시설 권고기준인 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 10~20배에 달했습니다¹⁷⁾ 실내에서 흡연하면 담배에서 발생하는 미세먼지와 같은 유해물질이 인체에 직접적으로 영향을 미치고, 벽이나 가구 등에 붙었다가 재방출(3차 흡연)되어 지속적인 피해가 발생하게 됩니다.

실내에서 초나 향, 방향제 등을 사용한 후 미세먼지 농도가 높아질 수 있기 때문에 충분한 환기가 필요합니다. 초를 켜거나 향을 피우면 연소 부산물로 미세먼지가 발생하는 것으로 나타났으며¹⁸⁾, 방향제 사용 시 휘발성유기화합물의 농도가 높아져¹⁹⁾ 미세먼지와 더불어 실내공기질을 악화시키고 건강에 악영향을 미칠 수 있습니다. 따라서 실내에서는 촛불 켜기, 향 피우기, 방향제 등의 사용을 가능한 줄이고, 사용한 다음에는 충분한 환기가 필요합니다.

• 실내 위생 관리

청소는 실내 미세먼지를 줄일 수 있는 매우 효과적인 방법입니다. 빗자루 등을 이용하여 실내 바닥과 벽, 가구 등에 쌓이는 먼지를 직접적으로 제거합니다. 발생한 오염물질을 직접 제거하는 것이 중요하지만 빗자루질에 의해 바닥에 가라앉은 먼지가 공중으로 다시 날릴 가능성도 있기 때문에 주의해야 합니다. 진공청소기가 있다면, 청소기를 이용하는 것도 효과적이지만 미세한 크기의 먼지는 일반적인 필터에 걸러지지 않을 수 있어 고성능 공기정화필터 (High-Efficiency Particulate Air filter, HEPA)가 설치된 진공청소기를 사용하는 것이 좋습니다.

물걸레질을 통해 실내를 청소한다면 바닥에 가라앉은 먼지를 제거하면서 다시 공기 중으로 날리게 할 가능성이 낮아 실내 미세먼지 제거에 가장 효과적입니다. 바닥은 물론, 천장, 장식품, 가구, 전자제품에 쌓이는 먼지도 물걸레로 닦아주는 것이 좋습니다.

참고로, EU Guideline에서는 하루에 1번 이상 교실을 매일 청소하고, 복도 및 계단은 일주일에 3번, 교실과 탁자 등은 매일 물걸레 등으로 닦도록 권고하고 있습니다. 교실 청소는 학생들이 활동을 끝내고 돌아가는 시간에 하는 것이 적절하며, 청소 후에는 가능한 학생들의 출입을 제한하는 것이 좋습니다.

등교 전에 교실 책상 및 바닥에 가라앉은 미세먼지를 물걸레로 청소하면 미세먼지의 영향을 더욱 줄일 수 있습니다.

17) 환경부(2019). 실내공기 제대로 알기 100문 100답.

18) Huang J et al. PM_{2.5} and ash residue from combustion of moxa floss. Acupunct Med. 2016;34:101-6.

19) Steinemann J. Fragranced consumer products: effects on asthmatics. Air Qual Atmos Health. 2018;11(1):3-9.

• 교육 보조장비(프린터 등) 및 보조재료 점검

* 프린터

수업에 필요한 보조장비를 이용하는 것 또한 공기질에 영향을 줄 수 있습니다. 이상민(2020)의 연구 결과, 잉크젯 프린터를 사용하여 인쇄 시작 후 PM10 농도가 점차 증가했고 용지 걸림 등의 특정한 행위가 생기는 경우 더욱 크게 증가했습니다. 인쇄 완료 후 프린터물을 수거할 때 가장 급격한 농도 상승이 있었습니다.

* 3D 프린터

교육부에서 소프트웨어 활성화를 위해 무한 상상실 및 학교에 3D 프린터를 보급했습니다. 2020년 기준으로 5,222개교에 18,324대의 3D 프린터를 보유하여 학생들에게 다양한 체험활동의 기회를 제공하고 있습니다.

일부 연구에서 3D 프린터의 출력 소재 중 ABS(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene)가 공정의 부산물로서 건강에 악영향을 미치는 나노 입자(1/10,000mm 미만의 초미립자)를 방출하는 것을 밝혀냈습니다. 3D 프린터 가동 중에 방출되는 초미세입자 연구(Kim et al, 2015)에서 1m³ 챔버를 사용하여 ABS 및 PLA(Poly Lactic Acid) 소재를 사용하는 3D 프린터를 작동시킨 결과, 가동 시작 후 미세입자 농도가 증가하고 가동을 중지하면 농도가 감소하는 것을 확인할 수 있었습니다.

이에 교육부와 과기부에서는 이용자들이 위험요인을 인지하고 안전한 교육환경을 조성할 수 있도록 3D프린팅 가이드북을 만들어 배포했습니다. 가이드북을 활용하여 각 학교에 해당하는 작업환경에 대해 대처방안을 확인할 수 있습니다.

3. 학생의 학교 미세먼지 대응 방법

개인 건강상태 점검을 우선순위로 하여 교실 내 위생 및 환기, 온·습도 유지상태 점검 등 미세먼지에 직접적으로 대응할 수 있는 전략이 필요합니다.

- ① 외부 공기의 미세먼지 농도가 좋을 경우, 창문을 수시로 개방하여 환기합니다.
- ② 기계식 환기설비가 있는 경우, 항상 가동하는 것을 원칙으로 하고 외부 공기의 미세먼지 농도가 좋을 때는 자연 환기를 실시합니다.
- ③ 기계식 환기설비가 없는 경우, 외부 공기의 미세먼지 농도가 나빠도 환기는 필요합니다. 환기 후 공기청정기를 가동하여 교실의 미세먼지 농도를 관리합니다.
- ④ 외기 농도가 '보통' 이하인 경우, 수업시간 약 20분 전부터 공기청정기를 가동하며 교실에 있는 동안 계속 사용합니다.
- ⑤ 공기정화장치의 효율을 유지하기 위해 필터 등 소모품류의 주기적인 교체 및 내·외부 청소 등을 합니다.
- ⑥ 밖에서 안으로 들어갈 때는 옷을 털고, 실내화를 착용합니다.
- ⑦ 교실의 청소 상태를 수시로 확인하여 청결한 상태를 유지합니다. 하루 1번 이상 바닥을 물청소하고, 바닥뿐만 아니라 벽면, 책상, 사물함, 학습기구 등 보이지 않는 곳까지 일주일에 1번 이상 정기적으로 청소합니다.
- ⑧ 기저 질환이 있거나 건강에 이상이 있다고 생각되면 즉시 선생님에게 알립니다.

[표 14] 학교 미세먼지 문제에 따른 대응방법 요약

	문제점	해결 방안
교실 관리	출입문의 잦은 여닫음으로 미세먼지 유입	에어컨과 공기청정기에 설치된 필터 연 1회 이상 점검 및 교체
	노후로 인한 창호 실리콘 부식	실리콘 보수하여 외기 유입 방지
	부족한 청소량으로 인한 먼지 적층	주기적인 청소 실시 (최소 1일 1회 이상)
체육관, 강당 관리	실내 활동량이 많아 미세먼지 부유	외기 미세먼지 농도에 따른 자연환기 또는 공기청정기 가동
	실제 면적에 비해 작은 용량의 공기청정기 사용	바닥 면적의 1.5배 용량을 가진 기기 설치 또는 공기청정기 추가 배치
특수 목적 교실 관리	부족한 청소량으로 인한 먼지 적층	주기적인 청소 실시 (최소 1주 1회 이상)
	조리 실습시 미세먼지 발생	취사 기구 가동 전후 후드 가동 및 정지 후에도 10분 이상 환기
	컴퓨터실, 도서실 등 비치 물품 위 미세먼지 적층	후드 정기점검, 필터 청소 및 교체
실내환기 (자연환기)	실외 미세먼지 농도 '보통' 이하 상태에서 창문이 열려있음	대기오염도가 높은 도로변 외의 다른 창문 사용
	창틀 청소 필요	주기적인 창틀 청소 (최소 1주 1회 이상)
실내환기 (기계환기)	실외 미세먼지 농도 ' 좋음' 이상 상태에서 기계환기장치 가동	에너지 절약을 위해 자연환기로 전환
	필터 노후화로 인해 외부 미세먼지 유입	주기적인 필터 청소 및 교체
공기청정기 가동	잘못된 공기청정기 위치 선정	1대가 있는 경우, 중앙이나 출입구에 위치
	필터 노후화로 인한 미세먼지 저감효과 감소	주기적인 필터 청소 및 교체
	실제 면적에 비해 작은 용량의 공기청정기 사용	바닥 면적의 1.5배 용량을 가진 기기 설치 또는 공기청정기 추가 배치

Ⅳ. 관련기관 비상연락망

1. 연락망 안내

비상연락망은 학교 차원에서 직접 미세먼지 문제 대응이 어렵거나, 문제를 해결하기 위해서는 전문가의 도움이 필요하다고 판단될 경우 해당 기관에 연락하여 전문적 기술 지원 등을 받을 수 있도록 하기 위함을 목적으로 하고 있습니다.

2. 중앙행정기관

기관명	부서	연락처		비고
		전화	팩스(Fax)	
환경부	푸른하늘기획과	044-201-6875,6872	044-201-6873	미세먼지대책 총괄
국립환경과학원	대기질 통합예보센터	02-2181-0271 031-560-7723	032-560-7725	미세먼지 예보
한국환경공단	대기측정망팀	032-590-3504	032-590-3569	에어코리아 홈페이지, 모바일 앱 운영
교육부	학교안전총괄과	044-203-6355	044-203-6971	학교안전 관리
	학생건강정책과	044-203-6988	044-203-6438	학생보건 관리
보건복지부	보육기반과	044-202-3593	044-202-3975	보육시설 관리
	요양보험운영과	044-202-3512	044-202-3972	노인요양시설 관리
질병관리청	전략기획단 (기후변화대응 TF)	043-719-7260	043-719-7269	건강영향
기상청	예보정책과	02-2181-0496	02-847-4419	기상예보
식품의약품안전처	의약외품정책과	043-719-3702	043-719-3700	보건용 마스크 사용요령

3. 시·도교육청

지역	부서	연락처	
		전화	팩스(Fax)
서울	체육건강문화예술과	02-3999-592	02-3999-756
부산	학교생활교육과	051-860-0416	051-860-0409
대구	체육보건과	053-231-0478	053-757-8240
인천	안전총괄과	032-420-8349	032-420-7645
광주	안전총괄과	062-380-4884	062-380-4615
대전	체육예술건강과	042-616-8424	042-616-8449
울산	평생교육체육과	052-210-5593	052-210-5599
세종	민주시민교육과	044-320-2447	044-320-2399
경기	교육환경개선과	031-241-0921	031-821-2027
강원	안전담당관	033-259-0892	033-258-5519
충북	체육보건안전과	043-290-2175	043-290-2763
충남	안전총괄과	041-640-8413	041-664-6540
전북	인성건강과	063-239-3387	063-220-9411
전남	체육건강과	061-260-0657	061-260-0665
경북	교육안전과	054-805-3954	054-805-3159
경남	체육예술건강과	055-268-1085	055-268-1399
제주	체육건강과	064-710-0443	064-710-0459

4. 지방자치단체

지역	부서	연락처	
		전화	팩스(Fax)
서울	대기정책과	02-2133-3669	02-2133-1025
부산	기후대기과	051-888-3571	051-888-3569
대구	환경정책과	053-803-4201	053-803-8223
인천	대기보전과	032-440-3526	032-440-8685
광주	기후대기과	062-613-4342	062-613-4339
대전	기후대기과	042-270-5681	042-270-5459
울산	환경보전과	052-229-3151	052-229-3149
세종	환경정책과	044-300-4244	044-300-4229
경기	미세먼지대책과	031-8008-3562	031-8008-3519
강원	환경과	033-249-3514	033-249-4035
충북	기후대기과	043-220-4322	043-220-4319
충남	환경보전과	041-635-4444	041-635-3065
전북	자연생태과	063-280-4182	063-280-3509
전남	기후생태과	061-286-7050	061-286-4715
경북	환경정책과	054) 880-3532	054-880-3519
경남	기후대기과	055-211-6694	055-211-6669
제주	생활환경과	064-710-6083	064-710-6020

5. 지역 보건소

• 서울

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
강남구	강남구보건소	02-3423-7200
강동구	강동구보건소	02-3425-8500
강북구	강북구보건소	02-901-7600
강서구	강서구보건소	02-2600-5800
관악구	관악구보건소	02-879-7114
광진구	광진구보건소	02-450-1500
구로구	구로구보건소	02-860-2600
금천구	금천구보건소	02-2627-2423
노원구	노원구보건소	02-2116-4501
도봉구	도봉구보건소	02-2091-4600
동대문구	동대문구보건소	02-2127-5465
동작구	동작구보건소	02-820-1439
마포구	마포구보건소	02-3153-9020
서대문구	서대문구보건소	02-330-1801
서초구	서초구보건소	02-2155-8114
성동구	성동구보건소	02-2286-7011
성북구	성북구보건소	02-2241-1749
송파구	송파구보건소	02-2147-3420
양천구	양천구보건소	02-2620-4340
영등포구	영등포구보건소	02-2670-3114
용산구	용산구보건소	02-2199-8350
은평구	은평구보건소	02-351-8152
종로구	종로구보건소	02-2148-3514
중구	중구보건소	02-3396-6317
중랑구	중랑구보건소	02-2094-0710

• 부산

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
강서구	강서구보건소	051-970-3415
금정구	금정구보건소	051-519-5051
기장군	기장군보건소	051-709-4791
남구	남구보건소	051-607-6460
동구	동구보건소	051-440-6500
동래구	동래구보건소	051-555-4000
부산진구	부산진구보건소	051-645-4000
북구	북구보건소	051-309-4500
사상구	사상구보건소	051-310-4791
사하구	사하구보건소	051-220-5701
서구	서구보건소	051-242-4000
수영구	수영구보건소	051-752-4000
연제구	연제구보건소	051-665-4871
영도구	영도구보건소	051-419-4000
중구	중구보건소	051-600-4741
해운대구	해운대구보건소	051-749-7501

• 대구

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
남구	남구보건소	053-664-3610
달서구	달서구보건소	053-667-5616
달성군	달성군보건소	053-668-3333
동구	동구보건소	053-662-3201
북구	북구보건소	053-665-3208
서구	서구보건소	053-663-3111
수성구	수성구보건소	053-666-3111
중구	중구보건소	053-661-3121

• 인천

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
강화군	강화군보건소	032-930-4013
계양구	계양구보건소	032-430-7801
남동구	남동구보건소	032-464-4001
동구	동구보건소	032-762-4001
미추홀구	미추홀구보건소	032-880-5310
부평구	부평구보건소	032-509-8200
서구	서구보건소	032-560-5000
연수구	연수구보건소	032-749-8000
옹진군	옹진군보건소	032-899-3110
중구	중구보건소	032-760-6010

• 광주

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
광산구	광산구보건소	062-960-8733
남구	남구보건소	062-607-4311
동구	동구보건소	062-608-3261
북구	북구보건소	062-410-8961
서구	서구보건소	062-350-4108

• 대전

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
대덕구	대덕구보건소	042-608-5499
동구	동구보건소	042-251-6112
서구	서구보건소	042-288-4500
유성구	유성구보건소	042-611-5011
중구	중구보건소	042-580-2700

• 울산

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
남구	남구보건소	052-226-2805
동구	동구보건소	052-209-4080
북구	북구보건소	052-289-3450
울주군	울주군보건소	052-204-2798
중구	중구보건소	052-290-4300

• 세종

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
세종	세종특별자치시보건소	044-301-2000

• 경기

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
가평군	가평군보건소	031-582-2488
고양시	고양시 덕양구보건소	031-8075-4013
	고양시 일산동구보건소	031-8075-4083
	고양시 일산서구보건소	031-8075-4160
과천시	과천시보건소	02-2150-3800
광명시	광명시보건소	02-2680-2862
광주시	광주시보건소	031-760-2110
구리시	구리시보건소	031-550-8681
군포시	군포시보건소	031-461-5464
김포시	김포시보건소	031-980-5011
남양주시	남양주시 남양주보건소	031-590-2552
	남양주시 풍양보건소	031-590-4771
동두천시	동두천시보건소	031-860-3419
부천시	부천시보건소	032-625-4183

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
성남시	성남시 분당구보건소	031-729-3990
	성남시 수정구보건소	031-729-3870
	성남시 중원구보건소	031-729-3930
수원시	수원시 권선구보건소	031-228-6716
	수원시 영통구보건소	031-228-8716
	수원시 장안구보건소	031-228-5802
	수원시 팔달구보건소	031-228-7716
시흥시	시흥시보건소	031-310-5811
안산시	안산시 단원보건소	031-481-6341
	안산시 상록수보건소	031-481-5909
안성시	안성시보건소	031-678-5710
안양시	안양시 동안구보건소	031-8045-4472
	안양시 만안구보건소	031-8045-3472
양주시	양주시보건소	031-8082-7106
양평군	양평군보건소	031-770-3505
여주시	여주시보건소	031-887-3601
오산시	오산시보건소	031-8036-6025
용인시	용인시 기흥구보건소	031-324-6911
	용인시 수지구보건소	031-324-8924
	용인시 처인구보건소	031-324-4911
의왕시	의왕시보건소	031-345-3541
의정부시	의정부시보건소	031-870-6001
이천시	이천시보건소	031-635-2400
파주시	파주시보건소	031-940-4800
평택시	평택시 송탄보건소	031-8024-6615
	평택시 평택보건소	031-8024-5553
포천시	포천시보건소	031-538-3600
하남시	하남시보건소	031-790-6555
화성시	화성시보건소	031-369-2551

• 강원

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
강릉시	강릉시보건소	033-660-3010
고성군	고성군보건소	033-681-4000
동해시	동해시보건소	033-530-2401
삼척시	삼척시보건소	033-572-4000
속초시	속초시보건소	033-631-4000
양구군	양구군보건소	033-481-2400
양양군	양양군보건소	033-670-2550
영월군	영월군보건소	033-370-2550
원주시	원주시보건소	033-737-4011
인제군	인제군보건소	033-461-2425
정선군	정선군보건소	033-562-4000
철원군	철원군보건소	033-450-5550
춘천시	춘천시보건소	033-250-3550
태백시	태백시보건소	033-552-4000
홍천군	홍천군보건소	033-430-4000
횡성군	횡성군보건소	033-340-5612

• 충북

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
괴산군	괴산군보건소	043-832-4000
단양군	단양군보건소	043-420-3201
보은군	보은군보건소	043-540-5600
영동군	영동군보건소	043-740-5600
옥천군	옥천군보건소	043-730-2114

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
음성군	음성군보건소	043-872-2136
제천시	제천시보건소	043-641-2720
증평군	증평군보건소	043-835-4220
진천군	진천군보건소	043-539-7771
청주시	청주시 상당보건소	043-201-3116
	청주시 서원보건소	043-201-3217
	청주시 청원보건소	043-201-3421
	청주시 흥덕보건소	043-201-3300
충주시	충주시보건소	043-850-3412

• 충남

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
계룡시	계룡시보건소	042-840-3567
공주시	공주시보건소	041-840-8755
금산군	금산군보건소	041-750-4311
논산시	논산시보건소	041-746-8011
당진시	당진시보건소	041-360-6005
보령시	보령시보건소	041-930-0900
부여군	부여군보건소	041-835-8600
서산시	서산시보건소	041-667-6550
서천군	서천군보건소	041-950-6700
아산시	아산시보건소	041-537-3403
예산군	예산군보건소	041-339-8993
천안시	천안시 동남구보건소	041-521-2650
	천안시 서북구보건소	041-521-2552
홍성군	홍성군보건소	041-632-2588

• 전북

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
고창군	고창군보건소	063-560-8714
군산시	군산시보건소	063-462-4923
김제시	김제시보건소	063-540-1300
남원시	남원시보건소	063-625-4000
부안군	부안군보건소	063-584-1261
완주군	완주군보건소	063-290-3008
익산시	익산시보건소	063-859-4802
전주시	전주시보건소	063-281-6200
정읍시	정읍시보건소	063-539-6072
진안군	진안군보건소	063-430-8560

• 전남

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
강진군	강진군보건소	061-430-3533
고흥군	고흥군보건소	061-830-5561
광양시	광양시보건소	061-797-4004
나주시	나주시보건소	061-339-2171
담양군	담양군보건소	061-383-4000
목포시	목포시보건소	061-277-4000
무안군	무안군보건소	061-450-5014
보성군	보성군보건소	061-853-4000
순천시	순천시보건소	061-749-6905
신안군	신안군보건소	061-243-8550
여수시	여수시보건소	061-683-4000
영광군	영광군보건소	061-350-5552
영암군	영암군보건소	061-470-6525
장성군	장성군보건소	061-390-7550
장흥군	장흥군보건소	061-860-0550
진도군	진도군보건소	061-540-6005
함평군	함평군보건소	061-320-2405
해남군	해남군보건소	061-531-3738
화순군	화순군보건소	061-379-5305

• 경북

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
경산시	경산시보건소	053-810-6363
경주시	경주시보건소	054-779-8573
고령군	고령군보건소	054-954-1300
구미시	구미시 구미보건소	054-480-4000
	구미시 선산보건소	054-480-4151
군위군	군위군보건소	054-380-7401
김천시	김천시보건소	054-433-4000
문경시	문경시보건소	054-555-2033
봉화군	봉화군보건소	054-673-4000
상주시	상주시보건소	054-535-4000
성주군	성주군보건소	054-933-2400
안동시	안동시보건소	054-855-5986
영덕군	영덕군보건소	054-730-6823
영양군	영양군보건소	054-680-5114
영주시	영주시보건소	054-631-4000
영천시	영천시보건소	054-330-7860
예천군	예천군보건소	054-650-8011
울진군	울진군보건소	054-789-5000
의성군	의성군보건소	054-830-6660
청도군	청도군보건소	054-370-6470
칠곡군	칠곡군보건소	054-973-4000
포항시	포항시 남구보건소	054-270-4004
	포항시 북구보건소	054-270-4114

• 경남

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
거제시	거제시보건소	055-639-6200
거창군	거창군보건소	055-940-8310
고성군	고성군보건소	055-670-4001
김해시	김해시보건소	055-330-4451
남해군	남해군보건소	055-860-8701
밀양시	밀양시보건소	055-359-7020
사천시	사천시보건소	055-831-3560
양산시	양산시보건소	055-380-4000
의령군	의령군보건소	055-570-4010
진주시	진주시보건소	055-741-4000
창녕군	창녕군보건소	055-530-6202
창원시	창원시 마산보건소	055-245-4000
	창원시 진해보건소	055-225-6101
	창원시 창원보건소	055-225-4000
통영시	통영시보건소	055-650-6010
하동군	하동군보건소	055-882-4000
함안군	함안군보건소	055-580-3101
함양군	함양군보건소	055-960-5331
합천군	합천군보건소	055-930-3681

• 제주

시·군·구	보건기관명	대표전화번호
제주시	제주시 제주보건소	064-728-4100
	제주시 동부보건소	064-728-4180
	제주시 서부보건소	064-728-4111
서귀포시	서귀포시 서귀포보건소	064-760-6001
	서귀포시 동부보건소	064-760-6111
	서귀포시 서부보건소	064-760-6251

VI. 참고문헌

「환경정책기본법」

「학교보건법」

「실내공기질관리법」

관계부처합동, 2017, 「미세먼지 관리 종합대책」

관계부처합동, 2019, 「미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)」

교육부, 2018, 「초등학교 공기정화장치 효율성 평가 및 설치기준 등 마련 연구」

국립환경과학원, 2019, 「한국 어린이의 노출계수 핸드북」

김상철, 강병창, 이상욱, 김기두, 서원호, 김종현, 2014, “어린이집 실내공기 중 주요 오염물질의 특성 및 환기에 관한 연구“, 한국대기환경학회지, 30(3): 245-250.

이병희, 2018, “미세먼지의 입경에 따른 특성 및 실내 영향“, 건축환경설비, 12(2): 6-15.

한국공기청정협회, 2010, 「에어필터 품질인증 운영규정」

한국공기청정협회, 2016, 「공기청정편람」

한국교육환경보호원, 2019, 「학교 공기정화장치 설치 및 운영을 위한 컨설팅 방안 및 업무 가이드라인 개발 연구」

환경부, 2016, 「바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까?」

환경부, 2020, 「2019 대기환경연보」

환경부, 2019, 「미세먼지 팩트 체크, 미세먼지! 무엇이든 물어보세요」

환경운동연합, 2018, 「건강한 숨을 되찾기 위한 미세먼지 행동 가이드북」

ASHRAE, 2007, **Method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size**, Standard-52-2

Brown, R.C.. 1993, **Aerosol Filtration**, Pergamon Press

Hinds, W.C. 1999, **Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles**, Wiley

Medicine National Academies of Sciences, Engineering et. al., 2017, **Microbiomes of the built environment: a research agenda for indoor microbiology, human health, and buildings**

OECD, 2018, **Education at a Glance 2018**, OECD Publishing, Paris, France.

U.S. EPA., 2009, **Indoor Air Quality Tools for Schools Action Kit**

U.S EPA, 2013, **Measurement Technology Workshop**

U.S EPA, 2015, **Best Practices for Reducing Near-Road Pollution Exposure at Schools**

WHO, 2017, **Evolution of WHO air quality guidelines**

K.S. Paek, Final Report on International Comparison of Educational Programs and Instruction Days and Hours (in Korean), Ministry of Education, Seoul, Korea, 2013.

EPA reference guide

(chen, 2011)

(백지민, 2015)

(Richard AW & Peter AS, 1983)

(P. Wargocki et al., 2000, D. Norback, 1995)

(Apte MG, 2000)

(최영태 외, 2020)

(최한영, 2003)

GINA, 2021, **POCKET GUIDE FOR ASTHMA MANAGEMENT AND PREVENTION (for Adults and Children Older than 5 Years)**

Liu, D., Nazaroff. W.W. (2001). Modeling pollutant penetration across building envelopes. *Atmospheric Environment*, 35, 4451-4462.

강지원, 안찬중, 최원식, (2020) 실내 외 농도 비(I/O ratio)에 기반한 주변환경과 실내 미세먼지 농도분포 특성: 선행 연구 리뷰와 여름철 부산과 평택 초등학교에서의 측정 결과를 중심으로

Ⅳ. 부록

1. 학생용 점검 체크리스트 (중·고등학생)

학교 미세먼지 점검 체크리스트 (중·고등학생)

학교명	OO중학교	학년/반	0학년 0반
점검일자	0000.00.00.(월)	날씨	맑음 / 흐림 / 비·눈
점검자	김길동 (인)	확인자	이길동 (인)

[1] 대기질 현황¹⁾

실외	실외 미세먼지 농도(____ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 현재 어느 정도 수준인지 확인합니다.
	<input type="checkbox"/> 좋음 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 나쁨 <input type="checkbox"/> 매우 나쁨
실내	교실 내 미세먼지 농도(____ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 현재 어느 정도 수준인지 확인합니다.
	<input type="checkbox"/> 좋음 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 기준초과
체감도	현재 자신이 느끼기에 학교 미세먼지 농도가 어떻게 느껴지나요?
	<input type="checkbox"/> 좋음 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 나쁨 <input type="checkbox"/> 모르겠음
	<input type="checkbox"/> 기타 (_____)

※ 참고사항

대기질 현황은 다음과 같이 구분 (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

두 항목 중 하나라도 기준을 초과하는 경우, 그 기준을 모두 초과하는 것으로 간주

구분	실외				실내	
등급	좋음	보통	나쁨	매우나쁨	기준치	기준초과
PM ₁₀	0~30	31~80	81~150	151 이상	75	76 이상
PM _{2.5}	0~15	16~35	36~75	76 이상	35	36 이상

[2] 교실 내부 현황		
온·습도 유지 상태	현재 교실의 온도와 습도에 대해 확인합니다.	
	온도	_____℃ 습도 _____%
재실 인원	현재 교실 내 학생 수에 대해 확인합니다.	
	<input type="checkbox"/> 20인 미만	<input type="checkbox"/> 20~30인 <input type="checkbox"/> 30인 초과
외부활동 여부	점검 당일, 체육 수업이나 외부활동이 있는지 확인합니다.	
	<input type="checkbox"/> 있음	<input type="checkbox"/> 없음
체감도	현재 자신이 느끼기에 학교 내부는 어떻게 느껴지나요?	
	<input type="checkbox"/> 온습도 적절	<input type="checkbox"/> 온습도 나쁨 <input type="checkbox"/> 잘 모르겠음
	<input type="checkbox"/> 재실인원 적음	<input type="checkbox"/> 재실인원 많음
[3] 건강 상태		
특이 사항	증상 여부	현재 자신의 건강상태에 대해 확인합니다.
		<input type="checkbox"/> 이상 없음 <input type="checkbox"/> 증상 있음 - 두통, 목아픔, 기침, 가려움 등 ()
	기저 질환	현재 자신이 앓고 있는 병에 대해 확인합니다.
		<input type="checkbox"/> 없음 <input type="checkbox"/> 있음 - 천식, 비염 등 ()
[4] 위생 상태		
청소 여부	지점	현재 교실 내 청소가 잘 되어 있는 지점을 확인합니다.
		<input type="checkbox"/> 바닥 <input type="checkbox"/> 칠판 <input type="checkbox"/> 창문 <input type="checkbox"/> 출입문
	상태	현재 교실 내 청소가 어떤 방법으로 되어 있는지 확인합니다.
<input type="checkbox"/> 빗자루 사용 <input type="checkbox"/> 진공 청소 <input type="checkbox"/> 물 청소		
환기 여부	주기	<input type="checkbox"/> 미 실시 <input type="checkbox"/> 실시 (_____시간당 _____번)
	설비	<input type="checkbox"/> 미가동 <input type="checkbox"/> 공기청정기 <input type="checkbox"/> 기계환기 <input type="checkbox"/> 병행

