

학교 미세먼지 관리기술 적용사례

○ 노광철 | 광주공기산업
전문위원
E-mail : creative@c-airlab.com

1. 서론

2016년 한국의 공기질 순위는 세계 180개국 중 173위를 차지할 정도로 매우 나쁜 것으로 알려져 있다. 여러 연구자들의 발표에 의하면 중국이나 시베리아, 북한 등에서 유입되는 미세먼지의 양이 30% 이상을 차지하고 나머지는 국내에서 발생하는 미세먼지로 규정하고 있다. 사실 미세먼지의 발생원과 기상 데이터 등을 활용하여 미세먼지를 근본적으로 차단하고 예보하는 것은 중요하지만 예보를 통해 국민을 보호하는 것은 매우 어렵다.

현대인들은 실내 거주시간이 80% 이상일 정도로 매우 높아서 대기 미세먼지보다 실내 미세먼지에 더 큰 영향을 받고 있다. 실내 미세먼지 농도는 대기 미세먼지 농도를 기초로 하여 유입과 유출되는 양, 내부 발생량에 따라 농도가 결정된다. 따라서 실내 공간의 기밀도, 거주자의 수와 활동량, 요리와 같은 미세먼지 발생강도 등을 면밀히 살펴 볼 필요가 있다.

일반 주택의 경우, 거주자의 수가 제한적이고 요리활동 외 미세먼지가 다량으로 발생하는 경우가 거의 없기 때문에 실내 농도는 실외 농도의 약 62% 정도로 알려져 있다. 그러나 학교는 30명 이상의 학생들이 거주하고 있으며 수업시간을 제외하고는 활동량이 많은 특성이 주택과는 다르다. 초등학교를 기준으로 학생들이 교실 내 미세먼지에

노출되는 시간은 5시간 이상으로 일평균 약 20% 정도 차지하는 것으로 조사되고 있다. 교실은 학생들에게 집 다음으로 노출시간 긴 매우 중요한 생활 공간이기 때문에 건강유해성 관점에서 매우 철저한 기준으로 관리해야 함은 부정할 수 없는 사실이다.

이러한 이유로 교육부에서는 2017년 후반기에 학교 공기정화장치 보급에 대한 시범사업을 진행하였다. 교육부뿐만 아니라 서울시 교육청과 광주광역시에서도 학교 공기질 개선에 대한 시범사업을 진행하였다. 본고에서는 광주광역시에서 진행된 “학교, 유치원, 어린이집” 실내공기질 개선 시범사업에 대한 결과 중, 학교용 공기청정기 설치사례를 중심으로 관리기술 유효성을 설명하고자 한다.



그림 1. 광주광역시 “학교, 유치원, 어린이집” 실내공기질 개선 시범사업

학교는 우리의 미래 세대가 생활하는 공간이기 때문에 교실이 다양한 공기정화장치들을 테스트하는 실험 공간이 되어서는 안 된다. 그런 의미에서 광주광역시는 안전, 건강, 실증이라는 전제 하에 학교용 공기청정기의 최소 청정화능력 결정하였고 이를 기준으로 가동 유무, 운전 대수, 안정화 시간 등에 대한 평가를 수행하였다. 공기청정기의 미세먼지 제거 효과뿐만 아니라 에어필터의 교체 비용이 많이 들어갈 수 있는 점을 고려하여 유지보수 기간 설정을 위한 이론적 고찰을 논하였다. 그리고 미세먼지 측정기를 학교 실내에 설치하였을 때의 문제점과 학교 미세먼지 제품군의 필수 요구사항에 대해서도 논하였다.

2. 실증 연구 방법

광주광역시 학교 미세먼지 관리를 위한 실증 연

구는 학교 선정에서부터 시작해서 미세먼지 발생량 및 적정 청정화능력 추정, 리빙랩 운영 방법, 측정방법 등의 순서로 사전 준비작업이 진행되었다. 본 실증 연구는 공기청정기 2개 기업(LG, DK), 계측기 기업(랩코), 한국공기안전원, 연구 총괄 및 유지보수 기업(에어랩), 광주시보건환경연구원이 참여하였으며, 사업에 소요된 제품과 유지보수 서비스, 연구수행 등은 모두 기증의 형태로 이루어졌다.

2.1 학교 선정 및 공기청정기 배치

광주광역시 시범사업은 총 3개 학교 1학년과 유치원의 27개 교실을 대상으로 실시되었다. 선정된 초등학교들의 위치는 모두 도로변과 아파트 사이에 있는 곳이었으며 시범학교의 선정은 광주시교육청이 학교들의 신청을 받아서 공정한 방법으로 선정되었다. 실증에는 초등학교 1학년 8개 반, 9개 반, 4개 반과 병설유치원은 각각 2개 반, 3개 반, 1

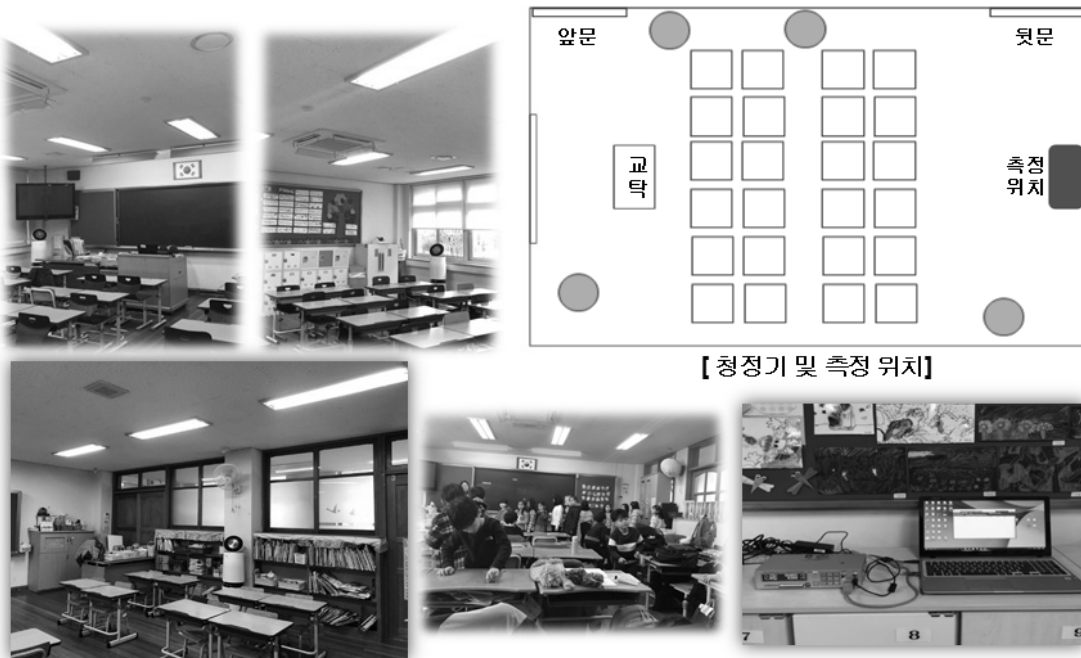


그림 2. 학교 공기청정기 배치 및 설치 사진

개 반이 참여하였다. 학교에서 진행된 실증실험은 2017년 11월 20일부터 12월 22일까지 약 한 달간 진행되었다.

모든 교실에 24평형(청정화능력 10 m³/min) 공기청정기 2대가 배치되었다. 학교에 설치된 공기청정기는 모두 LG의 제품이고 제품의 높이가 1 m이상이므로 공기청정기 주변의 학생들이 기류에 의한 드래프트를 최소화할 수 있는 것이다. 공기청정기는 교실 앞부분과 뒷부분으로 미세먼지가 제거된 깨끗한 공기가 잘 분배될 수 있도록 균등하게 배치하였다. 실제 학교 현장에서는 전기콘센트의 위치가 다양했기 때문에 이를 반영하여 균등하게 배치할 수 있도록 노력하였다. 그림 2에 공기청정기(노란색 서클)의 배치도가 나와 있다.

2.2 미세먼지 발생량 및 적정 청정화능력 추정

인당 미세먼지 발생량에 대한 추정은 클린룸 기술을 기반으로 이루어졌다. 일반적으로 깨끗한 실내 공간은 미연방 규격 FS D 209 기준에 따른 청정도가 Class 500,000 정도인 것으로 알려져 있다. 외부에서 유입될 수 있는 배경농도를 제외하고 사람 1명당 발생량의 관점(약 35 만개/min 으로 가정)에서 필요한 청정화능력을 산출하면 인당 약 1 m³/min 정도로 계산된다. 이는 성인을 대상으로 산출된 결과이기 때문에 초등학교 정도의 소아를 기준으로 환산하여 인당 0.7m³/min 정도가 필요한 것으로 계산되었다. (여기에서 수행된 가정들은 모두 검증이 필요한 것이기 때문에 자세한 계산방법을 수록하진 않겠다. 하지만 이론적인 추정방법에는 문제가 없다고 생각된다.)

일반적인 초등학교 교실에서 공부하는 학생 수는 약 20~35명이기 때문에 학 교실당 30명을 가정하여 교실 내 필요 공기청정기 청정화능력은 약 20 m³/min (0.7m³/min/인 × 30 인)으로 산출되었다. 이 계산을 바탕으로 10m³/min 공기청정기 2대를 각 교실마다 균등하게 배치한 것이다.

2.3 리빙랩 운영

본 실증 사업에서는 리빙랩을 기반으로 실증이 이루어졌다. 리빙랩이란, 사용자들이 연구혁신의 대상이 아니라 연구혁신 활동의 주체가 되는 ‘사용자 참여형 혁신공간’으로 정의되며, ‘살아있는 실험실’, ‘일상생활 실험실’, ‘우리 마을 실험실’ 등으로 해석된다.

실증에 리빙랩을 도입하는 것이 쉽지는 않았지만 아래의 순서대로 형식을 갖춰 리빙랩 바탕의 실증 연구를 진행하였다.

- 1) 리빙랩 운영 목적 및 방안 제시
- 2) 리빙랩 운영 계획 수립(도출 결과, 실험 방법, 사이트, 측정방안 등)
- 3) 학교 선정 및 측정 장비 설치
- 4) 학교 운영자(교사 등) 기본 교육 실시(목적, 예상결과 등)
- 5) 리빙랩 실시 (측정 시작 및 데이터 누적)
- 6) 데이터 및 실증 효과 분석, 제품 및 표준 등에 대한 개선 방안 도출
- 7) 소비자 개선 리포트 분석 및 리빙랩 결과 공유 - 소비자, 전문가 등 모두
- 8) 리빙랩 운영 성과 공유

다양한 리빙랩 방법론이 존재하고 적용처에 따라 적절한 방법들이 존재하겠지만 본 실증에서는 그러한 것들까지 검증하지는 못하였다. 다만, 초기 기본 교육과 소비자에 의한 리빙랩 리포트 작성, 전문가와 교육자들과의 실증 결과 공유를 통해 소비자들 관심이 높아지고 지식의 깊이가 더해져 삶의 질을 개선하는데 매우 도움이 될 수 있도록 노력하였다. 리빙랩 운영을 통해 공공의 소비자들이 공기 복지 측면에서 보호받고 있다는 생각을 품게 되었다는 것 자체가 매우 중요한 가치가 아니었나 생각해 본다.

2.4 측정 방법

본 실증연구에서는 에어랩과 광주시보건환경연

구원이 공동으로 학교 교실에서의 미세먼지농도를 측정하였다. Grimm 1.109 2대와 Air Watch 를 사용하여 2개 교실을 동시에 실시간 측정하면서 교실에 벌어지는 일들(예를 들어 수업의 종류, 쉬는 시간, 청소 및 체육활동, 점심시간 등)에 따라 PM2.5, PM10의 농도가 어떻게 변하는지를 실시간 체크하였다. 그리고 광주시보건환경연구원에서는 공인된 시험법에 기초하여 Minivol-TAS 2대로 2개 교실에서 PM10 농도를 3시간, 6시간 단위로 측정하였다. 1개의 학교당 3일 이상 측정이 이루어졌으며 최대 4개 교실에서 동시 측정하여 결과를 산출하였다.

이번 사업이 학교 미세먼지를 관리하기 방법을 제시하는 것이긴 하지만 교육자 및 피교육자에게 적절한 양의 산소를 공급하는 것은 학습 성과를 높이는데 있어서 매우 중요한 요소라고 판단하여 가스상 오염물질의 공기질 평가 종합지표로서 보건환경연구원에서 사용하는 측정장치(CO12CMM)를 활용하여 이산화탄소 농도를 측정하였다.

2.5 미세먼지 농도 기준

아래 표 1은 세계보건기구가 권고하는 PM10과 PM2.5에 대한 연평균 대기환경 기준값이다. 표에서 잠정기준은 대기기준에 대한 상대적인 값으로 잠정기준의 농도가 증가할수록 사망위험이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 지속적인 노출에 의한 결과이기 때문에 노출시간이 감소하면 표 1에 제시된

기준 농도가 증가하게 된다. 예를 들어 세계보건기구가 권고하는 24시간 평균 농도는 잠정기준 2가 사망위험 증가가 없는 수준이 된다.

우리나라의 경우, 연평균 대기 미세먼지 농도는 잠정기준 2 수준(PM10 기준 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 알려져 있다. 이는 미국이나 유럽에 비해 높은 편이고 WHO 권고기준보다 사망위험이 9% 높은 수준으로 노출강도가 크다고 볼 수 있다. 대기 수준이 이와 같다면, 실내 미세먼지 노출 수준을 낮추는 것이 정책적으로 필요한데 국내 미세먼지 기준들은 이를 반영하지 못하고 있는 실정이다.

표 2에서 보는 바와 같이 학교 PM10 농도 기준은 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 매우 높게 설정되어 있으며 이로 인해 교육부나 일선 학교에서는 학교 공기질에 문제가 없다고 말하고 있다. 실내 노출관점에서 평가한다면 이러한 미세먼지 농도 기준은 오히려 국민 건강을 해치는 방향으로 설정된 것이기 때문에 빠른 시일 안에 개정이 필요하다고 본다.

3. 공기청정기 적용 사례

3.1 평균 미세먼지 농도 감소율

그림 3과 4는 청정화능력이 $10\text{ m}^3/\text{min}$ (약 24평형)인 공기청정기 사용 유무에 따른 평균 미세먼지 농도(PM10, PM2.5) 측정 결과이다. 그림 3은 초등

표 1. 세계보건기구가 권고하는 대기환경 기준

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

연 평균	미세먼지(PM10)	초미세먼지(PM2.5)	설정근거
잠정 기준 1	70	35	대기 기준에 비해 15% 사망 위험 증가
감정 기준 2 (한국이 적용한 기준)	50	25	잠정 기준 1보다 사망 위험 6% 감소 (대기 기준보다 사망 위험 9% 높음)
잠정 기준 3	30	15	잠정 기준 2보다 사망 위험 6% 감소
대기 기준	20	10	사망 위험 증가가 나타나지 않는 수준

표 2. 국내 학교 실내 공기질 관리 기준

오염물질항목	기준	적 용 시 설	비 고
미세먼지($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100	모든교실	10 마이크로미터 이하
이산화탄소(ppm)	1,000		기계환기시설은 1,500ppm
포름알데히드($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100		
총부유세균(CFU/ m^3)	800		
낙하세균(CFU/실당)	10	보건실, 식당	
일산화탄소(ppm)	10	개별난방 및 도로변 교실	직접연소에 의한 난방의 경우
이산화질소(ppm)	0.05		
라돈(pCi/L)	4.0	지하교실	
총휘발성유기화합물($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	400	건축한 때로부터 3년이 경과되지 아니한 학교	증축 및 개축 포함
석면(개/cc)	0.01	석면을 사용하는 학교	단열재로 석면을 사용한 학교의 경우
오존(ppm)	0.06	교무실 및 행정실	오존을 발생시키는 사무기기(복사기 등)가 있는 경우
진드기(마리/ m^3)	100	보건실	

학교 1학년 학생들이 교실에 거주하는 약 5시간 동안 측정된 평균값을 보여준다. 유치원도 5시간 동안만 측정된 결과이다. 외부농도는 학교가 위치한 장소에서 가장 가까운 대기측정소에서 측정된 결과이다. (Air Korea 홈페이지 참조)

PM10은 교실 내 농도가 대기농도보다 약 1.3~1.4배 정도 높게 나타났고 PM2.5는 교실 내부와 외기농도가 유사한 수준인 것으로 평가되었다. 2.5~10 μm 의 큰 먼지들은 교실 내부에서 빠르게 침강하여 바닥에 존재하기 때문에 학생들의 교실 내 활동량이 증가함에 따라 바닥에 있던 먼지들이 부유하면서 교실 내부 농도가 대기 농도보다 높아지는 것으로 추정되기도 한다. 반면 2.5 μm 보다 작은 미세먼지들은 대기에서 교실 내로 유입되는 공기를 통해 쉽게 침입하기 때문이다. 24평형 공기청정기를 2대 가동한 경우 공기청정기를 사용하지 않는 것에 비해

PM10과 PM2.5 농도를 각각 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 대기 농도의 높고 낮음에 따라 달라질 수 있는 사실이지만 학교 내에서의 미세먼지 농도 기준치를 결정하는데 있어서는 좋은 참고자료가 될 수 있다고 생각된다. 공기청정기 2대를 사용했을 때 공기청정기 사용유무에 따른 상대적인 변화량은 PM10은 50% 이상, PM2.5는 65% 이상 감소하였다. PM2.5의 감소량이 상대적으로 큰 것은 공기청정기가 소위 큰 먼지보다 작은 먼지를 더 잘 제거하기 때문이다.

초등학교와 병설유치원에서 약간 다른 결과를 나타내기도 하였으나 미세먼지 감소량은 유사하게 나타났다. 그리고 대기 미세먼지가 농도가 낮은 날에 공기청정기 사용에 따른 감소율이 높았는데 이는 교실 외부에서 유입되는 미세먼지 양과 내부 발생 부유 먼지량이 모두 감소하기 때문이다.

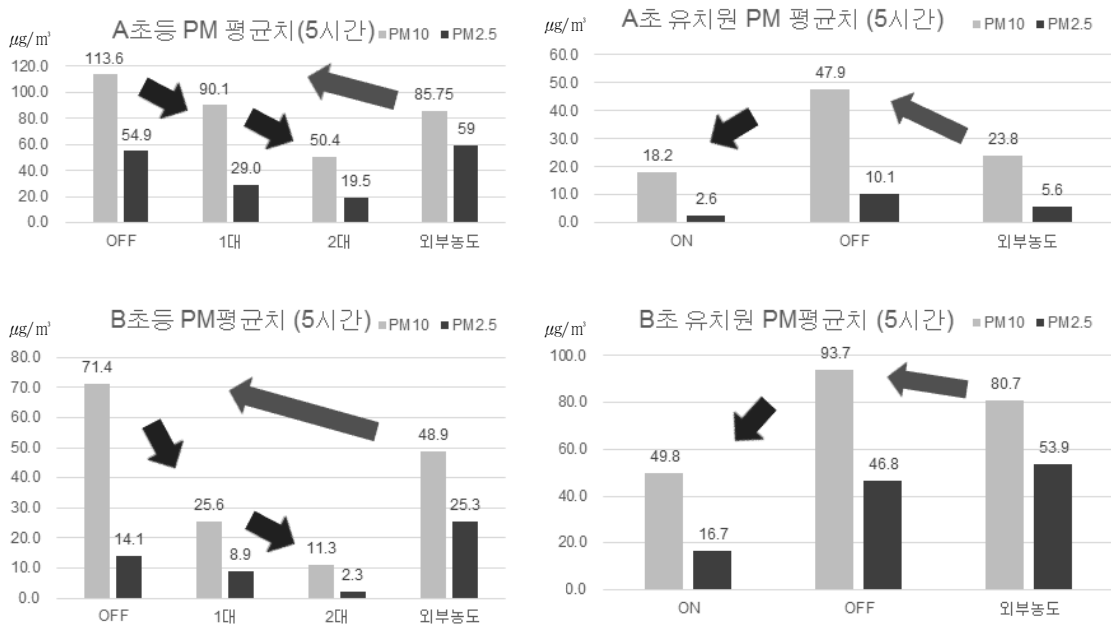


그림 3. 공기청정기 사용 유무에 따른 평균 미세먼지 농도 측정 결과 I (광산란방식 미세먼지 계측기 사용, GRIMM)

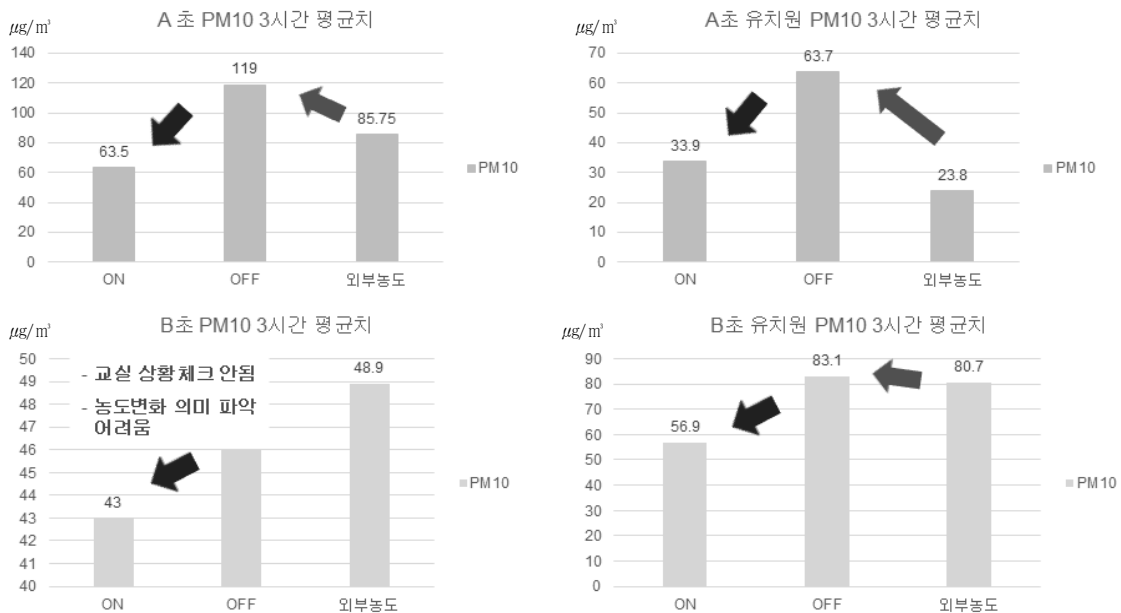


그림 4. 공기청정기 사용 유무에 따른 평균 미세먼지 농도 측정 결과 II (베타레이방식 미세먼지 계측기 사용, Minivol-TAS)

그림 4는 광주시보건환경연구원의 미세먼지 계측기를 사용하여 측정한 결과로서 공기청정기 유무에 따른 PM10 농도의 변화를 보여준다. 측정된 교실이 다르기 하지만 PM10 농도와 그 변화량이 그림 3에서 제시된 값과 대체로 유사한 것을 볼 수 있다.

3.2 실시간 측정 결과

그림 5는 B 초등학교에서 측정한 공기청정기 On/Off 모드에서 미세먼지 농도의 실시간 변화량이다. 공기청정기를 가동 유무에 따라 미세먼지 농도는 상당한 차이를 보인다. 측정이 이루어진 날 대기농도가 좋은 날임에도 불구하고 실내농도는 공기청정기 사용에 따른 결과가 매우 컸다. 특히 공기청정기를 사용하지 않은 경우 학생들이 운동장에서 실외활동 후 입실하면서 PM10농도와 PM2.5 농도가 급격히 증가되는 것을 볼 수 있고 학생들이 점심식사를 위하여 퇴실한 후부터 조금

씩 감소하는 것이 확인되었다. 그렇지만 활동량이 많은 연극수업이 시작되면서 다시 PM10농도가 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘어서 상당히 높은 농도로 머무르는 것을 볼 수 있다. 교실 내 미세먼지농도는 활동량이 많은 수업일수록, 실외 활동 후 입실하면서 높은 농도를 나타낸다고 볼 수 있다. 이와는 반대로 공기청정기 2대가 모두 가동되고 있는 교실의 경우 PM10이 대체로 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 수준을 잘 유지하였다.

그림 6은 A 초등학교에서 측정한 공기청정기 운전대수에 따른 미세먼지 농도 실시간 변화량을 보여준다. 대기 PM10 농도가 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 매우 높은 수준인 날 측정된 결과이다. 수업 이전과 쉬는 시간, 청소시간에는 교실 내 PM10 농도가 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상을 초과하는 것으로 나타났다. 이렇게 외부 농도가 높은 날에도 24평형 공기청정기를 2개를 가동하면 청소시간을 제외하고 대체로 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 농도를 유지하였다. 청소시간에는 문을 열고 청소를 했기 때문에 높은 농도가 나타난 것이다.

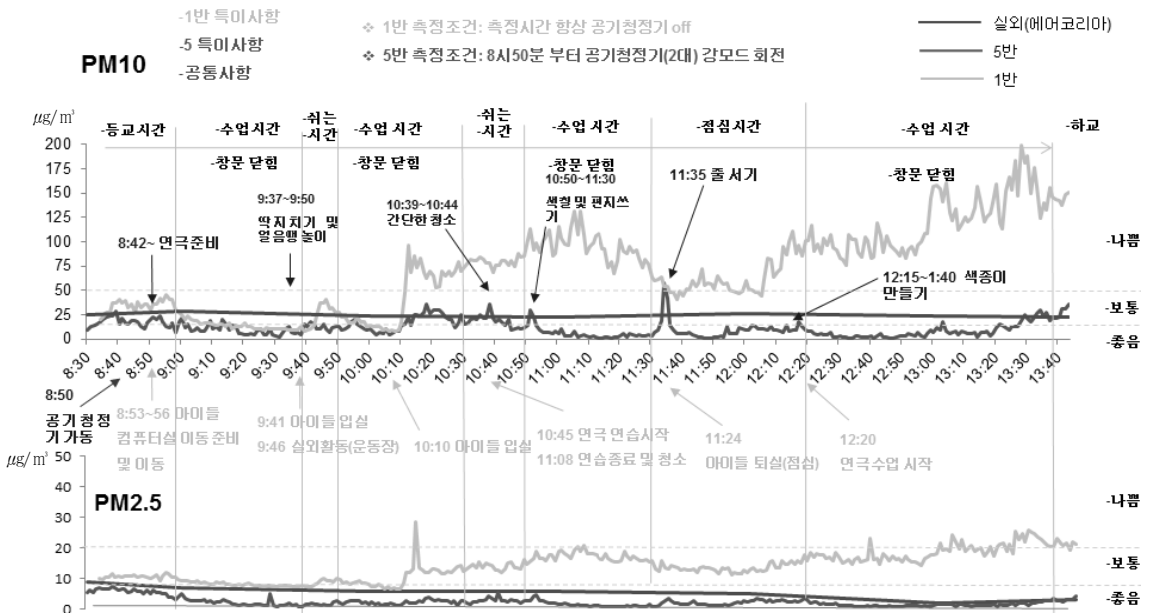


그림 5. 공기청정기 On/Off에 따른 미세먼지 농도 실시간 변화량

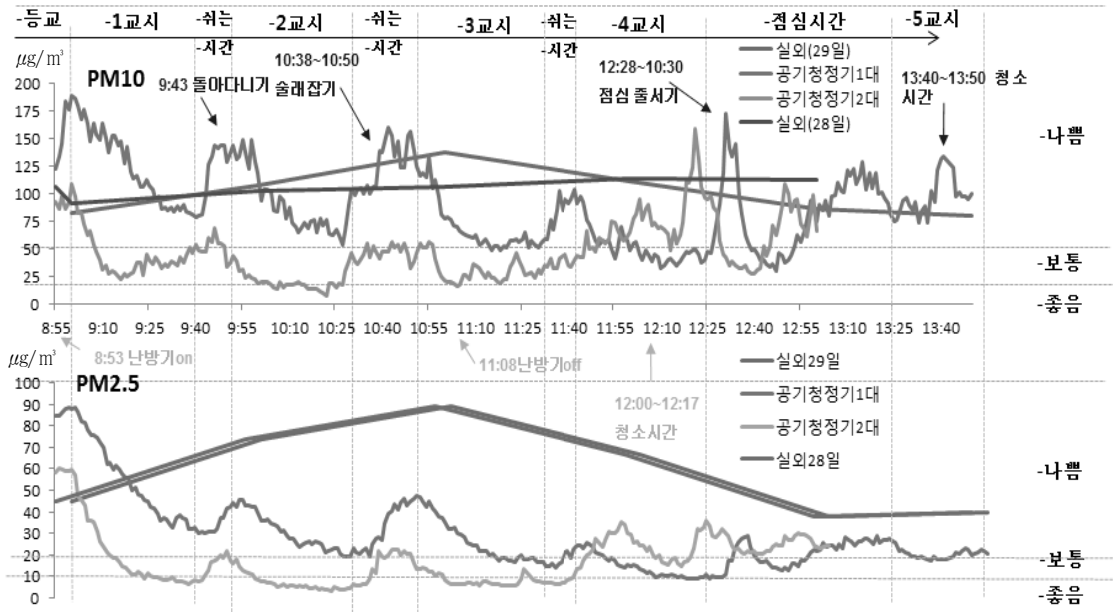


그림 6 공기청정기 운전대수에 따른 미세먼지 농도 실시간 변화량

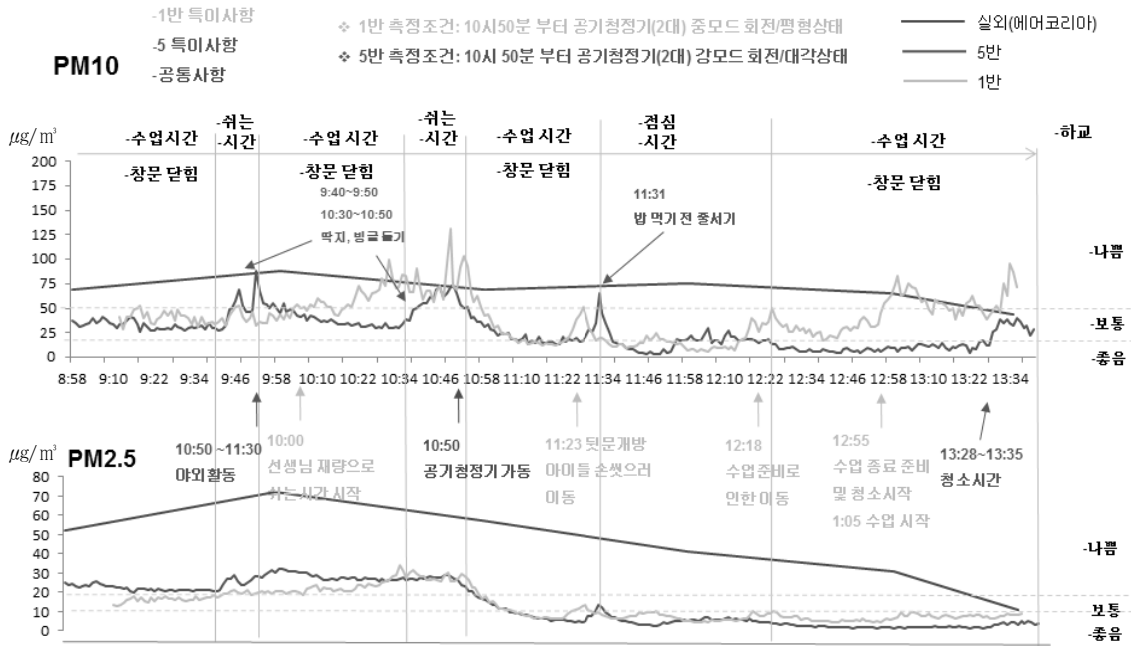


그림 7. 공기청정기 안정화 시간

1대의 공기청정기만 가동되는 경우에도 비가동시 보다는 미세먼지 농도가 감소하는 것을 볼 수 있다. 그러나 수업시간과 쉬는 시간을 중심으로 농도의 편차가 크다. 이는 대기 미세먼지 농도가 높고 학생들의 활동량이 많은 경우, 24평형 1대의 공기청정기로는 교실 내 미세먼지 농도를 적절한 수준까지 감소시키는 것이 쉽지 않다는 것을 의미한다.

그림 7은 공기청정기를 Off 시킨 상태에서 On으로 가동하였을 때 미세먼지 농도가 최저 수준까지 떨어지는 데 걸리는 시간을 체크하기 위해서 실험한 결과를 보여준다. 공기청정기를 가동한 후 농도가 저점으로 떨어지는데 걸리는 시간을 안정화 시간으로 정의한다면 안정화 시간은 약 30분 정도인 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 그림 5와 6에서도 확인가능하다. 따라서 공기청정기가 설치된 교실에서는 수업이 시작되는 9시의 30분 전인 8시 30분이나 학생들이 입실을 시작하는 8시부터 공기청정기를 가동하여 실내 미세먼지 농도를 저점 수준으로 유지하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3.3 유지보수 기간 예측

학교에 공기청정기와 같은 공기정화장치를 보급하는 것은 교실에서 미세먼지 노출량 저감한다는 측면에서는 매우 중요하다. 하지만 국가나 지자체의 재정을 고려한다면 결코 쉬운 사업이 아니다. 또한 에어필터가 주기적으로 교체되어야 공기정화장치의 성능이 제대로 발휘될 수 있다는 관점에서 유지보수는 공기정화장치의 보급만큼 중요한 사안이다. 현재 광주광역시 실증 사업에서는 공기청정기 유지보수에 대한 평가가 진행 중이어서 실증 통한 결과는 아직 없다. 하지만 아래의 식을 통하여 필터 교체의 유지보수 기간을 예측해 볼 수는 있다.

$$days = \frac{\Delta M_{filter}}{C_{room} \times 0.75 \cdot CADR_0 \times 360}$$

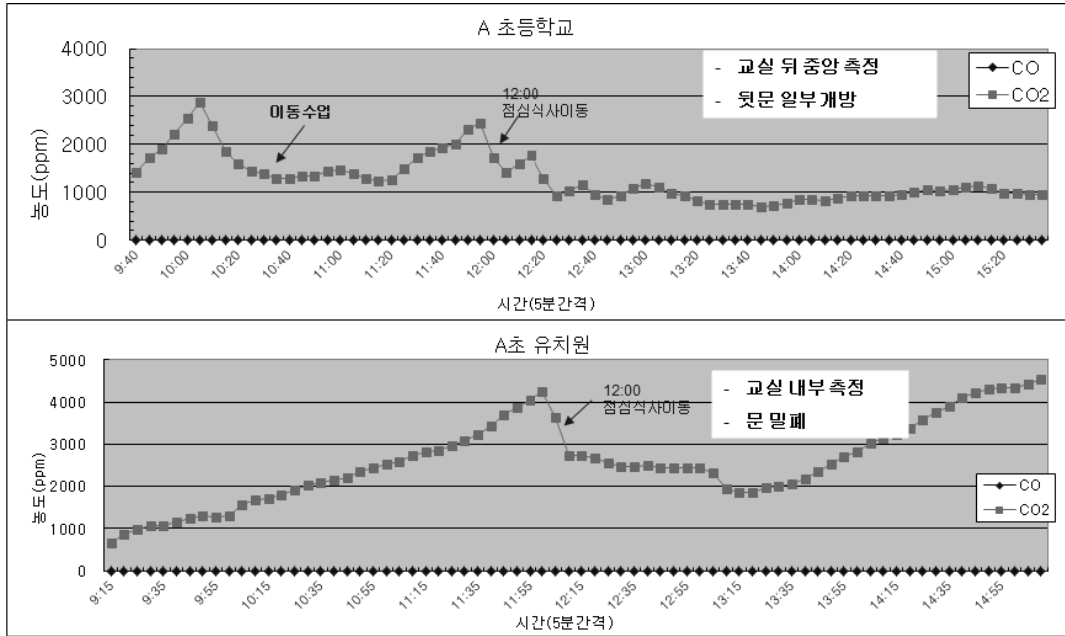
여기서 ΔM_{filter} 는 필터의 유지용량[g], C_{room} 은

교실 내부 평균 농도[$\mu\text{g}/\text{m}^3$], $CADR_0$ 는 공기청정기의 초기 청정화능력[m^3/min], 360은 하루 사용시간을 분으로 환산한 계수이다.

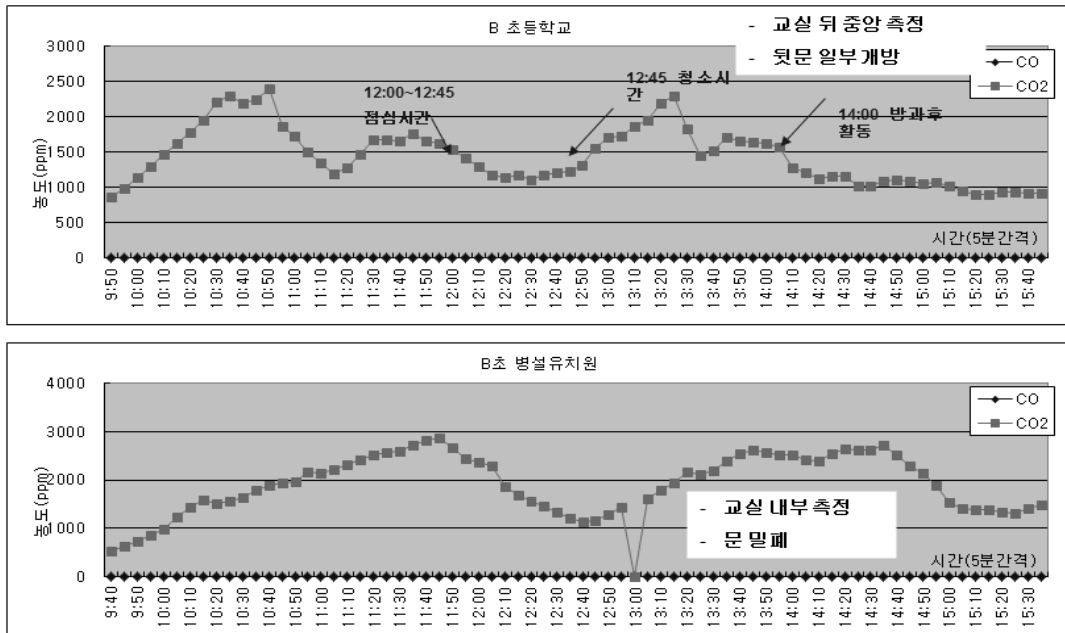
본 실증사업 결과로부터 교실 내부 미세먼지 농도를 대기 농도의 1.4배로 가정하여 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 청정화능력 $10 \text{ m}^3/\text{min}$, 대용량 공기청정기 에어필터의 유지용량을 15g 정도로 가정(월 1회 프리필터 청소)하면, 에어필터를 교체해야 하는 기간이 약 80일로 산출된다. 그러나 이러한 이론적 결과는 공기청정기의 운전 대수와 공기청정기 성능 감소 한계치, 사용시간에 대한 정의 등에 따라 달라질 수 있기 때문에 실증을 통해 검증될 필요가 있다. 사용자(학교 담당자)의 편의를 고려하여 2개월 또는 4개월이 유지보수기간으로 결정될 것으로 예상되며 이는 한 학기에 1회 또는 2회의 필터 교체를 의미한다.

3.4 이산화탄소 농도

그림 8은 A와 B 초등학교에서 측정된 이산화탄소 농도이다. 측정기간이 겨울이기 때문에 교실의 창문과 앞쪽 출입문은 모두 닫힌 상태였다. 다만, 교실 뒤편에 위치한 출입문은 아이들이 화장실을 이용하거나 환기를 위해 약간 열린 상태로 유지되는 경우가 많았다. 교실 내부에서 측정된 이산화탄소 농도는 수업의 시작과 함께 증가하고 쉬는 시간과 이동 수업, 점심시간에는 감소하는 경향을 보였다. 수업이 시작된 이후로 대부분 기준치인 1,000 ppm을 초과하는 것으로 나타났고 방과 후에도 1,000 ppm이하로 감소하였다. 병설유치원의 경우, 초등학교보다 높은 수준의 농도로 나타내었다. 2,000 ppm을 초과하는 시간이 많았으며 초등학교보다 이산화탄소 농도가 높아서 학생들에게 필요한 산소량은 많이 부족할 것으로 예상되었다. 유치원의 농도가 높은 이유는 측정위치에 관한 문제가 큰 것으로 판단되었으며 초등학교도 교실 앞쪽에서 측정을 하면 그림 8에서 보여준 값보다 높은 농도값을 나타낼 것으로 예상되었다.



(a) A 초등학교 및 유치원



(b) B 초등학교 및 유치원

그림 8. 초등학교와 병설유치원에서 측정된 이산화탄소 농도

4. 고찰 및 제언

4.1 공기청정기 실증 결과 요약

본 실증사업을 통해 초등학교 교실에서 공기청정기가 사용된 경우 미세먼지 농도를 다음 표 3과 같이 감소시킬 수 있다는 것이 확인하였다. 24평형 공기청정기 1대만을 사용해도 PM10을 기준으로 노출량을 약 43% 정도 감소시킬 수 있고 2대를 사용하면 65% 정도 개선된다는 것을 실증하였다. 이와 같은 실증 결과를 다른 곳에서도 동일하게 증명하기 위해서는 제품에 대한 선정에 있어서 주의가 필요하다. 제품의 높이가 1m 이상은 되어야 하고 제품의 흡입구와 배출구가 벽이나 다른 물체에 영향을 받지 않고 공기순환을 잘 시키는 구조여야 한다.

4.2 리빙랩 리포트 일부 내용

아래의 내용은 공기청정기 설치 한 달 이후 받은 리빙랩 리포트이다. 제품 개선과 관련된 부분을 제외하고 일반적인 소비자들이 작성한 리포트 중 일부이다.

- (1) 처음에는 아이들의 왕성한 활동으로 인해 기기 파손이 우려되었으나 생각보다 충돌이 거의 없었다.
- (2) 교사들은 고질적으로 목에 관련된 질환이 많은데, 공기청정기 설치 이후 목 아픈 것이 줄어들었다.
- (3) 아이들의 호흡기 질환 빈도가 감소하였다. 겨울철에는 독감이 잘 유행하고 독감이 아니더라도

일반 기침 감기의 발병율이 높는데 그 빈도가 줄어들었다.

- (4) 작년까지는 겨울철에 약을 가지고 오는 학생들이 많았는데, 올해는 아직까지 호흡기질환에 걸려서 약을 가지고 오는 아이들이 거의 없다.
- (5) 겨울 철 추운 날씨와 미세먼지로 환기를 자주 할 수 없어 불편함이 있었는데 청정기를 사용해 실내 공기를 정화시킬 수 있는 것이 좋았다.
- (6) 아이들이 뛰어도 먼지 없이 공기가 깨끗하게 유지할 수 있다.
- (7) 눈으로 확인 할 수 없는 미세먼지나 냄새까지 공기청정이 가능하여 쾌적하였다.
- (8) 미세먼지에 민감한 아이들과 학부모가 안심할 수 있다.
- (9) 필터 교체 주기를 알고 싶다.

4.3 광산관방식 미세먼지 측정기 사용시 주의점

미세먼지 농도에 대한 관심이 매우 높아지면서 가정이나 사무실, 학교 등 장시간 머무는 실내 공간의 미세먼지 농도를 알고자 하는 소비자가 늘고 있다. 이러한 추세에 맞게 5만원 상당의 저가형 센서에서 부터 1,000만원 정도의 고가형 계측기들이 여러 가지 방법으로 소비자들에게 어필하고 있다. 이러한 미세먼지 계측기의 선택에서 중요한 것은 어느 정도의 정확도와 정밀도를 갖는 제품을 선택하느냐이다. 너무 저가형 제품은 오차가 100%을 넘어가는 제품이 많고 고가형 제품들도 가격에 비해 정확도가 떨어지는 편으로 알려져 있다.

표 3. 공기청정기를 통한 교실 내 PM10 및 PM2.5 제거율

	청정화능력 (CMM)	PM10 제거율 (%)	PM2.5 제거율 (%)
공기청정기 1대	10 (24평형)	22~65	37~47
공기청정기 2대	20 (48평형)	56~74	65~84

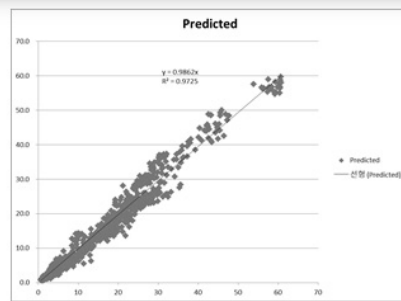
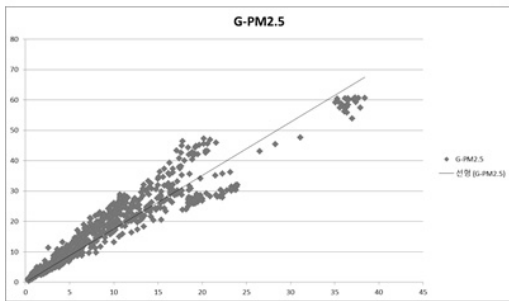
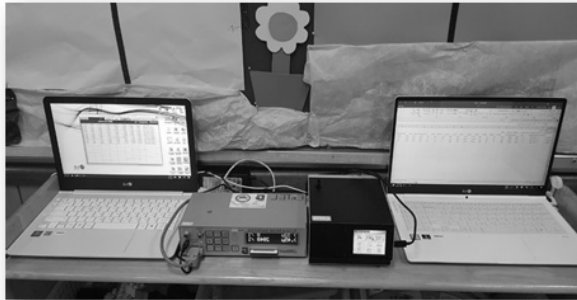


그림 9. 광산란방식 계측기 튜닝 예

이러한 오차율을 보이는 근본적인 원인은 미세먼지 계측기의 불확도 원인들이 다양하기 때문이다. 광학센서, 유량, 미세먼지의 종류, 습도, 광감지기 및 관련부품의 정밀도 등이 다양하게 부정확한 요인으로 작용한다. 따라서 미세먼지 계측기는 저가형뿐 아니라 고가형도 장소 맞춤형 튜닝이 필요하다. 오차율이 큰 제품은 튜닝 후에도 오차율을 감소시키는 것이 쉽지 않다.

교실에서 비교적 고가형 제품인 Air Watch라는 제품으로 측정된 값과 Grimm사의 제품의 측정값을 동시에 비교한 결과, PM2.5 오차율이 상당히 높은 것으로 조사되었다. 따라서 광산란방식 미세먼지 계측기가 학교에 설치되는 경우에는 기준 계측기와 튜닝을 통하여 정확도를 높이는 작업은 필수적인 사항이라고 판단된다.

또한 4차 산업에서 매우 중요한 요소인 계측기(센서 포함)는 그 정확도와 정밀도가 보장되어야

데이터 수집을 통한 빅데이터 분석, AI 활용 기술 등이 제대로 적용될 수 있기 때문에 이를 위해서도 계측기의 정확도 확보는 매우 중요한 요소이다.

4.4 학교용 미세먼지 관리 제품의 필수 요구 사항

공기청정기를 비롯한 공기정화장치는 오염된 공기가 장치 내부로 유입되어야 미세먼지, 미생물, VOCs, 포름알데히드 등과 같은 오염물질을 제거, 배출, 희석시킬 수 있다. 따라서 핵심적인 문제는 실내공기가 얼마나 효율적으로, 얼마나 많이 공기정화장치로 들어간 후 오염물질이 걸러진(상대적으로) 깨끗한 공기를 실내로 얼마나 많이 내보내는가이다. 이것을 일반적으로 청정화능력이라고 표현하고 이러한 개념은 공기청정기와 환기장치에서 정량화시키는 것이 가능하다. 학교용 제품들을 설

표 4. 공기청정기와 환기장치의 공기정화장치 제품군 학교 설치시 필수 요구사항

제품군	필수 요구사항
전기집진방식	청정화능력, 오존 프리, 집진부 세정 편리성, 학교 실증 등
공기살균기 (PCO 포함)	청정화능력, 오존 프리, 미세먼지 및 세균 감소 실증 등
이온발생기	청정화능력, 오존 프리, 학교 실증 등
창문형 먼지제거장치	청정화능력, 계절요소(온습도), 상시조건 성능, 실증 등

치할 때는 공기정화장치들의 총 청정화능력이 20 m³/min 이상을 만족시켜야 한다. (한국공기청정협회에서는 시장상황을 감안하여 10 m³/min 이상의 제품만 학교용으로 인증하고 있다.) 또한 학교용 제품이라면 학생과 교사들의 공기안전에 영향을 줄 수 있는 오존, NOx 등과 같은 유해 물질을 배출해서는 안 된다.

이러한 측면에서 표 4에 나와 있는 제품군들이 학교에 설치되는 경우, 청정화능력뿐만 아니라 표에 제시된 필수 요구사항 이상의 내용을 모두 만족해야 한다.

5. 맺음말

서두에 설명한 바와 같이 학교는 어린 학생들이 생활하는 공간이기 때문에 다양한 장치들을 테스트 하는 실험공간이 되어서는 안 된다. 실내 오염제어 전문가라면 표준화 된 교실에 대하여 공기정화장치의 적정 용량을 산출할 수 있어야 한다. 적용 용량의 제시를 통하여 안전한 기준을 설정하고 이를 실증하여 학생들의 건강을 보호하는 것이 최우선이기 때문이다.

그런 의미에서 최근에 수행된 교육부의 학교공기질 개선 시범사업은 추진단계에서부터 매우 성급했던 측면이 많았다고 판단된다. 공기정화장치의 적정 성능에 대한 가이드라인 없이 일선 학교에서

공기정화장치를 선정하게 했기 때문에 전문성이 떨어지는 선생님들에게 아주 어려운 숙제를 안기는 것과 같았다. 이러한 경우 학교는 기업들의 이익에 따라 적절하지 못한 제품을 구입할 가능성이 높고 그 실질적 피해는 학생과 교사가 받게 된다. 시범사업 후 학교 공기정화장치 설치 타당성을 조사했던 기관에서도 의견점이 많은 데이터를 언론에 노출하여 교사와 학부모들의 혼란을 가중시켰던 것도 문제라고 보여진다. 올바른 검증이었다면 전문가 집단으로부터 결과의 타당성을 인정받고 공기정화장치의 적절한 성능을 결정하는 것이 필요했다고 판단된다.

미세먼지 제거를 비롯한 학교 공기질 개선은 실내 노출 감소의 관점에서 매우 필요한 시점이 되었다. 전문가들은 학교를 실험 대상으로 삼지 말고 적절한 가이드라인을 빨리 제시하여 아이들이 건강한 공기를 마시며 생활할 수 있는 공간으로 변모될 수 있도록 정성을 다해야 한다.

광주광역시의 실증사업은 학교 교실 미세먼지 관리에서 있어서 의미있는 가이드라인을 제시한 것으로 생각된다.