

## 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 17] 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.

**학교 노후도는 창이나 문 등 기밀성능과 밀접한 관계가 있어 외부 미세먼지 유입에 크게 작용할 수 있는 중요한 인자입니다.** 따라서, 학교의 개교일을 기준으로 학교의 노후 정도를 파악하였습니다.

2019년을 기준으로 개교한지 30년 이상된 학교(1989년 이후 개교)를 조사한 결과, 유치원 수의 39.8%, 초등학교 수의 68.8%, 중학교 수의 66.9%, 고등학교 수의 68.2%가 포함되는 것으로 확인되었으며, 유치원을 제외한 대부분의 학교 급이 30년 이상 노후된 것으로 분석되었습니다.

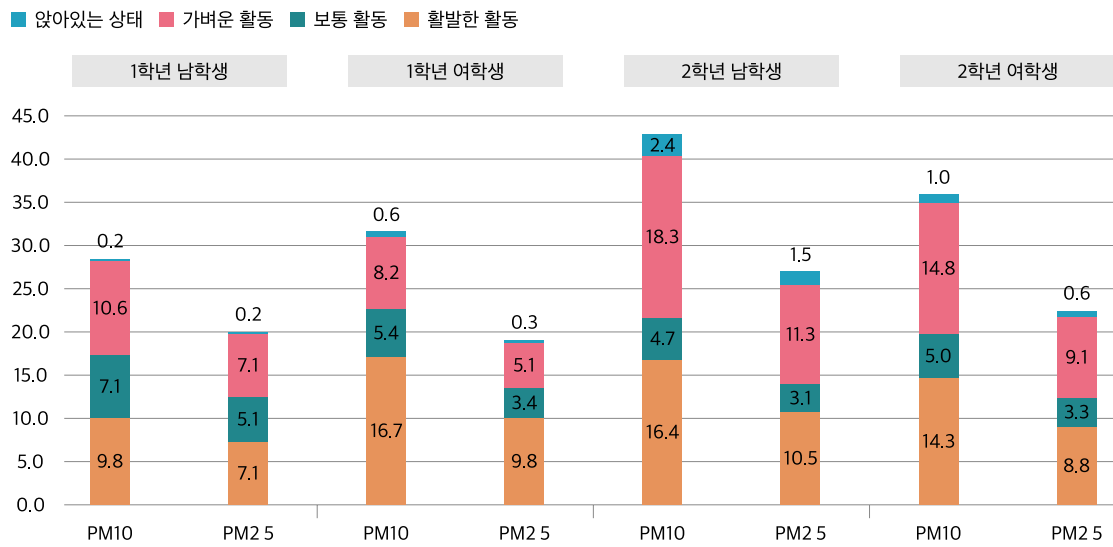
### • 학생 활동도 기반 노출특성 평가

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

미세먼지 추적 관찰 결과, **학생들 모두 등·하교길에서 가장 높은 농도의 미세먼지에 노출되는** 경향을 보였고, 쉬는 시간 및 점심시간에는 활동강도가 높아지는 것을 확인하였습니다. 쉬는시간에는 화장실, 복도, 실외 등 다양한 행동 패턴을 확인할 수 있었습니다.

학생의 성향에 따라 활동강도의 비율과 노출량이 모두 다르게 나타났으나, 활동 강도와 미세먼지 노출량이 비례하는 경향을 확인할 수 있었습니다.

미세먼지 노출량은 2학년 남학생이 가장 높았으며, 1학년 남학생과 여학생은 고강도 활동의 비율이 낮아 미세먼지 노출량이 낮게 측정된 것으로 확인되었습니다. 또한, 2학년 남학생의 경우, 미세먼지 농도가 가장 낮은 교실에서의 재실 시간이 가장 적고, 미세먼지 농도가 높은 실외나 급식실, 복도에서의 재실 시간이 많은 것으로 확인되었기에, 미세먼지가 고농도인 환경에 장기간 노출될 경우, 미세먼지 노출량이 증가하는 것도 확인하였습니다.

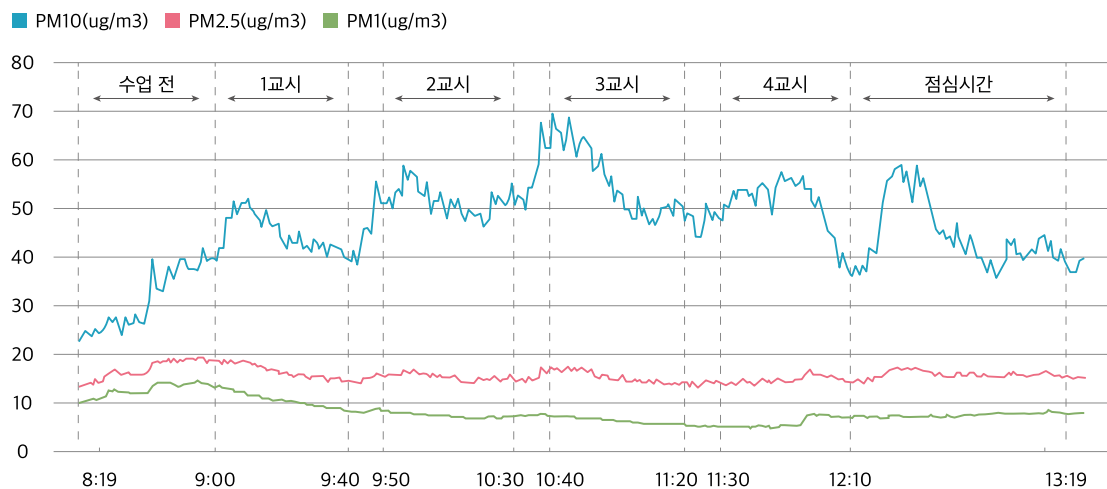


<그림 24> 학생별 활동도에 따른 미세먼지 노출 수준

## • 교실 내 미세먼지 농도 현황

본 사업단에서는 시간대별 교실 내 미세먼지 농도 변화를 확인하기 위하여, 수업 전·후, 수업 중, 쉬는시간, 점심 시간으로 나누어 수업 일정별 미세먼지 수준을 확인하였습니다. 「학교보건법」 제4조에 따른 공기질 유지기준 (PM<sub>10</sub> 75 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, PM<sub>2.5</sub> 35 $\mu$ g/m<sup>3</sup>)를 적용했을 때, 기준치 이하 농도로 유지되고 있음을 확인할 수 있었습니다.

PM<sub>10</sub> 농도는 수업 전·후에 가장 낮으며, 수업을 시작하면서 농도가 상승하는 경향을 보였습니다. 수업 일정별로 PM<sub>10</sub> 농도 변화는 다양했으나, 반대로 PM<sub>1.0</sub>은 수업 전·후에 농도가 높고 수업 이후 농도가 감소하는 경향이 나타났습니다. PM<sub>2.5</sub> 농도는 수업 중과 점심시간에만 약간의 차이가 존재하나 전반적으로 일정한 농도로 유지되었습니다.

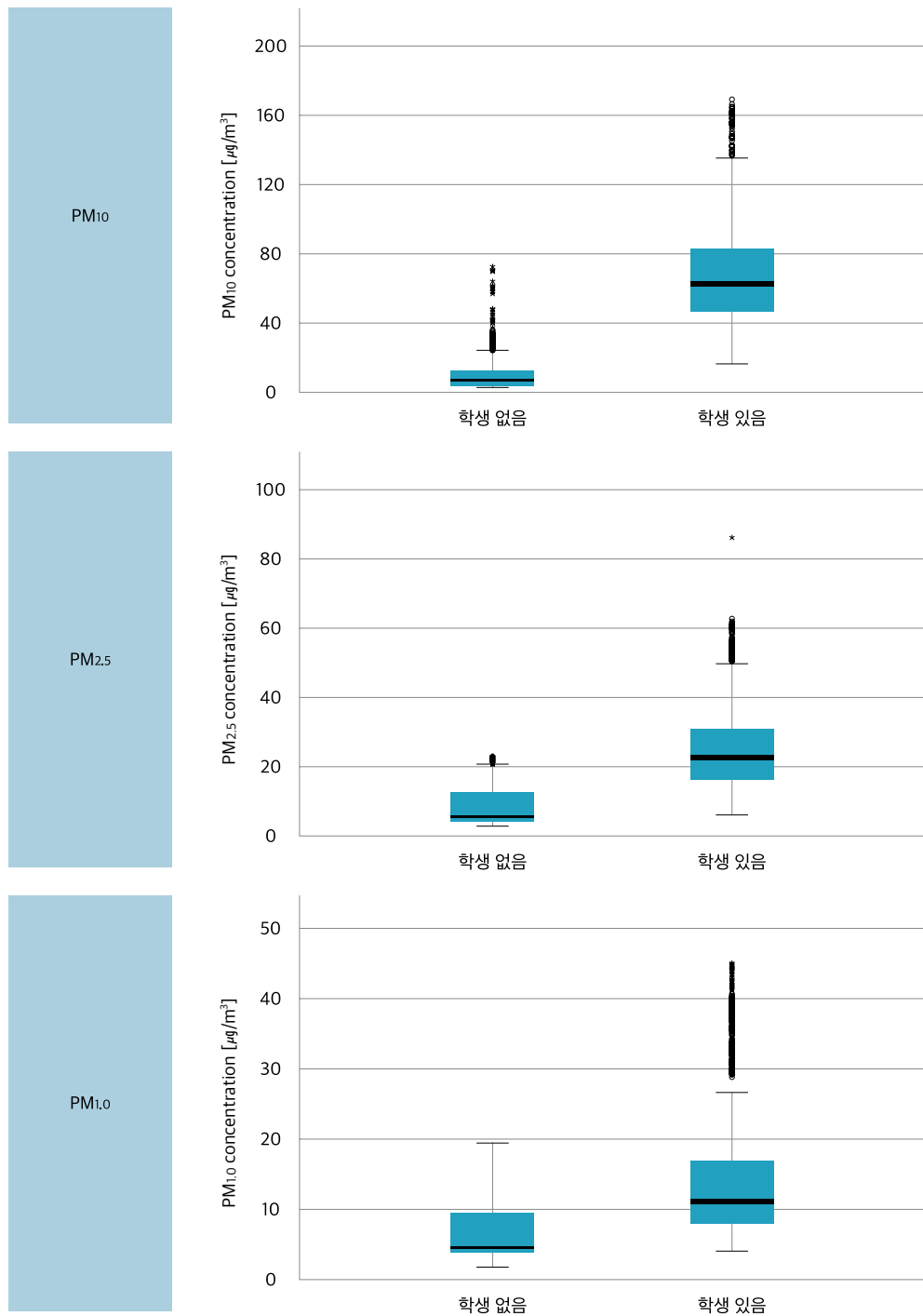


<그림 25> 시간대별 교실 내 미세먼지 농도 변화

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.**

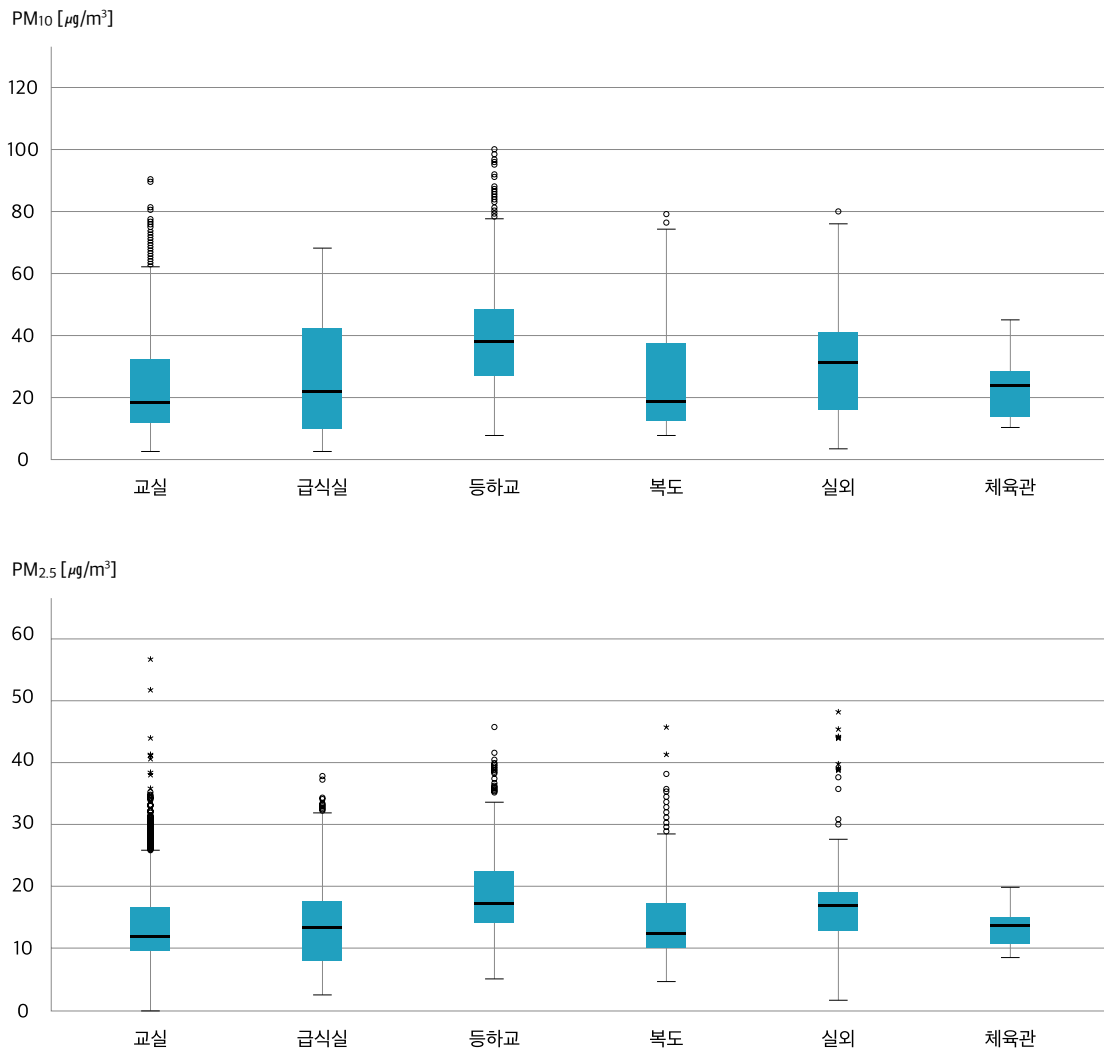
또한, 위의 분석 결과를 실제로 확인하기 위해, 교실의 학생 유무에 따른 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub> 수준을 측정한 결과, 모든 항목에서 학생이 없을 때보다 학생이 있을 때 미세먼지 농도가 높은 것을 확인할 수 있었습니다.



<그림 43> 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 측정한 결과, PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 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 29> 학교생활에서의 주요 포인트별 미세먼지 노출 수준 분석 결과

## • 계절 및 시간별 학교 미세먼지 농도 변화

우리나라 학교 주변을 세가지 유형으로 구분한다면 다음과 같습니다.

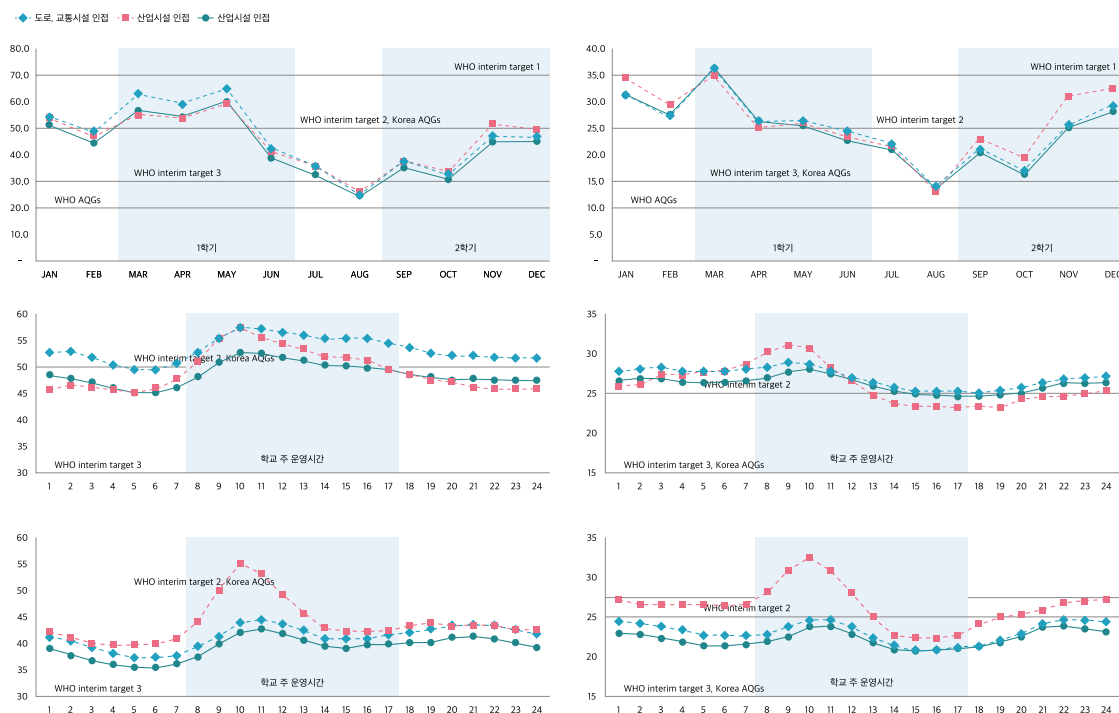
유형Ⅰ : 양호

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 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> 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 낮고, 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 시간대(9~11시)에 미세먼지 농도가 두드러지게 증가하는 경향이 나타났습니다.

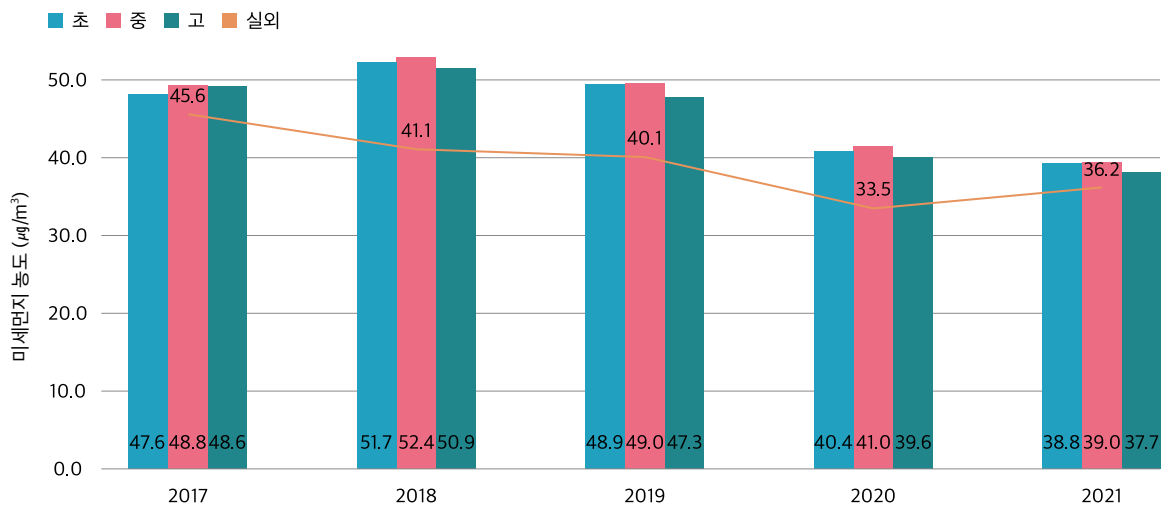


<그림 30> 학교 부지에 따른 월별, 시간대별 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> 농도 변화

## • 교실 내 미세먼지 농도 실태 조사

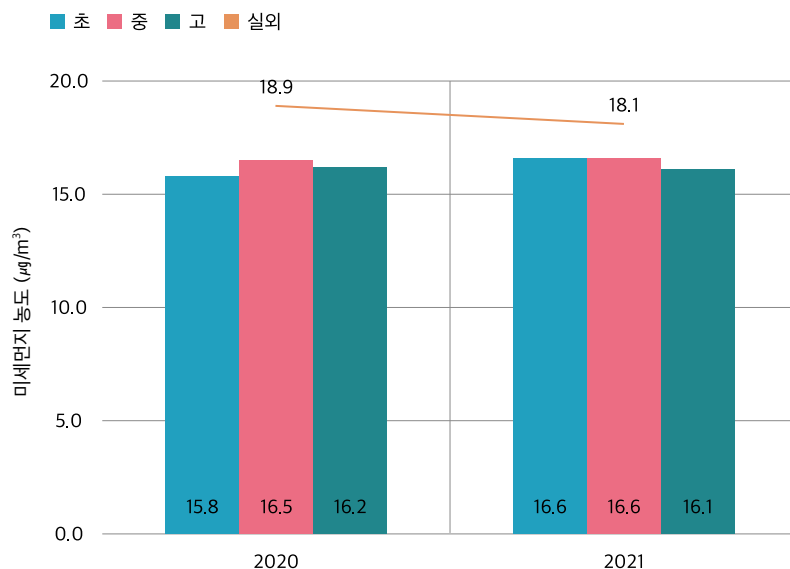
학교 미세먼지 대책을 수립하기 위해서는 학생 점유율과 교사 노후도 등 미세먼지 발생에 영향을 줄 수 있는 요인을 고려하여 조건별 맞춤형 저감 대책을 세우는 것이 중요합니다. 본 사업단에서는 ‘학교알리미’ 공개 자료 및 관련 문헌을 활용하여 학교 운영 실태를 조사하였습니다. 학교 유형은 학년별, 지역별로 구분하여 미세먼지 농도를 조사하였으며, 교실 유형은 운영방법, 학교 설립연도, 학생당 교실면적 점유율로 구분하여 현실적인 실태를 조사하였습니다.

연도별 학교 실내 PM<sub>10</sub> 평균 농도를 확인한 결과, 모두 「학교보건법」에 규정된 기준인 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하지 않는 것으로 나타났습니다.



<그림 31> 학파수에 따른 여육동 뒤편 PM<sub>10</sub> 농도

PM<sub>2.5</sub> 유지기준은 2018년 「학교보건법」이 개정되며 신설되었습니다. PM<sub>2.5</sub> 또한 기준치 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하지 않는 것으로 나타났습니다. 다만, 전체 학교의 약 52.1~60.5%이 미측정되거나 미공개 상태이므로 추가적인 조사를 실시할 필요가 있다고 판단됩니다.



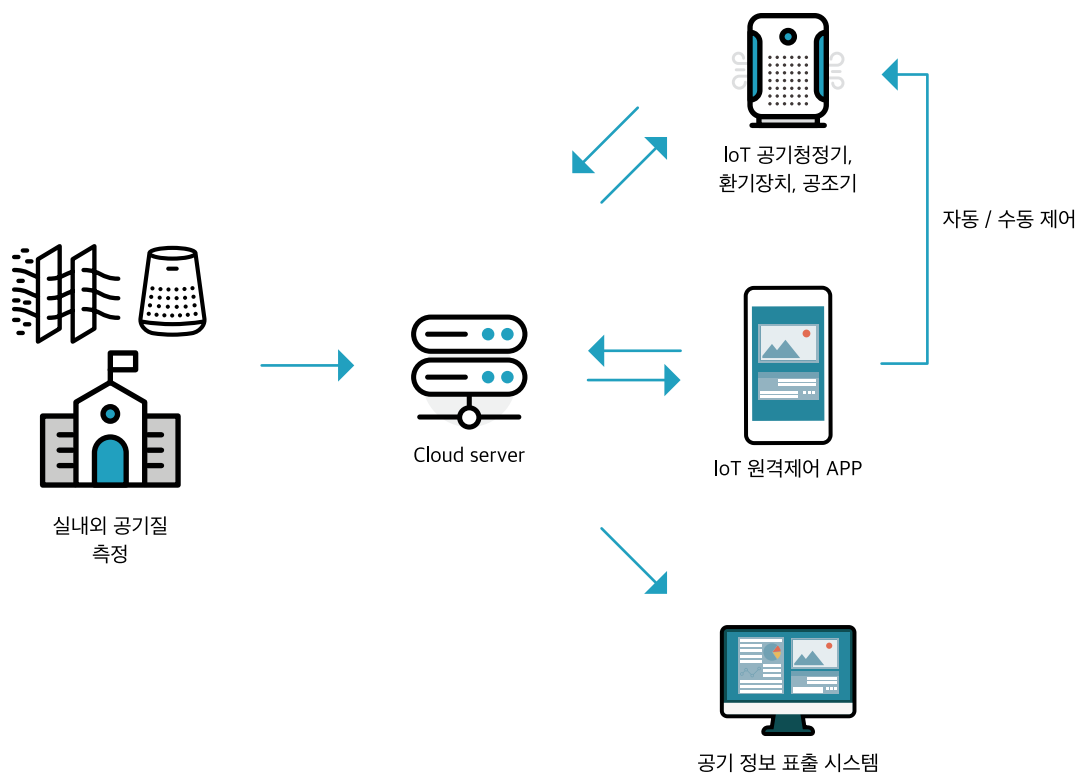
<그림 32> 학교급에 따른 연평균 실내 PM<sub>2.5</sub> 농도

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 생활 속에서 발생하는 도시문제를 사용자가 직접 참여하여 해결하는 시민참여 정책 중 하나입니다. 일상의 문제 해결에 있어 민간과 공동체 영역을 하나로 묶어 연구와 실행을 연결하는 개방형 플랫폼 형태입니다.

선정한 5개 학교의 조건이 모두 다르고 교실 내 공기질을 실시간으로 측정하고 모니터링 하기 때문에, 학교의 위치나 교실 유형에 따라 5개 학교 사이에서 실험군(시험 결과를 위해 인위적인 조작을 실시한 집단)과 대조군(비교를 위해 어떤 조작이나 조건도 가하지 않은 집단)을 설정할 수 있습니다. 리빙랩 내에는 IoT(Internet of Things, 사물인터넷)에 연동된 도어 및 모션 센서를 설치하고, 재실자 유무에 따라 창문 개방을 통한 환기를 실시할 수 있도록 하여 환기 여부에 대한 자료를 확보하였습니다. 이를 통해 확보된 자료는 클라우드 서버에 저장하여 데이터베이스를 만들었습니다.

또한, 측정된 실내 공기질 데이터를 클라우드 서버로 전송하여 IoT 원격제어 App, IoT 장비, 공기 정보 표출 시스템과 데이터가 상호 연동하는 형태의 인터페이스 시스템을 구축하였습니다. 실내 공기질 정보는 실시간으로 측정되어 Wi-Fi 또는 LTE 통신을 통해 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. 따라서, 이러한 리빙랩 사용 주체들을 대상으로 미세먼지 관련 교육 및 리빙랩 시스템을 적극 활용하도록 조치할 계획입니다.



<그림 33> 학교 실내공기질 개선을 위한 IoT 기반 원격제어시스템 구성