

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)

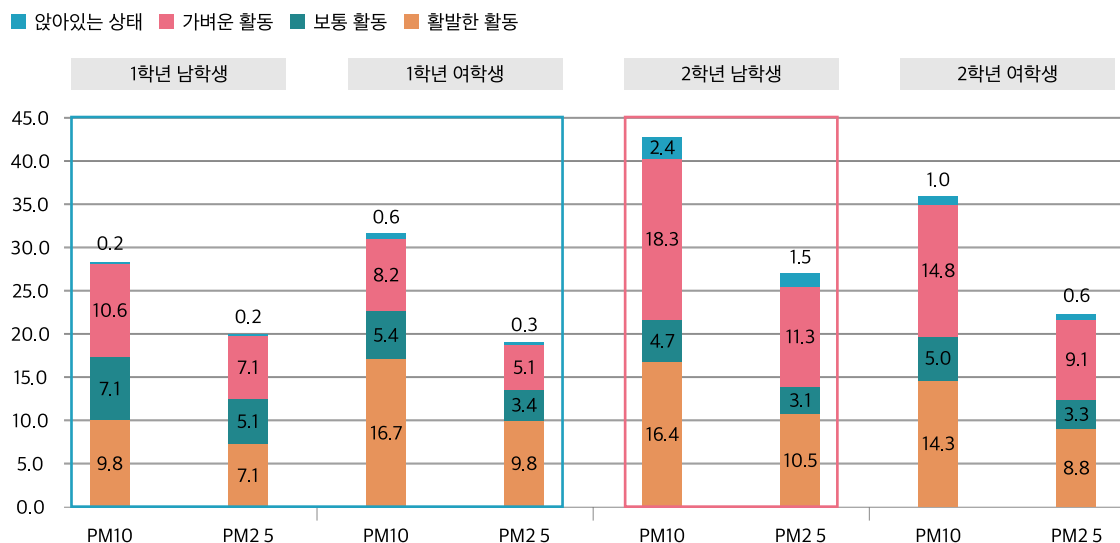
2021년 기준으로 전국 학교의 학생 수는 약 530만 명이며, 유치원, 초·중·고, 특수학교의 학급당 평균 학생 수는 유치원 18.6명, 초등학교 22.2명, 중학교 24.8명, 고등학교 24.5명, 특수학교 5.3명입니다.

• 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.

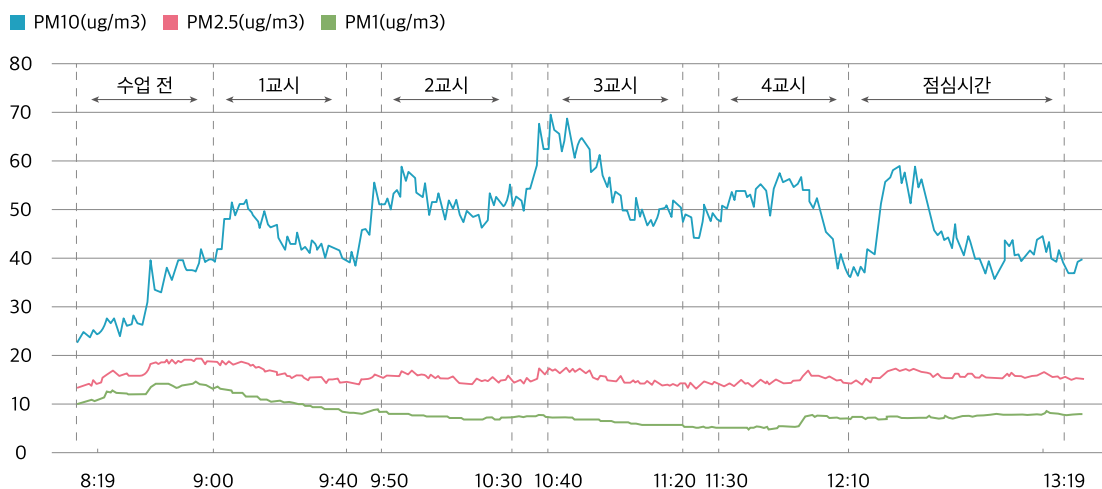


<그림 17> 학생별 활동도에 따른 미세먼지 노출 수준

• 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.

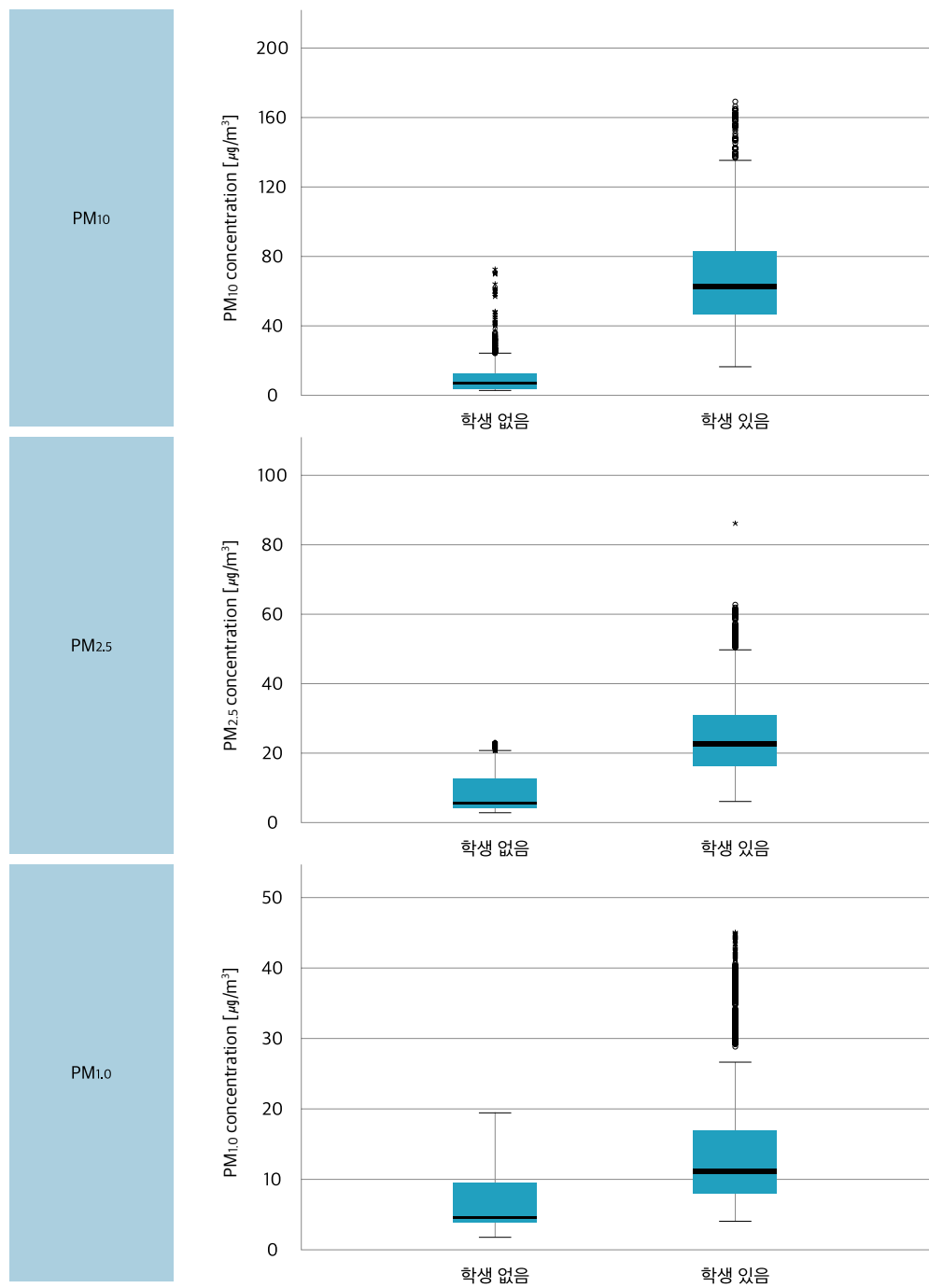


<그림 18> 시간대별 교실 내 미세먼지 농도 변화

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.**

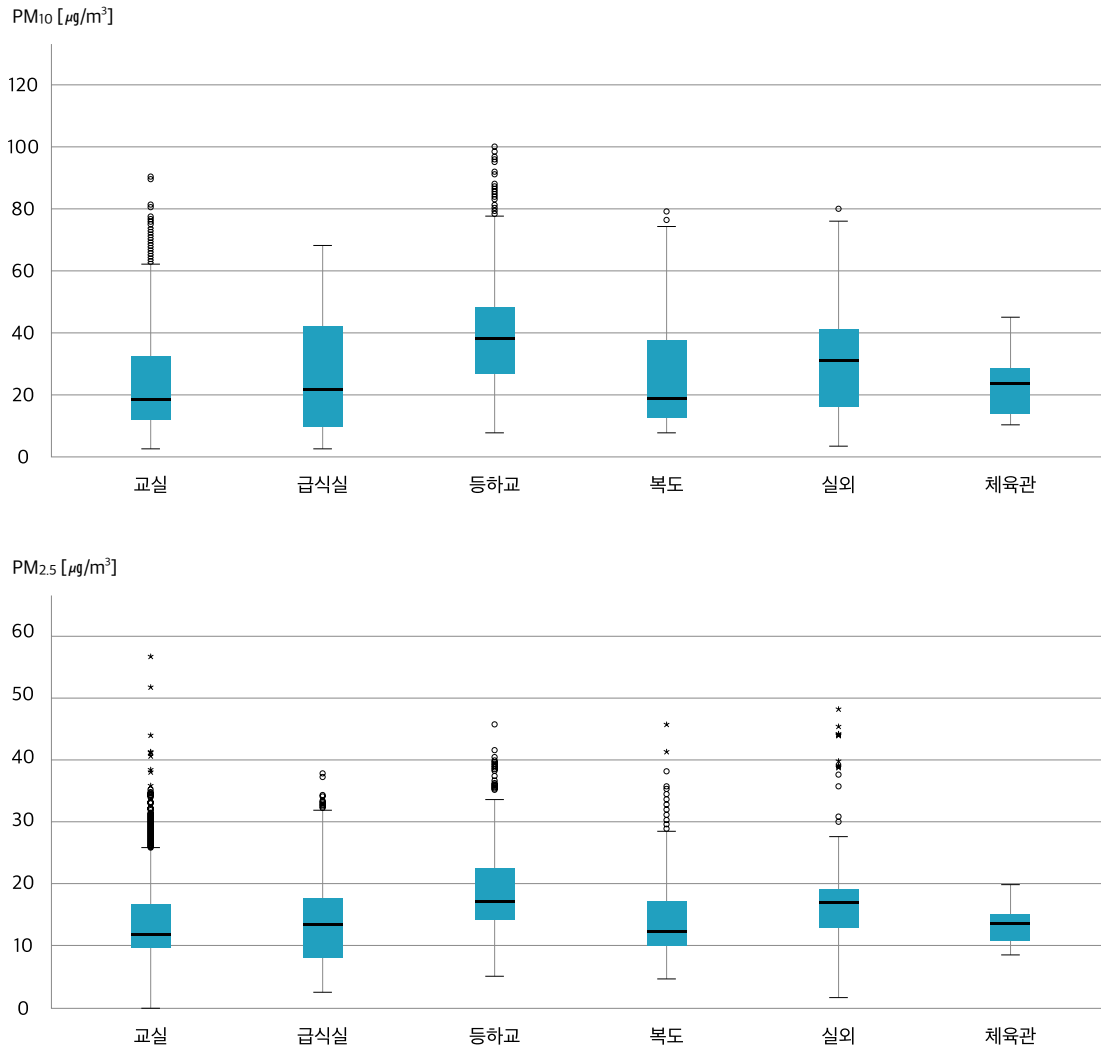
위의 분석 결과를 실제로 확인하기 위해, 교실의 학생 유무에 따른 PM_{10} , $PM_{2.5}$, $PM_{1.0}$ 수준을 측정한 결과, 모든 항목에서 학생이 없을 때보다 학생이 있을 때 미세먼지 농도가 높은 것을 확인할 수 있었습니다.



<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

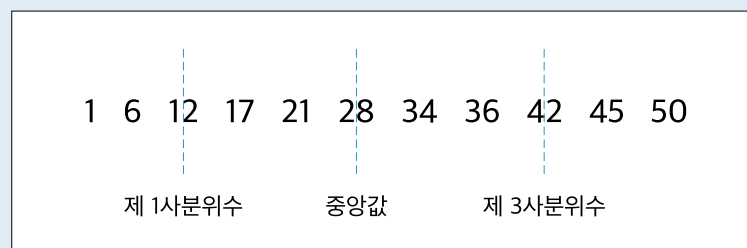
Q. 그래프를 어떻게 봐야하나요?

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.

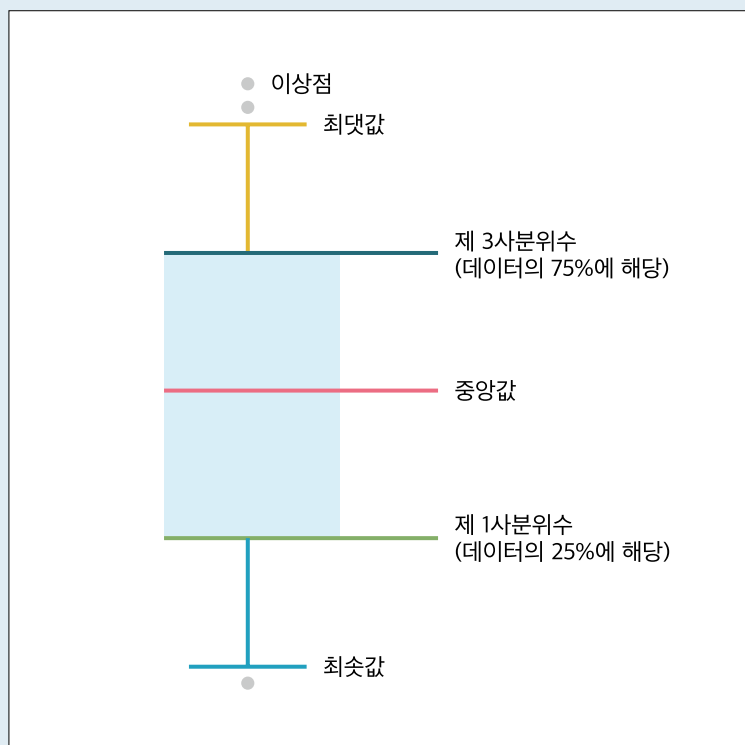
25%의 위치에 있는 값을 1사분위수라고 하는데 이는 박스 하단(초록색)에 위치하고 있습니다

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.

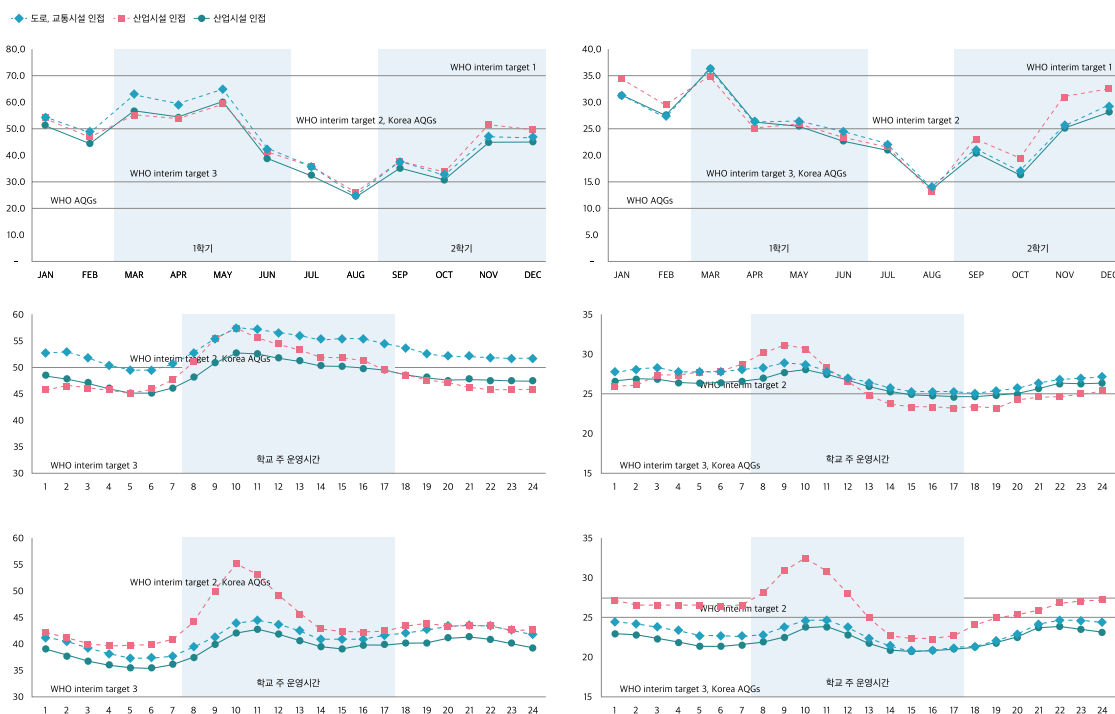
유형Ⅰ : 양호

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.

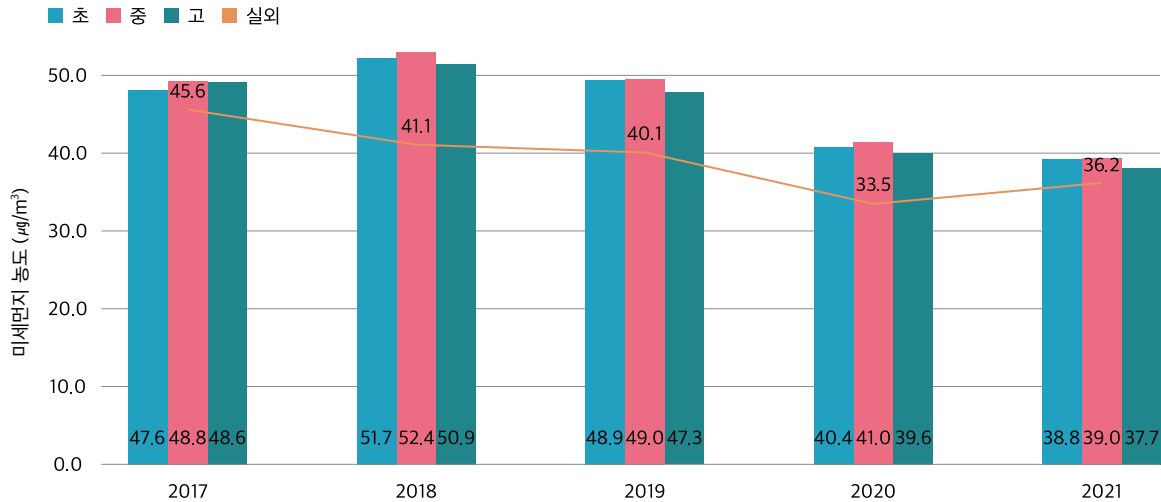
시간대별로 살펴보면, 새벽 시간대에 미세먼지 농도가 상대적으로 낮게 유지되었으며, 학교 주 운영 시간대(8~17시)에 대체로 하루 중 가장 높은 농도를 유지하였습니다. 주변에 아무것도 없는 것보다 주변 교통량이 많은 경우에 대부분 높은 농도가 나타났으며, 산업시설이 있는 경우 공장 가동이 시작되는 초기 시간대(9~11시)에 미세먼지 농도가 두드러지게 증가하는 경향이 나타났습니다.



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

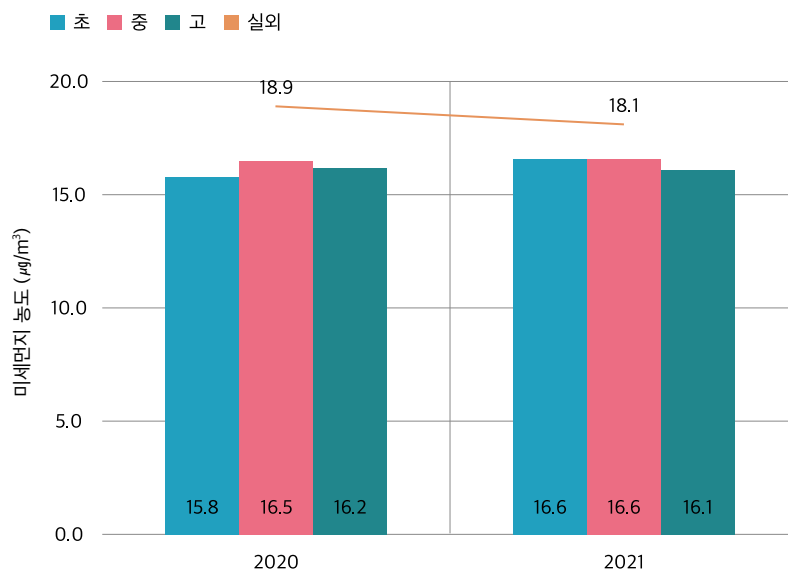
• 교실 내 미세먼지 농도 실태 조사

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.

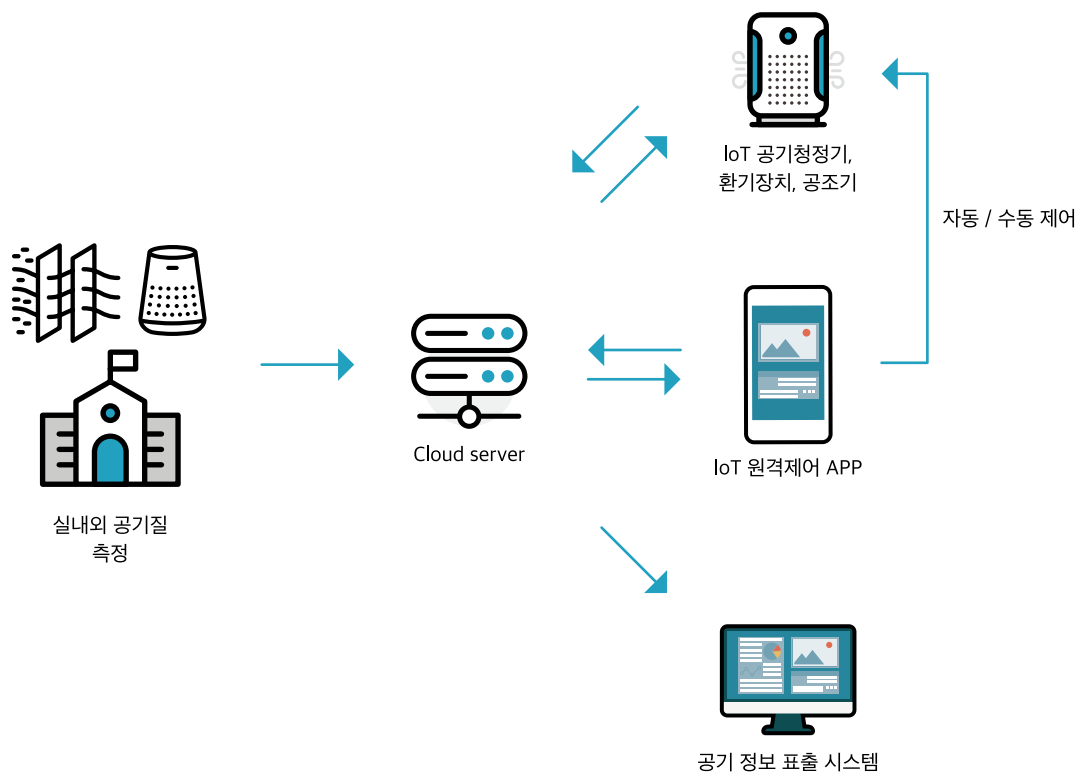


<그림 23> 학교급에 따른 연평균 실내 PM_{2.5} 농도

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