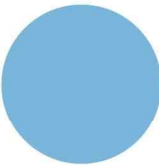
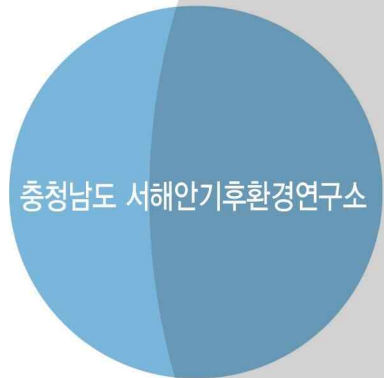


학교 미세먼지 저감을 위한 통합 관리방안 구축 사전조사 연구

기후변화대응연구센터



충청남도 서해안기후환경연구소



2019. 06

학교 미세먼지 저감을 위한 통합관리방안 구축 사전조사 연구

2019. 06



Contents

목차	i
표목차	iii
그림목차	v
 1장 연구개요	 3
1. 연구배경 및 목적	3
2. 연구방법	6
 2장 학교 관련 공기질 관리 현황	 11
1. 학교 실내공기질 관리 기준	11
2. 학교 실내공기질 관련 연구 동향	15
 3장 학교 교실 내 미세먼지 현황	 19
1. 측정개요	19
2. 학교 실내공기질 측정결과 : A 학교	21
3. 학교 실내공기질 측정결과 : B 학교	24
4. 학교 실내공기질 측정결과 : C 학교	27
5. 미세먼지 관련 학생 설문조사	30
 4장 학교 미세먼지 관리를 위한 정책제언	 36
1. 학교 실내 필요환기량 제안	36
2. 교실 내 미세먼지 관리방안 및 정책제언	39

[부록]

A. 설문조사지	47
B. 설문조사 결과	48
C. 학교 미세먼지 교육자료	51
D. 교실별 실내공기질 측정결과	52

표목차

[표 1] 측정대상 학교 교실의 개요	7
[표 2] 측정일정 및 시간	7
[표 3] 학교 교실 공기질 유지기준	13
[표 4] 학교 교실 공기질 관리기준	14
[표 5] 학교 실내공기질 관리 연구동향	15
[표 6] 학교 실내공기질 측정에 사용된 실시간 측정장비	20
[표 7] 수업시간과 쉬는시간에 대한 오염물질별 농도값 (A 학교)	22
[표 8] 수업시간과 쉬는시간에 대한 오염물질별 농도값 (B 학교)	25
[표 9] 수업시간과 쉬는시간에 대한 오염물질별 농도값 (C 학교)	28
[표 10] 각 교실별 총 필요환기량과 공기교환 횟수	38

그림목차

[그림 1] 국내 활동지수 조사 자료 (환경부)	3
[그림 2] 연도별 학교와 학생 수 증가추세 (2011~2018년)	4
[그림 3] 측정대상 학교 위치와 교실의 배치도	6
[그림 4] 학교 실내공기질 관련 연구동향 분석 결과	16
[그림 5] A 학교 실내공기질 측정 모습	22
[그림 6] A 학교 실내공기질 측정 결과	23
[그림 7] B 학교 실내공기질 측정 모습	25
[그림 8] B 학교 실내공기질 측정 결과	26
[그림 9] C 학교 실내공기질 측정 모습	28
[그림 10] C 학교 실내공기질 측정 결과	29
[그림 11] 초·중·고등학생을 대상으로 한 설문조사 결과	32
[그림 12] 학교 맞춤형 공기청정기 개발 및 보급	41
[그림 13] 공조설비를 활용한 교실 내 공기질 관리	42
[그림 14] 공기청정기 운영관리 메뉴얼 예시	43
[그림 15] 생활환경을 고려한 교실 내 공기질 관리방안 제시	37

제 1 장

연구개요

1. 연구배경 및 목적
2. 연구방법

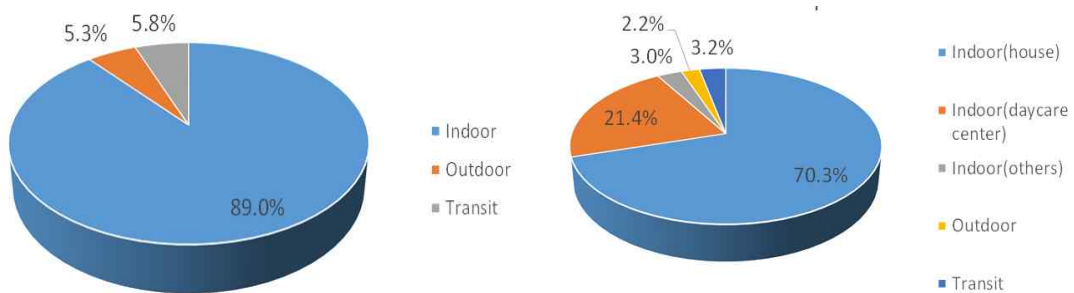
제 1 장

연구개요



1. 연구배경 및 목적

환경기술(Environmental Technology, ET)은 미래유망신기술산업 6T에 포함될 만큼 전 세계적으로 각광받는 기술이다. 산업혁명 이후 과대한 화석연료 사용으로 국지적인 대기오염사건들이 발생하고 시작하였고, 런던스모그나 LA 스모그 같은 불특정 다수가 사망하거나 피해를 받기 시작하자 전 세계적으로 대기환경 개선에 대한 노력이 요구되었다. 50~60년대에는 주 연료인 석탄/석유의 사용과정에서 정제되지 않은 황산화물과 조대한 부유먼지(total suspended particulate, TSP)가 문제가 되었으나, 유연탄 사용 의무화 및 석유의 정제기술 개발, 후처리기술 적용 등에 의해 점차 감소되어 왔다. 하지만 자동차 등록대수 증가와 기후변화 및 오존층 파괴 등으로 질소산화물과 오존, 미세먼지(particulate matter less than 10 μm , PM₁₀)와 같은 선진국형 오염물질이 증가 하였고, 이러한 오염물질들은 기존 오염물질에 비해 인체위해성이 더욱 큰 것으로 밝혀지면서 이에 대한 대책 마련이 요구되고 있다.

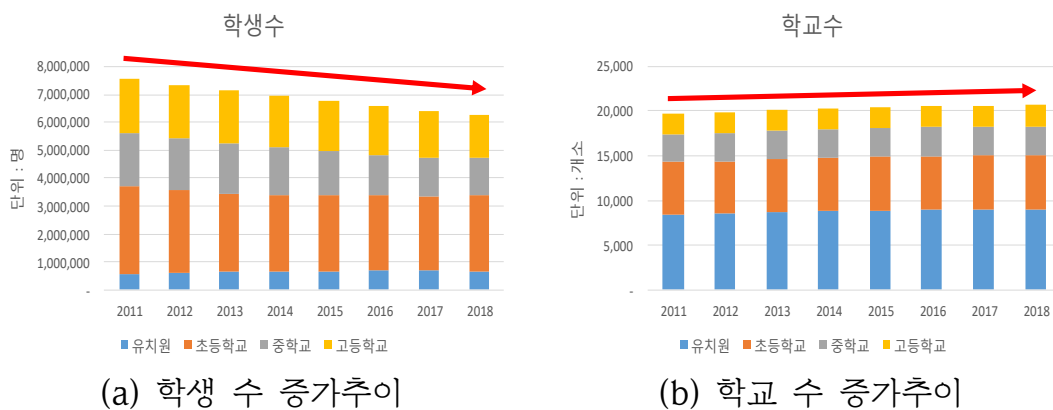


(a) 한국노출계수 핸드북(2007) (b) 어린이 노출계수 핸드북 (2016)

[그림 1] 국내 활동지수 조사 자료 (환경부)

이와 더불어 현대인들의 행동영역 조사 결과 하루 중 대부분의 시간(89%)을 실내(가정집, 회사, 대중교통 등)에서 생활한다는 결과가 보고되면서 실내환경에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 취약계층인 영유아와 청소년들의 교육시설인 어린이집, 유치원, 학교 등에서 하루 5.13시간을 보내는 것으로 나타나 취약계층 생활공간에 대한 관리방안 마련이 시급한 것으로 나타났다(그림 1). 성장기에 있는 어린이나 청소년의 경우 내부 장기들과 조직들이 아직 미성숙하여 환경오염에 노출될 경우 다양하고 복합적인 피해를 받을 수 있어 노출빈도를 최소화하는 것이 바람직하다.

최근 대기오염 노출에 따른 성장기 어린이들에 대한 연구결과가 지속적으로 보고되고 있는데, Jung et al (2012)은 미세먼지와 검댕(black carbon, BC)에 노출됨에 따라 어린이들의 천식 발병과 호흡량 감소를 보고하였고, Urman et al (2013)은 대기오염 지수가 증가할수록 어린이들의 폐기능 저하를 확인하였다. Ceretti et al (2014)은 고농도 도시대기 오염물질 노출 시 구강 내 점막세포의 DNA 손상을 유발시키며, Morgenstern et al (2008)은 대중교통수단과 관련 대기오염 노출시 민감성 알러지와 아토피 피부염 등이 증가한다고 보고하였다.



[그림 2] 연도별 학교와 학생 수 증가추세 (2011~2018년)

우리나라는 결혼적령기 계층의 혼인을 감소와 경제성장 정체, 장기불황에 따른 생활경기 침체에 의해 출산율이 점차 감소하여 사회적인 문제로 대두되고 있다. 교육부 자료에 따르면 2011년 7,551,681명이던 학생 수는 2018년 6,260,247명으로 17% 감소한 것으로 나타났다. 하지만 반대로 교육환경 개선과 신규 학교 개설로 인해 2011년 19,741개소였던 학교 수는 2018년 20,657

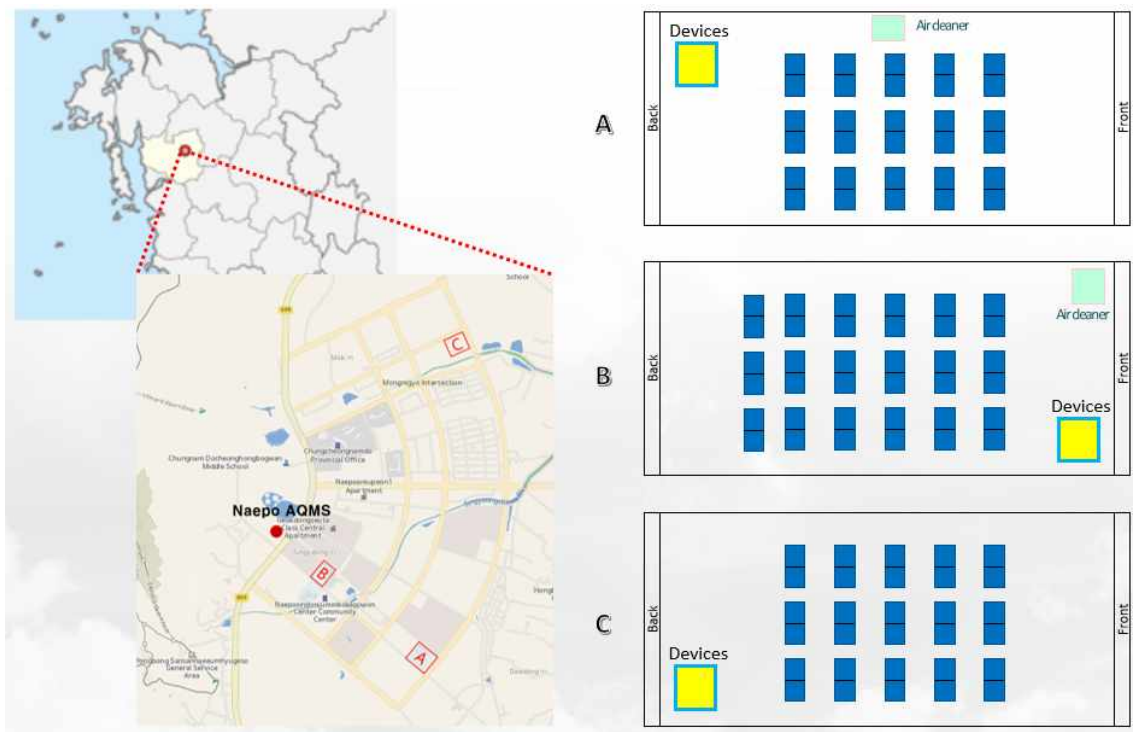
개소로 약 5% 증가한 것으로 나타났다(그림 2). 과거에 비해 관리 대상은 감소하였지만 반대로 관리해야 되는 공간은 증가한 것이다. 학교 실내공기질 개선을 위한 통합관리 차원에서 학생 생활패턴에 대한 정확한 정보와 국가 정책방안, 현장 데이터를 기반으로 한 자료 구축이 필요하다. 하지만 충청남도의 경우 화력발전소나 산업단지, 대규모 배출시설 등에 가려져 아직까지 학교와 같은 취약계층 생활환경에 대한 연구가 미미한 실정이다.

이에 본 연구에서는 학교 실내공기질 통합 관리방안 마련을 위한 기초자료 확보를 위해 내포신도시 내 일부 학교를 대상으로 실내공기질 사전조사 연구를 수행하였다.



2. 연구방법

학교 미세먼지 저감을 위해 공기청정기 보급이나 환기창 설치 등 제한적이고 단편적인 대안마련 보다는 장기적이고 효율적인 통합관리방안 마련이 필요하다. 최근 현안문제 해소를 위해 제공되고 있는 공조설비, 공기청정기나 환기창 등의 보급을 위한 초기투자 비용부터, 공조설비 운영 및 공기청정기 필터 유지관리 비용과 같은 장기적인 비용, 그리고 가장 중요한 학교 교실 내 공기질 현황 파악이 동반되어야 한다. 특히 그 동안 수행되어왔던 학교 실내공기질에 대한 연구는 대부분 학교 보건법 상의 유지·권고기준 초과여부 판단에 목적을 둔 연구여서 학생들의 생활 활동도에 초점이 맞춰진 실시간 농도변화 자료가 필요하다. 본 연구에서는 통합관리방안 구축을 위한 사전조사 연구의 일환으로 초등·중·고등학교를 대상으로 실내공기질 측정과 학생들의 기초적인 정보수준 조사를 위한 설문조사를 실시하였다. 그림 3은 대상으로 선정된 학교의 위치와 교실 배치도를 나타낸 것이다.



[그림 3] 측정대상 학교 위치와 교실의 배치도

사전 조사과정에서 연구 편의를 위해 본 연구소가 위치한 내포신도시 내에 위치한 학교에 사전 동의를 구해 초등, 중, 고등학교 각 1개소의 1개 학급을 대상으로 선정하였다. 각 교실별 대표 측정값을 얻기 위해서는 학교의 구조와 층수, 측정 위치 등을 고려되어야 한다. 하지만 본 연구의 목적이 정밀조사가 아닌 사전조사의 의미를 띠고 있고, 학생들의 수업에 불편함을 최소화하기 위해 각 학교에서 주어진 환경에 맞춰 학급을 선정하였다. 측정장비는 교실 구조와 측정자의 경험을 토대로 그 교실의 공기질을 대표할 수 있을 것으로 판단되는 위치에 설치하여 연구를 진행하였다. A 학교와 B 학교는 동일 사양의 공기청정기가 설치되어 운영 중에 있었고, C 학교의 경우 공기청정기가 설치되어 있지 않았다. 각 학교별 특성은 표 1에 나타냈다.

[표 1] 측정대상 학교 및 교실의 개요

	준공일	교실면적	학생수
A (초등학교)	2016.08	8.5x6.8x2.6 (150.28 m ³)	27
B (중학교)	2013.03	8.2x7.2x2.6 (153.50 m ³)	32
C (고등학교)	2018.12	8.8x7.2x2.6 (164.74 m ³)	24

측정은 실시간 측정 장비를 활용하여 24시간 연속 측정을 원칙으로 하였으나, 2개 학교에서 스마트 절전시스템을 도입하여 일과시간 이외에는 각 교실 전원이 차단되도록 되어 있어 각 학교별 차단 및 공급 시간에 맞춰 장치를 가동 하였고, 각 학교별 학사일정에 맞춰 2019년 4월부터 5월 사이 약 3일간 진행하였다. 측정 완료 후 각 학교별로 실내공기질 측정결과와 미세먼지 대응대책에 대해 설명하는 자리를 마련하였고, 이 과정에서 학생들의 미세먼지에 대한 정보획득 경로와 지식수준에 대해 설문조사를 실시하였다. 측정 관련된 세부내용은 표 2에 나타냈다.

[표 2] 측정일정 및 시간

	측정일정	시간	비고
A (초등학교)	2019.04.23.(화)~04.25(금)	08:00~16:00	스마트 절전
B (중학교)	2019.05.07.(화)~04.09(목)	08:00~18:00	스마트 절전
C (고등학교)	2019.04.16.(화)~04.18(목)	24시간 연속측정	

제2장

학교 관련 공기질 관리 현황

1. 학교 실내공기질 관리 기준
2. 학교 실내공기질 관련 연구동향

제2장

학교 관련 공기질 관리 현황



1. 학교 실내공기질 관리 기준

국내에서는 환경문제가 대두되자 1973년 국가차원에서 위생국 내 공해과를 신설하여 관리를 시작 하였고, 1980년에는 이를 확대·승격시켜 환경청을 발족하였다. 1990년에는 <환경정책 기본법>과 <대기환경보전법>이 제정 되었으며, 1996년에는 실내 환경 관련 최초법인 <지하생활공간 공기질 관리법>이 제정되었다. 하지만 초기 <지하생활공간 공기질 관리법> 법은 1980년대 후반부터 도시 지상공간의 활용도 증가를 위해 도시철도나 지하도 등이 생겨나면서 이러한 지하 생활공간 공기질 관리를 위해 SO₂와 CO, NO₂를 포함한 7개 항목이 선정되었고, 위치 특성상 일반 대기환경 기준에 비해 기준치가 높게 설정되었다. 1967년 학교 보건관리를 위해 <학교 보건법>이 제정되어 교사 내 공기오염이나 환기, 조명, 온·습도를 포함한 환경 및 식품위생을 관리하도록 하였으나, 초창기에는 아직 관련 세부 시행령이나 시행규칙은 제정되지 못했다. 이러한 가운데 2002년 <학교 보건법> 시행규칙이 제정되면서 이산화탄소와 소음, 미세먼지 등 3가지 오염물질에 대한 기준이 신설되었고, 2005년 동 법 4조 2항과 시행규칙 별표 4의 2가 신설되면서 총 11가지의 오염물질을 대상으로 유지·관리기준을 지정하였다. 관련된 내용은 아래와 같다

<학교 보건법> 4조 2 (공기질 유지·관리 특례)

- ① 학교의 장은 제4조제2항에 따른 공기 질의 위생점검을 **상·하반기에 각각 1회 이상 실시**하여야 한다.
- ② 학교의 장은 제4조제2항 및 제3항에 따라 교사 안에서의 공기 질을 측정하는 장비에 대하여 교육부령으로 정하는 바에 따라 **매년 1회 이상 정기적으로 점검**을 실시하여야 한다.

2019년 4월에는 동법 4조 3항이 신설되었으며, 이와 관련하여 “학교 공기정화장치 설치 및 사용기준”이 지정되어 2019년 7월부터 시행 계획 중에 있다. 학교 보건법 시행규칙 별표 4의 2는 2019년 7월 최신 개정 예정 중에 있으며, 총 12개의 항목을 대상으로 교실 공기질 등의 유지·관리 기준을 설정하고 있다(표 3, 4).

교실 내 입자상 오염물질 관련 기준은 2002년 <학교 보건법> 시행규칙이 제정되면서 미세먼지를 기준으로 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 지정되었다가, 2005년 기존 3가지 오염물 외 8종의 관리기준이 신설되면서 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 강화되었다. 이후 2018년 초미세먼지($\text{PM}_{2.5}$) 항목이 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 기준으로 지정되었고, 2019년 7월을 기준으로 PM_{10} 의 기준이 강화되어 현재는 PM_{10} $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{PM}_{2.5}$ $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 관리되고 있다.

<학교 보건법> 4조 3 (공기정화설비 등의 설치)

학교(「고등교육법」 제2조에 따른 학교는 제외한다)의 장은 교사 안에서의 공기 질 관리를 위하여 교육부령으로 정하는 바에 따라 **각 교실에 공기를 정화하는 설비 및 미세먼지를 측정하는 기기를 설치**하여야 한다.

조사결과 충청남도는 2018년 8월 충청남도 내 국공립·사립 학교를 대상으로 공기청정기 보급을 완료하였으나, 아직까지 실내 미세먼지 간이 측정기의 경우는 설치되지 않은 것으로 나타났다.

[표 3] 학교 교실 공기질 유지기준

오염물질 항목	기준(이하)	적용시설	비고
미세먼지	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	모든 교실	직경 2.5 μm 이하 먼지
	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	모든 교실	직경 10 μm 이하 먼지
이산화탄소	1,000 ppm	모든 교실	해당 교실이 기계환기장치를 이용하여 주된 환기를 하는 경우 1,500 ppm 이하
폼알데하이드	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	모든 교실	
총부유세균	800 CFU/ m^3	모든 교실	
낙하세균	10 CFU/ m^3	보건실, 식당	
일산화탄소	10 ppm	개별 난방 교실 및 도로변 교실	난방 교실은 직접연소방식의 난방 교실로 한정
이산화질소	0.05 ppm	개별 난방 교실 및 도로변 교실	난방 교실은 직접연소방식의 난방 교실로 한정
라돈	148 Bq/ m^3	1층 이하 교실	
총휘발성 유기화합물	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	건축한 때부터 3년이 경과되지 아니한 학교	건축에는 증축 및 개축 포함
석면	0.01 개/cc	「석면안전관리법」 제22조 제1항 후단에 따른 석면 건축물에 해당하는 학교	
오존	0.06 ppm	교무실 및 행정실	적용시설 내에 오존을 발생시키는 사무기기가 있는 경우로 한정
진드기	100 마리/ m^3	보건실	

[표 4] 학교 교실 공기질 관리기준

대상시설	중점관리기준
신축 학교	1) 「실내공기질 관리법」 제11조제1항에 따라 오염물질 방출 건축자재를 사용하지 않을 것 2) 교사 안에서의 원활한 환기를 위하여 환기시설을 설치할 것 3) 책상·의자 및 상판 등 학교의 비품은 「산업표준화법」 제 15조에 따라 한국산업표준 인증을 받은 제품을 사용할 것 4) 교사 안에서의 폼알데하이드 및 휘발성유기화합물이 유지기준에 적합하도록 필요한 조치를 강구하고 사용할 것
개교 후 3년 이내인 학교	폼알데하이드 및 휘발성유기화합물 등이 유지기준에 적합하도록 중점적으로 관리할 것
개교 후 10년 이상 경과한 학교	1) 미세먼지 및 부유세균이 유지기준에 적합하도록 중점 관리할 것 2) 기존 시설을 개수 또는 보수하는 경우 「실내공기질 관리법」 제11조제1항에 따라 오염물질 방출 건축자재를 사용하지 않을 것 3) 책상·의자 및 상판 등 학교의 비품은 「산업표준화법」 제 15조에 따라 한국산업표준 인증을 받은 제품을 사용할 것
「석면안전관리법」 제22조제1항 후단에 따른 석면건축물에 해당하는 학교	석면이 유지기준에 적합하도록 중점적으로 관리할 것
개별 난방(직접 연소 방식의 난방으로 한정한다) 교실 및 도로변 교실	일산화탄소 및 이산화질소가 유지기준에 적합하도록 중점적으로 관리할 것
식당	낙하세균이 유지기준에 적합하도록 중점적으로 관리할 것
보건실	낙하세균과 진드기가 유지기준에 적합하도록 중점적으로 관리할 것



2. 학교 실내공기질 관련 연구동향

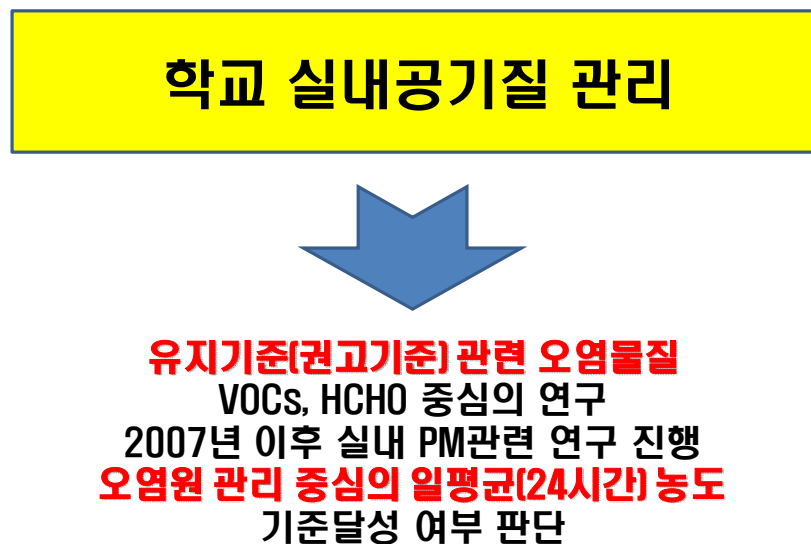
학교관련 연구동향 파악을 위해 국내 학교를 대상으로 보고된 논문을 검색하였다. 2006년부터 2018년까지 12년 동안 국내 발간된 게재논문을 대상으로 하였고, 실내환경학회, 대기환경학회, 에어로졸학회와 논문검색 포털 디비피아에서 검색어 #학교, #실내, #실내공기질, #교실로 하여 검색하였다. 표 5는 검색된 연구결과들을 연도별로 나열한 것이다.

[표 5] 학교 실내공기질 관리 연구동향

저자 (연도)	입자상 오염물질	측정방법	그 외 오염물질
황윤정 외 (2006)	—		HCHO
유종훈 외 (2006)	—		HCHO, VOCs
김성겸 외 (2007)	—		CO ₂ , HCHO, VOCs
김대섭 외 (2007)	—		HCHO, VOCs
노영만 외 (2007)	—		석면
김윤덕 (2007)	PM ₁₀	중량법/일평균	VOCs, HCHO, CO, CO ₂ , Rn, TAB,
송진용 외 (2008)	—		HCHO, VOCs
김호현 외 (2008)	—		바닥먼지(세균과 진균), HCHO, VOCs
강승아 외 (2008)	—		HCHO, VOCs
손종렬 외 (2009)	PM ₁₀	중량법/일평균	CO, CO ₂ , TBC, VOCs, HCHO
김윤덕 외 (2010)	PM ₁₀	중량법/일평균	TVOC, HCHO, CO, CO ₂ , TAB, Rn,
이종대 외 (2010)	—		HCHO, VOCs
김호현 외 (2011)	—		VOCs
김호현 외 (2012)	—		HCHO
이규선 외 (2012)	—		Rn
이청수 외 (2013)	PM ₁₀ , PM _{2.5}	중량법/일평균	BC, HCHO, VOCs
장한성 외 (2013)	PM ₁₀	중량법/일평균	HCHO, TAB, NO ₂ , CO, CO ₂ , O ₃ ,
오수진 외 (2014)	—		Rn
유희선 외 (2014)	—		HCHO, VOCs
갈원모 외 (2014)	—		VOCs
강희주 외 (2014)	—		
오현주 외 (2014)	—		석면

김기연 외 (2014)	바닥먼지 (중금속, 세균)	광산란/일평균	
정준식 외 (2014)	PM ₁₀	중량법/일평균	TBC
전병학 외 (2015)	-		CO ₂ , TAB
곽윤경 외 (2015)	PM ₁₀	광산란/일평균	HCHO, VOCs
박시현 외 (2018)	PM ₁₀ , PM _{2.5}	광산란/일평균	

검색결과 28건의 연구결과가 확인되었다. 오염물질별로는 포름알데하이드(HCHO)와 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)가 각각 16회와 15회로 가장 많이 검색되었고, PM₁₀ 8회, CO₂ 6회 검색되었다. 90년대 후반들어 새집증후군(sick building syndrome, SBS)과 환경성 질환(아토피, 천식) 등의 원인물질로 HCHO와 VOCs가 집중 받기 시작하자 이에 대한 연구가 가장 활발히 이루어졌고, 이 무렵 친환경 건축자재와 마감재에 대한 홍보와 정부의 노력으로 많은 기술개발과 제품 성능향상을 가져왔다. 이후 실내공기질의 지표물질로 알려져 있는 PM₁₀과 CO₂에 대한 연구가 이루어지기 시작했고, 기간대별 이슈에 따라 라돈이나 석면 등이 연구 주제로 떠오기도 하였다. 최근에는 기존 SBS에 추가적으로 부유세균이나 미생물이 오래된 건물에서 문제가 될 수 있다는 헌집증후군(old building syndrome, OBS)가 문제시 되면서 이에 대한 연구 또한 빈번히 관찰되고 있다. 그림 4는 본 동향조사를 수행하면서 나타난 특성을 요약한 것이다.



[그림 4] 학교 실내공기질 관련 연구동향 분석 결과

제 3 장

학교 교실 내 미세먼지 현황

1. 측정개요
2. 학교 실내공기질 측정 결과 : 초등학교
3. 학교 실내공기질 측정 결과 : 중학교
4. 학교 실내공기질 측정 결과 : 고등학교
5. 미세먼지 관련 학생 설문조사

제3장

학교 교실 내 미세먼지 현황



1. 측정개요

본 연구를 수행함에 있어 고려된 사항은 2가지이다.

첫 번째, 최근 고농도 미세먼지 발생사례 증가에 따라 미세먼지에 대한 대응 방안이 시급하고, 그 중 취약계층인 학교를 대상으로 미세먼지 관리방안 마련이 시급하다.

두 번째, 앞서 최근 학교관련 연구동향 조사에서 나타난 것처럼 학교관련 연구들은 대부분 유지 및 권고 기준을 대상으로 초과여부 판단을 목적으로 진행되고 있으며, 이러한 연구결과는 학생들의 생활특성을 전혀 고려하지 않은 결과이므로 관리방안 마련을 위한 기초자료로 활용하기 어렵다.

위 2가지 고려사항을 바탕으로 우리는 실시간 측정 장비를 활용하여 교실 내 학생들의 생활패턴(수업시간, 쉬는시간, 수업 활동도, 환기, 청소, 공기청정기 가동여부 등)을 고려한 연구를 수행하였다. 주변 외기의 영향과 실내 농도변화를 종합적으로 분석하기 위해 24시간 연속측정을 원칙으로 하였으나, 최근 지어진 학교의 경우 수업시간 외 교실 내 대기전력을 차단하는 스마트 전력공급 방식을 채택함에 따라 대상 학교 3개소 중 1개소를 제외한 2개 학교에서 24시간 연속 측정을 할 수 없었다. 이에 생산된 데이터의 비교 분석을 위해 공동 측정구간인 오전 8시부터 오후 4시까지를 분석 대상구간으로 선정하였다. 입자상 오염물질의 경우 현 공정시험법상 베타선 흡수법이나 중량농도법을 사용하도록 되어 있으나 이러한 방법들은 측정 정확도가 높은 반면 실시간 농도변화

를 확인할 수 없어 이번 연구에서는 광산란방식의 장비를 채용하여 교실에서 실시간으로 수 농도를 측정한 뒤 얻어진 데이터를 경험식으로 변환한 PM₁₀과 PM_{2.5} 값으로 표시하였다. 입자상 물질 측정에는 10~700 nm 범위의 입자 개수 농도와 폐 침착면적을 측정할 수 있는 Discmini (model Matter aerosol AG, Testo)와 0.25~32 μm 범위의 입자 개수농도와 입경분포를 측정할 수 있는 portable aerosol spectrometer (PAS, model 1.109, Grimm)을 사용하였고, 온·습도와 실내 CO₂ 측정을 위해서는 CO₂ meter (TES 1370, TES)을 사용하였다. 측정 장비는 각각 10초, 1분, 1분 단위로 데이터를 저장하여 분석을 실시하였다. 표 6은 본 측정에 활용 된 장비들의 주요 사양이다.

[표 6] 학교 실내공기질 측정에 사용된 실시간 측정 장비

	Discmini	PAS	CO ₂ meter
측정방법	전자이동분석법	광산란분석법	비분산적외선법
측정항목	개수농도, 폐 침착면적	개수농도, 입경분포	온·습도, CO ₂
측정범위	20~700 nm	0.25~32 μm	0~6,000 ppm
유량	1.0 LPM	1.2 LPM	수동 확산방식
최소저장주기	1초	6초	1초
크기	12x8x4 cm	24x13x7 cm	16x7x4 cm
무게	0.7 kg	2.4 kg (бат데리포함)	0.3 kg
사진			



2. 학교 실내공기질 측정 결과 : A 학교

A 학교는 2016년 8월에 완공된 초등학교로 대상 교실은 총 5층 건물 중 4층에 위치하고 있다. 교실은 가로 8.5 m, 세로 6.8 m 높이 2.6 m의 면적(150.28 m²)에 27명의 학생이 수업을 듣고 있었다. 위치적으로 학교 동쪽에는 주요 도로가 위치하고 있으나 교통량은 적은 편이었고, 그 외 지역은 대단위 아파트 단지가 위치하고 있어 동쪽 도로변 이동오염원 외에는 특별한 오염원이 존재하진 않았다.

측정대상 교실은 학생들이 8시부터 등교하여 하루 일과를 시작해 9시 수업 시작, 한 수업 당 40분 수업, 10분 휴식을 반복하였다. 12시 10분부터 13시 10분까지 1시간 동안 점심시간을 가진 뒤 13시10분부터 월, 수, 금요일은 13시 50분까지 5교시를, 화, 목요일은 14시 40분까지 6교시를 진행하였다. 그림 6은 3일 동안 오전 8시부터 16시까지 교실에서 측정된 PM₁₀과 PM_{2.5}, CO₂ 농도를 나타낸 것이다.

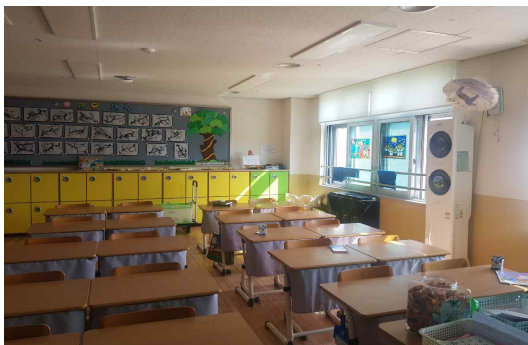
측정 대상 3일 모두 오전 8시 10분경부터 PM₁₀과 CO₂의 농도가 같이 상승하였고, PM₁₀ 기준 일 중 최대농도는 대부분 오전 등교시간 때 확인되었다. 일 평균 PM₁₀ 농도는 2일차가 39.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮게 나타났고, 1일차와 3일차는 각각 53.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 62.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유사한 수준을 보였다. CO₂는 첫 째날 11시 30분경 3,207 ppm으로 최대 농도를 보였고, 일 평균농도도 3일 동안 각각 1,541 ppm, 938 ppm, 1,173 ppm으로 대부분 <학교 보건법> 시행규칙의 기준치인 1,000 ppm을 상회하거나 유사하게 나타났다. 이는 공기청정기에 의존한 실내공기질 관리에 의해 환기가 적절히 이뤄지지 않아 나타난 현상으로 판단된다. 측정기간 전체에 대한 PM₁₀ 농도는 51.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 대상 위치로부터 약 1.4 km 떨어진 도시대기측정소(air quality monitoring station, AQMS)에서 측정된 42.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 8.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 나타났다. PM_{2.5}는 측정 전체구간 대상 18.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 것에 반해 AQMS에서는 27.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 반대로 측정소가 더 높게 나타났다.

표 7은 측정 3일 동안의 PM₁₀, PM_{2.5}, CO₂를 대상으로 수업 시간과 쉬는 시간으로 구분하여 산출한 결과이다. PM₁₀은 수업시간 대비 쉬는시간이 1.12배

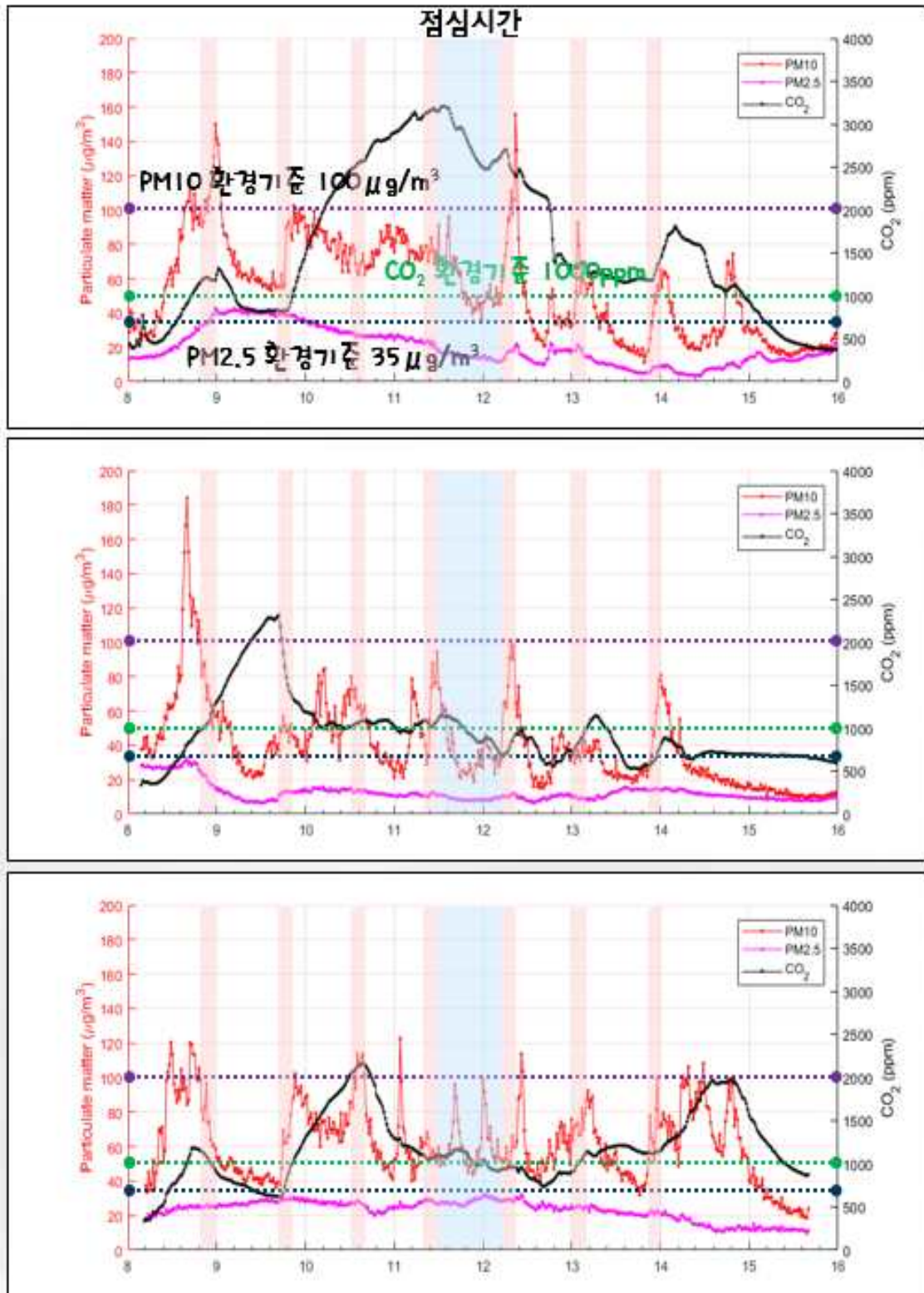
높게 나타났고, PM_{2.5}는 1.07배 높게 나타났다. 이는 정적인 수업시간에 비해 상대적으로 활동량이 많아지는 쉬는시간에 학생들의 활동에 의해 바닥에 가라앉아 있던 조대입자들이 비산되면서 나타난 결과로 판단되며, 그림 6에서도 PM_{2.5}에 비해 PM₁₀의 쉬는시간대 농도상승을 좀 더 명확히 확인할 수 있다. CO₂의 경우 일반적으로 교실 문이 열리고 재실자들의 이탈이 발생하는 쉬는시간대 교실의 농도가 급격히 감소하는 것이 일반적이나 측정결과에서는 거의 유사한 수준을 나타냈다. 이는 쉬는시간 조차 환기가 잘 이루어지지 않고 있다는 것을 의미하는 것으로 본 교실에서는 입자상 오염물질에 대한 관리나 농도 수준은 잘 유지되고 있으나 CO₂에 대해서는 좀 더 적극적인 환기대책이 수립되어야 한다는 것을 확인 할 수 있었다.

[표 7] 수업시간과 쉬는시간에 대한 오염물질별 농도값 (A 학교)

	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		CO ₂ (ppm)	
	수업시간	쉬는시간	수업시간	쉬는시간	수업시간	쉬는시간
A 학교	55.7	62.6	19.1	20.4	1,428	1,441



[그림 5] A 학교 실내공기질 측정 모습



[그림 6] A 학교 실내공기질 측정 결과



3. 학교 실내공기질 측정 결과 : B 학교

B 학교는 2013년 3월에 완공된 중학교로 대상 교실은 총 4층 건물 중 2층에 위치하고 있다. 교실은 가로 8.2 m, 세로 7.2 m 높이 2.6 m의 면적 (153.50 m^2)에 세 대상 교실 중 가장 많은 32명의 학생이 수업을 듣고 있었다. 위치적으로 학교 동쪽에는 고등학교가 위치하고 있고, 북쪽과 동쪽에는 아파트 단지가 위치하고 있다. 남쪽은 아파트 예정부지가 있으나 아직 공사는 진행 중에 있지 않고, 대신 서쪽 아파트 단지 뒤로 약 400 m 뒤에 홍성에서 내포신도시로 연결되는 주요 메인도로가 위치하고 있어 차량 이동에 따른 영향을 많이 받을 것으로 예상된다.

측정대상 교실은 학생들이 8시부터 등교하여 하루 일과를 시작해 8시 50분부터 수업 시작, 한 수업 당 45분 수업, 10분 휴식을 반복하였다. 12시 20분부터 13시 30분까지 1시간 10분 동안 점심시간을 가진 뒤 13시30분부터 16시 05분까지 7교시 수업을 진행하였다. 그림 8은 3일 동안 오전 8시부터 18시까지 교실에서 측정된 PM_{10} 과 $\text{PM}_{2.5}$, CO_2 농도를 나타낸 것이다.

앞서 A 학교에서 하루 중 PM_{10} 최대농도가 등교시간에 나타난 것에 반해 B 학교는 최대 농도가 점심시간대와 쉬는 시간에 확인되었다. 일평균 PM_{10} 농도는 3일 내내 $51.4 \sim 53.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유사하게 나타났고, $\text{PM}_{2.5}$ 도 약간의 차이는 있지만 $7.5 \sim 10.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 비슷한 경향을 보였다. 하지만 일중 최대농도는 1일차 $166.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2일차 $217.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 3일차 $170.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 일평균 농도보다 3~4배 높게 나타났다. $\text{PM}_{2.5}$ 의 경우는 $15.8 \sim 20.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 약 2배정도 차이가 났지만 PM_{10} 에 비해 농도 차이는 크지 않았다. CO_2 는 첫째날 12시 10분 경 3,509 ppm으로 최대 농도를 보였고, 일평균농도도 3일 동안 각각 1,047 ppm, 984 ppm, 1,184 ppm으로 앞서 A 학교와 마찬가지로 <학교 보건법>의 유지기준을 상회하거나 유사하게 나타났다. 하지만 기존 A 학교의 경우 대부분의 구간에서 환기에 의한 희석효과가 보이지 않은 반면, B 학교는 점심시간이나 쉬는시간 등 일정한 주기를 두고 환기를 통한 CO_2 저감 효과를 확인 할 수 있었다. 측정기간 전체에 대한 PM_{10} 농도는 $52.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 대상 위치로부터 약 0.4 km 떨어진 AQMS에서 측정된 $39.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 $13.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 나타났

다. $PM_{2.5}$ 는 B 학교 교실에서 전체 측정기간 대상 $9.2 \mu g/m^3$ 인 것에 반해 AQMS에서 $13.3 \mu g/m^3$ 으로 나와 A 학교와 마찬가지로 측정소가 더 높게 나타났다.

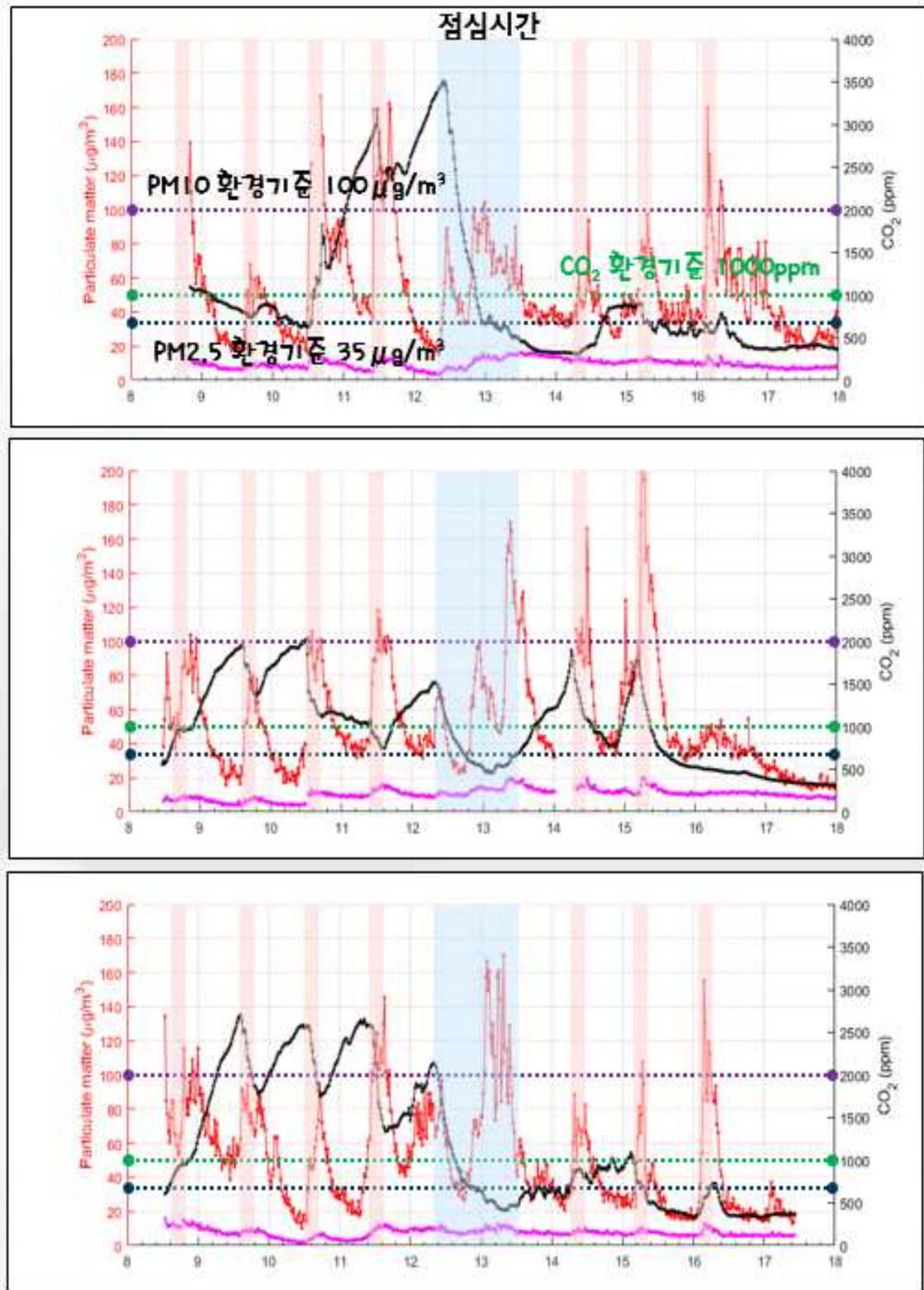
표 8은 측정 3일 동안의 PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO_2 를 대상으로 수업 시간과 쉬는 시간으로 구분하여 산출한 결과이다. PM_{10} 은 수업시간대비 쉬는시간이 1.79배 높게 나타났고, $PM_{2.5}$ 는 1.20배 높게 나타났다. 이는 앞서 A 학교와 마찬가지로 원인인 것으로 판단되며, 다만 A 학교가 초등학생들인 것에 반해 B 학교는 상대적으로 덩치 큰 중학생이다 보니 왕성한 활동량에 따라 가라앉아 있던 먼지들의 비산량이 더 많아지면서 나타난 결과로 판단된다. 그림 8에서 A 학교의 PM_{10} 농도변화에 비해 B 학교의 수업시간과 쉬는 시간대 농도변화가 더욱 명확히 확인되는 것을 볼 수 있다. CO_2 의 경우 A 학교에 비해 비교적 환기에 따른 농도 감소가 뚜렷히 보이나 B 학교 역시 일 평균농도가 기준치인 1,000 ppm 이상이거나 유사한 수준으로 나타나 A 학교와 마찬가지로 CO_2 관리에 문제가 있는 것으로 확인되었다.

[표 8] 수업시간과 쉬는시간에 대한 오염물질별 농도값 (B 학교)

	$PM_{10} (\mu g/m^3)$		$PM_{2.5} (\mu g/m^3)$		CO_2 (ppm)	
	수업시간	쉬는시간	수업시간	쉬는시간	수업시간	쉬는시간
B 학교	47.9	85.8	8.8	10.6	1,403	1,256



[그림 7] B 학교 실내공기질 측정 모습



[그림 8] B 학교 실내공기질 측정결과



4. 학교 실내공기질 측정 결과 : C 학교

C 학교는 세 학교 중 가장 최근에 지어져 2018년 12월에 완공된 고등학교로 대상 교실은 총 4층 건물 중 2층에 위치하고 있다. 교실은 가로 8.8 m, 세로 7.2 m 높이 2.6 m의 면적 (164.74 m²)에 세 대상 교실 중 가장 적은 24명의 학생이 수업을 듣고 있었다. 위치적으로 학교 동쪽에는 2층 단독주택들이 군락을 이루고 있고, 북쪽과 서쪽으로는 초, 중학교와 상업건물들이, 남쪽으로는 동쪽과 마찬가지로 단독주택들과 근린공원이 위치하고 있다. 주변에 간선도로들이 있지만 아직 완성되지 않아 통행량을 미미한 편이다.

측정대상 교실은 학생들이 8시부터 등교하여 하루 일과를 시작 8시 40분부터 한 수업 당 50분 수업 10분 휴식을 반복하였다. 12시 30분부터 13시 30분까지 1시간 동안 점심시간을 가진 뒤 13시30분부터 16시 20분까지 7교시 수업을 진행하였다. 그림 10은 3일 동안 오전 8시부터 18시까지 교실에서 측정된 PM₁₀과 PM_{2.5}, CO₂ 농도를 나타낸 것이다. C 학교 역시 앞서 A, B 학교와 마찬가지로 수업시간과 쉬는 시간대간 농도 차이가 크게 나타났으며, 최대농도는 측정대상인 3일 모두 다른 시간대에 나타나 어떠한 일반적인 변화패턴이 있다가 보다는 내·외부 활동에 따른 영향특성이 더 큰 것으로 확인되었다.

일평균 PM₁₀ 농도는 1일차와 2일차 각각 38.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 36.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유사한 수준이었으나, 3일차에는 29.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 소폭 감소한 것으로 나타났다. 주변 AQMS 데이터 또한 1, 2일차에서 30.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 33.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 것에 반해 3일차에는 21.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 감소한 것으로 보아 이는 외부 미세먼지 농도에 따른 영향인 것으로 판단된다. 하지만 PM_{2.5}의 경우 측정기간 8.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 11.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였고, 외부 AQMS 또한 7.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 11.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 1일차에서 2일차로 넘어가면서 소폭 상승 후 2, 3일차는 유사한 수준을 유지하였다. 측정 전체 기간을 대상으로는 실내 PM₁₀이 34.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, AQMS가 28.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 실내가 약 1.2배 정도 높게 나타난 반면, PM_{2.5}는 실내 9.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, AQMS 10.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 거의 유사한 수준을 보였다.

CO₂는 1일차 707 ppm, 2일차 684 ppm, 3일차 661 ppm으로 전 구간에 걸쳐 <학교 보건법> 유지기준을 만족하는 것으로 확인되었다. A, B 학교의 경

우 공기청정기가 설치되어 가동되고 있어 환기가 원활히 이루어지지 않는 반면, C 학교의 경우 공기청정기가 설치되지 않아 주기적으로 창문을 열어 환기를 시킴으로서 나타난 결과로 판단된다. 결과적으로 공기청정기 가동에 따른 환기부족이 교실 내 CO₂를 증가시키는 주요 원인으로 확인되었고, 교실 내 CO₂ 관리를 위해 공기청정기 가동 매뉴얼 개발과 동시에 환기관련 대책마련이 필요한 것으로 나타났다.

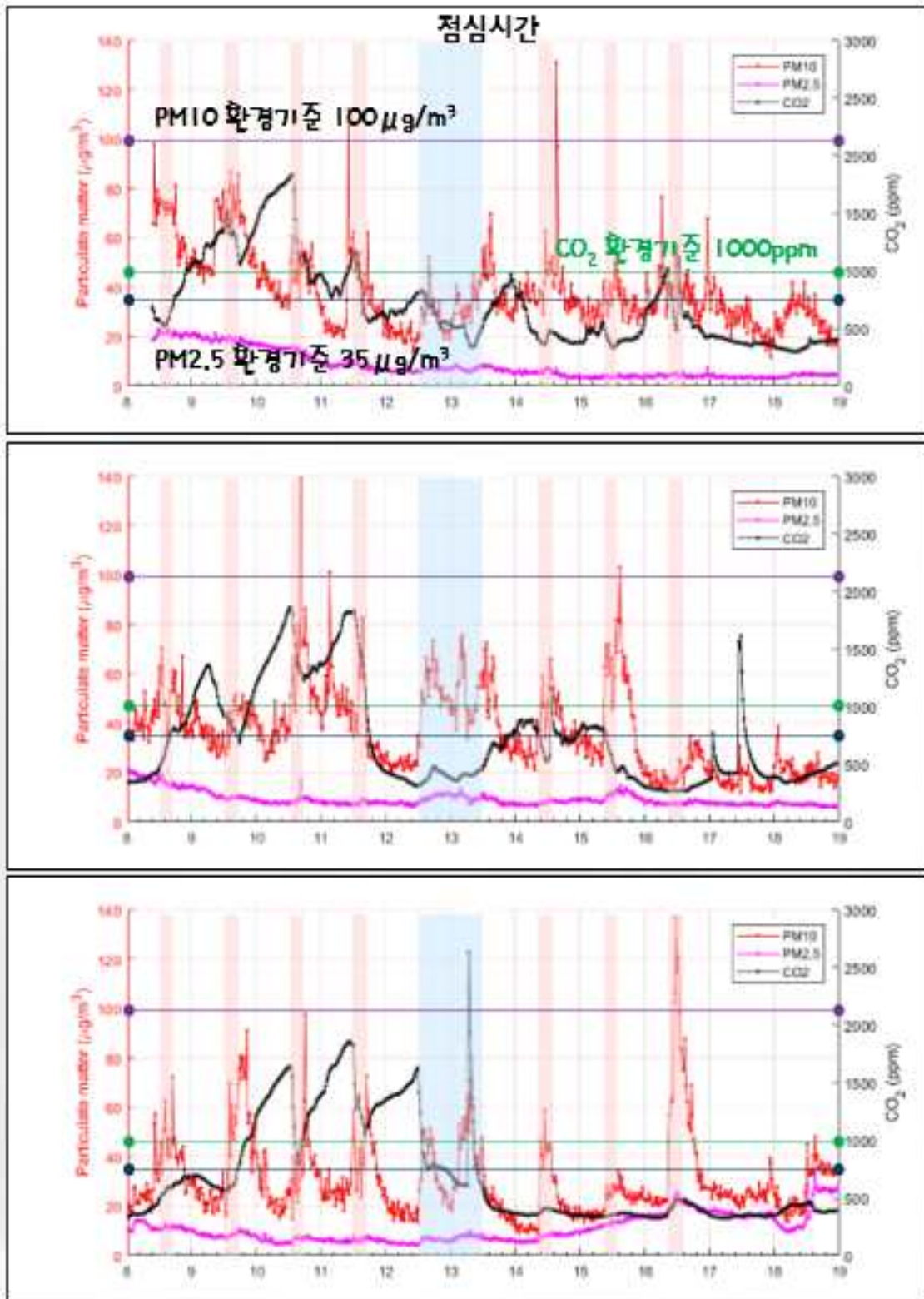
표 9는 측정 3일 동안의 PM₁₀, PM_{2.5}, CO₂를 대상으로 수업시간과 쉬는시간으로 구분하여 산출한 결과이다. PM₁₀은 수업시간대비 쉬는시간이 1.27배 높게 나타났고, PM_{2.5}는 1.1배 높게 나타났다. 이는 초등학교인 A 학교 보다는 약간 높지만 중학교인 B 학교에 비해서는 낮은 수치이다. 이 결과는 생활패턴에 기인한 것인데 초, 중학생의 경우 쉬는시간 타종과 함께 학생들이 활발히 움직이는 것에 반해 고등학교인 C 학교의 경우 쉬는시간이 되어도 개별 학습이나 정적인 활동이 많아 상대적으로 낮은 활동량에 기인한 결과로 해석된다.

[표 9] 수업시간과 쉬는시간에 대한 오염물질별 농도값 (C 학교)

	PM ₁₀ (μg/m ³)		PM _{2.5} (μg/m ³)		CO ₂ (ppm)	
	수업시간	쉬는시간	수업시간	쉬는시간	수업시간	쉬는시간
C 학교	35.3	44.8	9.0	9.9	847	831



[그림 9] C 학교 실내공기질 측정 모습



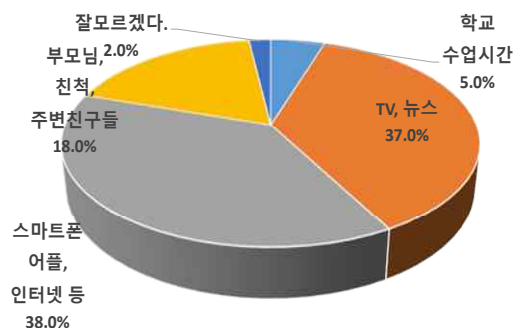
[그림 10] C 학교 실내공기질 측정결과



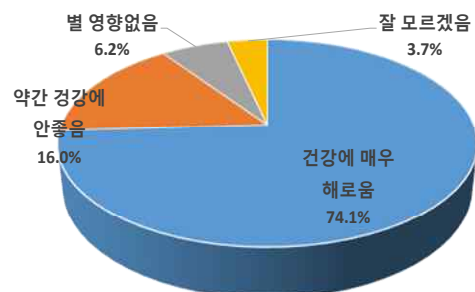
5. 미세먼지 관련 학생 설문조사

교실 미세먼지 측정과 더불어 학생들의 인식조사를 위해 설문조사를 수행하였다. 대상이 초등학생부터 고등학생까지 교육 수준의 차이가 있기 때문에 설문지 내용은 초등학교 수준에 맞춰 작성하였다. 설문지 문항은 총 10문항으로 미세먼지에 대한 정보전달 경로나 미세먼지 배출원에 대한 이해, 현재 수행 중인 연구에 대한 의견을 문의하였고, 응답결과는 초, 중, 고등학교 구별 없이 통합하여 분석하였다. 설문 대상은 실내공기질 측정을 실시한 반 소속 학생들로 선정하였고, 각각 초등학생 27명, 중학생 32명, 고등학생 24명으로 총 83명이다. 설문조사 첫 번째 질문은 미세먼지에 대한 정보를 어디에서 얻는지에 대한 것 이었는데 미세먼지에 대한 정보는 스마트폰 어플리케이션이나, 인터넷 기사를 통해 가장 많이 획득하고 있었고, 그 와 유사한 수준으로 TV, 뉴스라고 답해 전체 75%가 언론매체를 통해 정보를 얻고 있는 것으로 나타났다. 인터넷과 정보통신의 발달로 인해 다양한 정보를 쉽게 얻을 수 있지만 반대로 명확하지 않은 불량 정보들이 판치는 요즘 학생들이 받아들이고 있는 정보의 질이 어느 정도인지 확인이 필요할 것으로 판단된다. 두 번째 질문은 미세먼지에 대한 건강영향을 물어보았는데 응답자의 74.1%가 미세먼지에 의한 건강 악영향이 매우 심각한 것으로 나타났다.

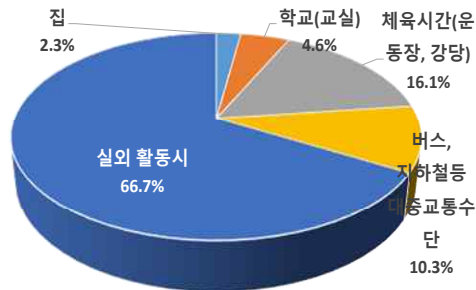
Q1. 평상시 미세먼지에 대한 정보는 어떻게 알게 되었나요?



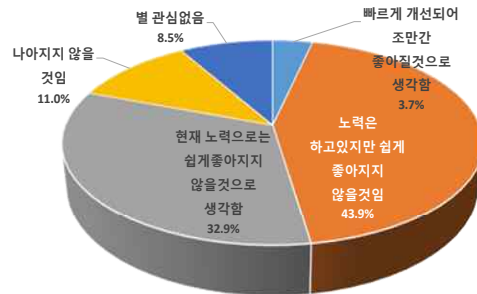
Q2. 미세먼지에 대해 어떻게 생각하나요?



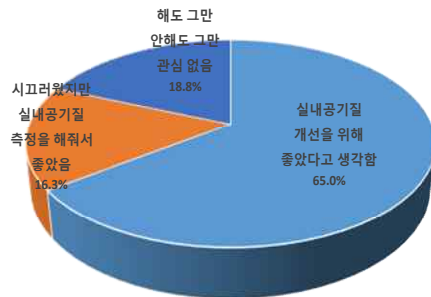
Q3. 미세먼지를 가장 많이 마시는 곳은 어디라고 생각하시나요?



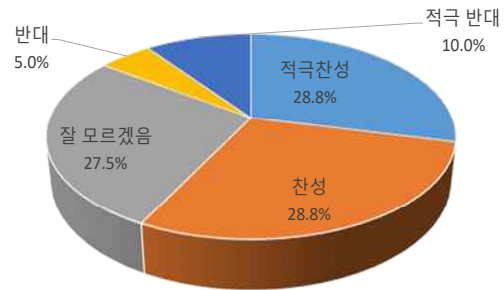
Q4. 미래 미세먼지는 어떻게 될 것이라고 생각하세요?



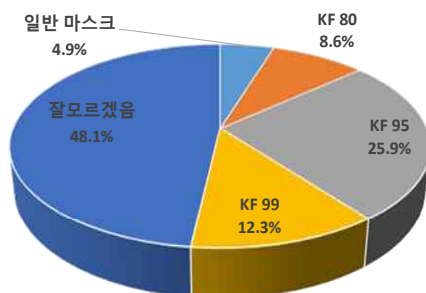
Q5. 우리 교실을 대상으로 한 실내 공기질 측정에 대해 어떻게 생각하세요?



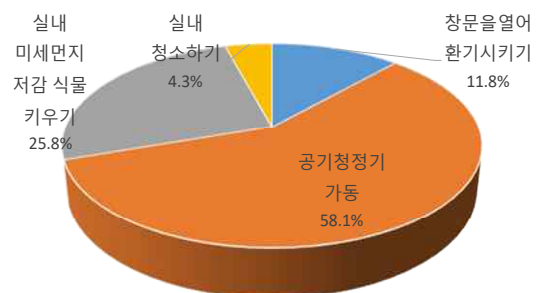
Q6. 환경에너지 관련 교육시간을 교과목에 추가 확대하는 것에 대해 어떻게 생각하세요?



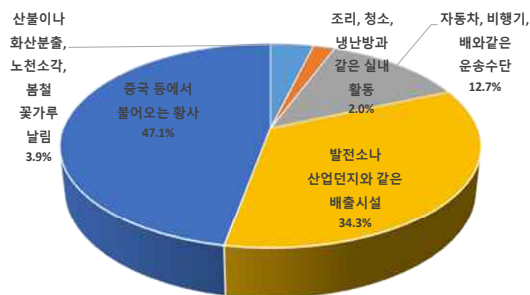
Q7. 황사가 왔을 땐 어떤 마스크를 써야 할까요?



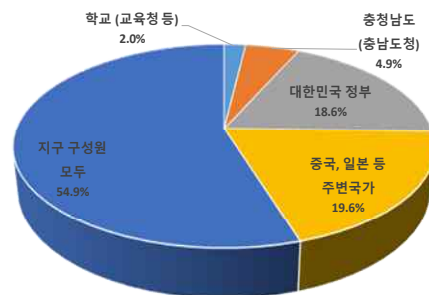
Q8. 실내 미세먼지는 어떻게 하면 없어질까요?



Q9. 우리 주변에서 미세먼지의 주범은 무엇이라고 생각하십니까?



Q10. 다음 중 미세먼지 저감을 위해 누가 노력을 해야 할까요?



[그림 11] 초·중·고등학생을 대상으로 한 설문조사 결과

세 번째로는 미세먼지를 가장 많이 흡입하는 곳이 어디인지를 묻는 질문에 실외활동, 체육시간 등 외부 활동(82.8%)에 의해 대부분의 미세먼지를 흡입하는 것으로 생각하고 있었고, 대중교통 수단이나 학교, 집 등 실내공간에서의 노출은 매우 작을 것(17.2%)이라 생각하는 것으로 나타났다. 네 번째로 미래 미세먼지에 대한 전망으로는 87.8%가 쉽게 좋아지지 않을 것으로 생각하고 있었고, 약 3.7% 만이 긍정적인 대답을 보였다. 다섯 번째 질문은 본 연구를 수행하면서 진행 된 실내공기질 평가와 이에 대한 결과 전달에 대한 질문인데 응답자의 81.3%가 긍정적으로 대답하였고, 관심 없다는 응답이 18.8%, 부정적인 응답은 한명도 나오지 않았다. 측정에 따른 소음과 약간의 거동 불편함을 감소 하더라도 본 연구에 대해서는 대부분의 학생들이 긍정적인 평가를 보였다. 여섯 번째 질문은 환경에너지관련 교과목 추가에 대한 의견이 이었다. 이는 미래 직업군으로서의 환경직의 비전과 학생들의 관심도를 확인하기 위한 질문이었는데 57.6%가 찬성하는 반면 15%가 반대로 나와 교과목으로 추가되는 것에 대해서는 어느 정도 불편함을 느끼고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 일곱 번째 질문은 황사 마스크에 대한 인지정도를 확인한 것이 있었는데 식약청에서는 현재 일반 보건용 마스크 외에 황사 발생 시 사용되는 마스크에 대해 입자의 투과도에 따라 KF로 등급을 지정해 관리하고 있다. 만약 KF 80이라고 한다면, 기준 실험입자를 대상으로 마스크 내부로의 유입을 80% 차단해 준다는 것이다. 이 이론대로라면 자칫 KF 99가 가장 우수할 것이라고 생각할 수 있지

만 반대로 차단율이 높다는 것은 호흡하기 어렵다는 것을 의미하기 때문에 폐활량이 낮은 어린이들은 KF 80정도를 사용하는 것을 권장하고 있다. 이번 항목의 경우 초, 중, 고등학생을 구분하여 분석해 보았는데 초등학생의 61%가 모르겠다는 답변을 한 반면, 중학생 45%, 고등학생 38% 등 학년이 올라갈수록 KF 등급에 대한 이해도가 높은 것을 알 수 있었던 반면, 가장 기본적인 호흡 보호구인 마스크에 대한 기준을 고등학생조차 40% 가깝게 모른다는 것은 미세먼지 대응에 대한 기본적인 교육이 아직 부족하다는 것을 확인할 수 있었다. 여덟 번째 질문은 실내 미세먼지 저감 방법에 대한 질문이었는데 공기청정기 가동이 58.1%로 가장 높게 나타났고, 실내 저감식물 키우기 25.8%, 환기 11.8%, 실내 청소 4.3%로 나타났다. 몇 년전만 하더라도 실내공기질 개선방안으로 환기나 청소가 가장 우선 순위였던 것에 반해 최근에는 공기청정기와 같은 기계설비에 대한 의존도가 높아지고 있는 것을 확인할 수 있었고, 미세먼지 저감식물의 경우 학교 수업시간 등에서 배운 정보가 반영된 결과인 것으로 보였다. 측정이 진행되던 기간에도 C 학교의 입구에서는 미세먼지 저감 식물에 대한 전시회가 진행되고 있었다. 아홉 번째 질문은 미세먼지의 주요 배출원에 대한 질문이었는데 중국 발원이라는 질문이 47.1%로 가장 많았고, 발전소와 같은 산업단지가 34.4%로 뒤를 이었다. 그 밖에 이동수단이 12.7%, 자연배출 3.9%, 실내활동이 2.0% 순이었다. 많은 연구결과에서 미세먼지에 대한 국내 기여도가 중국보다 높다고 보고하고 있지만 앞서 미세먼지에 대한 정보를 인터넷이나 TV 매체를 통해 많이 접하다 보니 가장 빈번하게 노출되는 중국에 대한 영향이 가장 큰 것으로 인식하고 있었고, 이를 통해 정확한 정보전달에 대한 필요성을 인지할 수 있었다. 마지막 질문은 미세먼지 저감 주체에 대한 질문이었는데 지구 구성원 모두라는 응답이 54.9%로 가장 많았고, 중국, 일본 등 주변국가가 19.6%, 대한민국 정부가 18.6%, 충청남도 4.9%, 학교 등이 2.0% 순으로 나타났다. 많은 학생들이 미세먼지 문제를 어느 한 지역의 국지적인 문제가 아닌 전 지구적인 문제로 인식하고 있다는 것은 긍정적으로 볼 수 있었지만 앞으로 정확한 정보 전달이 필요하다는 결론을 도출 할 수 있었다.

제4장

학교 미세먼지 관리를 위한 정책제언

1. 학교 실내 필요환기량 제안
2. 교실 내 미세먼지 관리방안 및 정책제언

학교 미세먼지 관리를 위한 정책제언



1. 학교 실내 필요환기량 제안

과거부터 작업환경이나 실내 오염된 공기를 제거하기 위한 방안으로 환기를 많이 사용해왔다. 환기란 오염된 공기를 배출하고 깨끗한 공기로 희석시키는 것을 의미하며, 주로 오염물질 농도 감소나 화재나 폭발 방지, 불필요한 고온과 습기 제거 목적으로 이용된다. 환기는 크게 전체환기와 국소배기로 나누어 지나 작업장이 아닌 일반 실내 즉, 공공건물, 학교, 사무실, 극장, 지하상가 등과 같은 곳은 제조작업장과 다르게 유해물질이 과다하게 존재하지 않기 때문에 전체 환기를 사용하고 있다. 정부에서는 실내공기질 개선을 위해 <건축물의 설비기준 등에 관한 규칙>을 정해 일정 규모 이상의 주택이나 건축물에는 환기설비를 설치하도록 권고하고 있으며, 학교 역시 <학교 보건법> 시행규칙에 의해 1인당 21.6 m³/hr 이상의 환기량을 가지도록 하고 있다.

일반 실내에서는 공기오염의 지표로 CO₂를 사용하고 있으며, 세계보건기구(world health organization, WHO)에서는 실내 허용기준을 1,000 ppm으로 권고하고 있지만 주택과 같이 장시간으로 지내야 하는 장소에서는 700 ppm으로 정하고 있다. 아래 식 1은 일반 실내에서의 필요환기량을 구하는 식이다.

$$Q = \frac{G}{C_1 - C_0} \quad (1)$$

여기서 Q = 필요환기량 (m^3/hr)

G = 1인 1시간당 CO_2 의 배출량 ($0.021 \text{ m}^3/\text{hr}$)

C_1 = 실내 CO_2 허용기준 (0.1%)

C_2 = 외기에서 CO_2 농도 (0.04%)

위 식에 계수를 대입하여 1인당 1시간당 필요환기량을 산정하면

$$Q = \frac{0.021 \text{ m}^3/\text{hr}}{0.001 - 0.0004} = 35 \text{ m}^3/\text{hr} \quad (2)$$

위 식에서 산정된 값은 <학교 보건법>에서 고시하고 있는 $21.6 \text{ m}^3/\text{hr}$ 보다 약 1.6배 정도 높은 값인데 두 환기량간의 차이는 학교 보건법에서 권고하는 필요 환기량은 2002년 지정된 후 약 18년이나 지나 그 당시 대비 외기의 CO_2 농도가 상승하였고, 어린이들의 신장이 커지면서 호흡량과 CO_2 배출계수가 변화된 것에 기인한 변화로 판단된다. <건설물의 설비기준 등에 관한 규칙>의 별표 1의 6에서는 교육연구기설에 대해서 필요환기량은 $36 \text{ m}^3/\text{인} \cdot \text{hr}$ 으로 규정하고 있어 본 연구에서 산정된 값과 유사한 값을 제시하고 있다. 위 식 2에 의해 산정된 필요환기량을 대상으로 식 3과 같이 공기교환횟수(air change per hour, ACH)를 산정할 수 있는데, ACH는 환기를 통해 그 공간에 대해 전체 공기를 몇 회 교환하는 효과를 나타낸다.

$$ACH = \frac{Q}{V} \quad (3)$$

여기서 Q = 필요환기량 (m^3/hr)

V = 실내 공간의 공기체적 (m^3)

표 10은 각 학교별 학생 수와 교실면적을 고려한 총 필요환기량과 공기교환 횟수를 나타낸 것이다.

[표 10] 각 교실별 총 필요환기량과 공기교환 횟수

	1인당 필요환기량 (m ³ /hr)	학생수	총 필요환기량 (m ³ /hr)	교실면적 (m ²)	ACH
A 학교	35	27	945	150.28	6.3
B 학교		32	1,120	153.50	7.3
C 학교		24	840	164.74	5.1

영국왕립표준협회(Brithish standards institution, BSI)에서는 BS 5720: mechanical ventilation and air conditioning in building에서 학교 교실에 대해 3~4회의 공기교환횟수를 제시하였고, 일본위생시험연구소에서는 학교 교실과, 도서관, 강당 등에 대해 6회를 권고하고 있다. 하지만 본 연구결과 위에 산정된 총 환기량과 환기횟수가 지켜지고 있는 곳은 단 한 곳도 없었다. A와 B 학교의 경우 공기청정기에 의존한 미세먼지 저감만을 목적으로 한 관리를 하고 있었고, C 학교는 공기청정기가 설치되지 않아 다른 곳에 비해 낮은 CO₂ 농도를 유지하고 있었으나, 이 또한 CO₂ 관리를 위한 환기가 아닌 비의도적인 저감 효과일 뿐이었다. 추후 학교 실내공기질에 대한 통합적인 관리방안 마련을 위해서는 공기청정기뿐만 아니라 필요환기량을 충족시켜 줄 수 있는 열교환기를 포함한 공조설비 설치와 운영이 필요할 것으로 판단된다.



2. 교실 내 미세먼지 관리방안 및 정책제언

본 연구를 수행함에 있어서 학교 관련 연구동향 정책 수행조사를 실시하였고, 내포신도시 내에 위치한 일부 초, 중, 고등학교 교실을 대상으로 한 실시간 모니터링, 학생들을 대상으로 한 교육 및 설문조사를 실시하였다. 국가차원에서 <학교 보건법> 내 유지권고기준을 강화하고 관련 신규(안)을 제시하여 교실 내 공기청정기 운영과 간이 공기청정기 설치를 의무화 하였다. 물론 공기청정기 보급이 최선의 방안이 아닐 뿐만 아니라, 학생들의 생활패턴 분석과 근본적인 관리방안 제시를 위한 연구가 수행되어야 하겠지만 충청남도를 포함한 광역 지자체에서는 학교 미세먼지 현안문제 해결을 위해 앞다투어 공기청정기 보급을 진행 중에 있다. 하지만 본 연구 수행 결과, 현재 수행 중인 학교 실내 공기질 관리와 관련하여 아래와 같은 문제점을 인지하였다.

1. 용량이 고려되지 않은 공기청정기 도입 (청정화 효과 감소)
 - 앞서 제시된 필요환기량과 교실의 면적, 학생 수를 고려하였을 때 25평형 이상의 용량을 가진 공기청정기와 공기조화설비가 요구되나 이러한 현실이 반영되지 않은 10~20평형 공기청정기도 일부 보급된 것으로 확인되었다.
2. 공기청정기의 본연의 기능 외 불필요한 부가기능 탑재 (단가 상승)
 - 최근 판매되고 있는 공기청정기는 기존의 미세먼지 집진기능 외에 미세먼지 농도 센서, 향균/탈취필터, 가스상 오염물질 제거 등을 부가 옵션에 의한 단가 상승을 확인할 수 있었으며, 2018년 4월 배포된 교육부의 보도자료에 의하면 공기청정기 확대 설치에 필요한 예산은 약 2천 2백억원으로 (교실 당 평균 2백만원으로 산정) 고가의 청정장치 보급으로 인한 투자대비 효율성이 매우 낮을 것으로 판단된다.
3. 어린이, 청소년들의 호흡영역을 고려하지 않은 배출구 (효과 감소)
 - <학교 보건법> 시행규칙에 의하면 환기설비나 공기청정기 등을 운영하여야 하나 대부분의 학교에서는 환기설비를 갖추고 있지 않았고, 내부 유동

(stream) 조성 없이 공기청정기만 자체 기류만으로 청정화 효과를 기대하고 있었다. 이러한 조건에서는 전체 공간에 대한 공기교환효과를 기대하기 어려울뿐더러, 다양한 형태의 흡·출입구를 가지고 있는 공기청정기는 청정화 된 공기를 학생들의 호흡영역을 고려하지 않은 채 가동되고 있었다.

4. 공기청정기에 의존한 실내공기질 관리 (CO₂ 농도 상승)

- 고농도 미세먼지 발생사례 증가로 공기청정기 보급 및 운영이 일반화된 현 시점에서 미세먼지 대응/관리는 잘 이루어지고 있는 것으로 확인되었다. 하지만 공기청정기에 의존한 실내공기질 관리에 따라 실내 CO₂ 농도는 관리가 되지 못하는 것으로 확인되었고, 측정 대상 3곳 중 2곳에서 기준치인 1,000 ppm을 초과하는 것으로 나타났다.

현재 진행되고 있는 학교 미세먼지 저감 정책에 대한 문제점을 검토하였고, 그 결과 대부분의 정책지원이 현안문제 해결을 위한 임시적인 방편일 뿐 근본 원인 해결을 위한 대책 마련은 아직 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서 나타난 문제점을 바탕으로 아래와 같이 4가지 개선 방안을 제안한다.

1. 학교 맞춤형 공기청정기 개발

현재 진행 중인 학교 미세먼지 대책의 대부분은 공기청정기 보급이다. 공기청정기는 잘만 활용한다면 실내 미세먼지를 효과적으로 관리할 수 있다. 하지만 현재 시판 중인 공기청정장치는 시장 경쟁을 높이기 위해 기존 청정화 능력 외에 다양한 부가기능들이 탑재되어 있다. 예를 들어 미세먼지 센서라던가 유해가스 저감 필터, 향균 필터 등은 그 효율성에 대한 의구심이 들뿐만 아니라 정상 기능을 하더라도 저감 능력이나 교체주기 등에 대한 관리가 매우 어렵다. 현재 교육부에서 계획 중인 공기청정기의 경우 한 대당 약 200만원의 고가로 형성되어 있는데 이러한 고가 공기청정기에 부착되어 있는 장치들이 학교 학생들에게 꼭 필요한 장치인지에 대한 고민이 필요하다. 차라리 학생들의 호흡량과 교실 면적, 필요환기량 등을 고려하여 꼭 필요한 부품들만을 모아 놓은 학교 맞춤형 형식 개발 및 공기청정기 보급이 이루어진다면 제작단가 감소를 기대할 수 있으며, 소모품들에 대한 운영비용 감소도 가능하다. 또한 추후 관리차원에서도 기존 제작사들과 컨소시엄을 이룬다면 현재 현장에서 교사들

이 가지고 있는 공기청정기 관리에 대한 부담감 또한 덜 수 있어 효과적인 운영이 가능 할 것으로 판단된다.



[그림 12] 학교 맞춤형 공기청정기 개발 및 보급

2. 열교환기를 활용한 교실 내 환기량 공급

<건축물의 설비기준 등에 관한 규칙> 등에 의거 일정 규모 이상의 건축물이 나 다중이용시설에는 공조설비가 설치 운영되어야 하지만 학교의 경우 이러한 규칙이 잘 적용되지 못했다. <학교 보건법> 시행규칙 상에서도 1인당 21.6 m³/hr 이상이 되도록 규정하고 있지만 대부분의 학교에는 이러한 환기설비가 존재하지 않는다. 최근 들어 교육부의 개정안에 의거 공기청정기와 환기설비(환기창 등)를 보유하고 있지만 이 또한 임시방편일 뿐이다. 공기청정기가 가지고 있는 기계적 한계 (적은 송풍량)를 보완하기 위해서는 공조 설비의 도움이 필요하다. 공조설비로 급·배기를 공급해 줌으로써 환기횟수를 증가시킬 수 있고 교실 내 미기류 형성으로 최대한 사(死) 영역(dead space)을 좁혀 공기청정기의 청정화 능력을 최대한으로 끌어올릴 수 있다. 대신 여름, 가을철 에너지 손실이 우려되기 때문에 공조 설비에는 열교환기 부착이 필요하며, 비용 증가와 설비 증설에 대한 문제가 발생할 수 있어 이에 대한 고려가 필요하다.



[그림 13] 공조 설비를 활용한 교실 내 공기질 관리

3. 공기청정기 운영관리 메뉴얼 개발

공기청정기는 교실 내 공기질을 관리하는데 도움을 주는 “도구” 이기 때문에 사용자의 운영이 매우 중요하다. 예를 들어 공기청정기의 위치를 어디에 두느냐에 따라 공기청정기가 확보할 수 있는 적용 면적이 달라질 수 있고, 환기를 위해 외부공기 유입에 따른 가동시간을 고려해야지 필터의 수명을 효과적으로 지속시킬 수 있다. 외국의 공기청정 컨설팅 업체나 제품 제작사에서는 이러한 현실을 고려한 관리 메뉴얼을 제작 배포하고 있다. 하지만 아직까지 우리나라에서는 제품 생산에만 몰두할 뿐 시판된 공기청정기에 대한 운영·관리에 대한 메뉴얼은 제공되지 못하고 있는 실정이다. 학교 또한 환기나 청소, 실내 활동에 따른 공기청정기 운영이 중요하나 아직까지 아무런 가이드라인 없이 가동되고 있다. 학생들의 생활패턴과 교실의 구조, 공기청정기 특성에 맞는 메뉴얼이 개발·보급된다면 좀 더 효과적인 개선방안이 도출 될 수 있을 것으로 기대된다.

What is the Best Location for an Air Purifier?

Location, location, location! Who hasn't heard that phrase before? When choosing the ideal location for your air purifier, it can become stressful and quite daunting; you want it in the perfect spot. Luckily when you are making a home for your air purifier, there are plenty of places it would love to be and work its magic.

Place the Air Purifier Closest to the Source

Do you have a smoker in your home, or a funky smelling area? That is where you should place the air purifier. The closer the air purifier is to the contaminant, the faster it will trap the particles that are giving you grief. If you happen to have a neighbor who smokes leading to some odors seeping into your home, place the air purifier near the vent or wall where the odor is most concentrated.

Although it is very difficult to trap odors that are not originating in your home, by placing the air purifier where the odor is being introduced into your home, you are trapping the particles as close to the offender as possible.

Don't Put Me in the Corner

It's important that you choose a location that is not behind furniture or directly below shelves. Since most air purifiers have an intake near the front of the machine, you want it to be able to see the whole room and have access to the many airborne particles that have run rampant. This also goes for the top of the air purifier. By placing it under a shelf, the only thing that's going to get that fresh air is the underside of your book shelf. The rule of thumb is to keep a few feet of clearance at the top, front, and sides for optimal efficiency.



Best Ways to Get 100% Efficiency from Your Air Purifier

By honeywell_admin November 23, 2017

AIR PURIFIER UNCATEGORIZED 2

With the rising instances of asthma and other respiratory illnesses in the major urban centers of India, more and more households are turning to air purifiers for a relief. Air purifiers from international brands such as Honeywell have become quite popular due to their high efficiency and low maintenance costs.

However, an air purifier requires a number of measures to work efficiently.

In this article, we are listing:

Steps to get the most out of your home or office air purifier

Buying the Right Air Purifier

If you have been thinking of getting an air purifier, you should consider the usage scenario and the [air filtration technologies](#) before making the purchase. Coverage area, filter type, and CADR (clean air delivery rate) are the main things you should consider.

Effective coverage area of an air purifier is measured in cubic metres, so make sure you get your assessment right. Second thing to consider is the filter type. HEPA filters are considered the industry standard for air purification, and it is absolutely necessary for filtration of particulate matter. Finally, consider the CADR of the air purifier which is basically the rate at which the device will clean the air inside the room, per hour. Higher CADR means that you get a constant supply of clean air at higher rate.

Placing the Air Purifier

One of the most important factors that determines the efficiency of your home air purifier is its placement. Ideally, the air purifier should be positioned in a way so that clean air flows towards you. Placing the device too low or too high will result in reduced performance. Make sure that the air purifier is not placed in a confined space such as between furniture items.

Close the Doors and Windows

When the air purifier is on, close the doors and windows so that polluted air is kept out. Many users complain about their air purifier not working properly and the pollution indicators not reflecting a change in ambient air quality, without realizing that the device needs a closed space to be efficient, similar to an air conditioner which needs a confined space for cooling the air.

Replace Filters Timely

An air purifier's effectiveness depends on its filters. Do keep a regular check on the HEPA filter and remember to clean up the pre-filter regularly for longer filter life. Only [buy original HEPA filters](#) when it's time to replace the existing filters.

This is another reason why you should get an air purifier from a recognized brand like Honeywell, as it is easier to buy replacement filters.

자료 : <https://www.rabbitair.com>

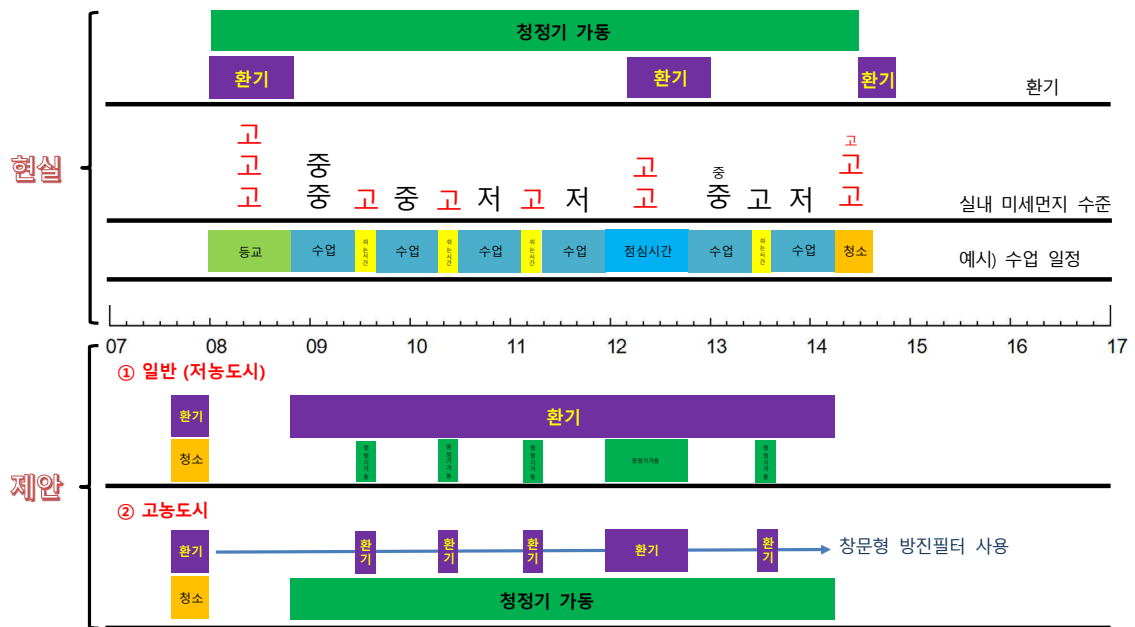
자료 : <https://www.honeywellsmarthomes.com>

[그림 14] 공기청정기 운영관리 메뉴얼 예시

4. 학생들의 생활패턴을 고려한 교실 내 공기질 관리방안 제시

앞서 3번째 제안이 공기청정기의 운영관리에 관한 메뉴얼 개발이라면, 마지막 단계는 학생들의 생활패턴을 고려한 교실의 공기질 관리방안이다. 충청남도 내 일부 학교를 대상으로 공기질을 측정하고 결과 오전 등교시간대 주변 차량의 운행과 학생들의 활발한 활동으로 인해 8-9시경 PM_{10} 농도가 증가하였고, 수업시간 대비 쉬는시간에는 학교별 차이는 있었지만 1.2~1.8배까지 증가하는 확인 할 수 있었다. 하지만 대부분이 $PM_{2.5}$ 이상의 조대입자로 나타나 오전 일부를 제외하고는 실내에서 비산된 조대입자인 것으로 확인되었다. 이러한 현상을 반영한다면 교실 내 청소는 조대입자가 가라앉아 있는 오전 등교 전 물걸레 청소가 적합하며, 등교 시간에는 외부 창문을 닫고 공기청정기를 가동시키는 것이 효과적이다. 또한 공기청정기는 에너지 효율 차원에서 지속적으로 가동하기 보다는 쉬는시간과 그 후 10~20분정도를 강한 풍량으로 처리하는 것

이 좋으며, 평균 1,000 ppm을 상회하는 CO₂ 저감을 위해 주기적인 환기가 필요하다. 또한 고농도 미세먼지 발생시에는 창문형 방진필터를 사용하여 간헐적 환기를 실시하며, 공기청정기는 유입구인 창문이나 입구 인근에서 지속적인 가동이 요구된다. 이처럼 각 교실별 특성과 환경 변화에 맞춘 공기질 관리방안이 제시된다면 효과적인 교실 공기질 관리가 이루어 질 수 있을 것이다.




[그림 15] 생활환경을 고려한 교실 내 공기질 관리방안 제시



부록

- A. 설문조사지
- B. 설문조사 결과
- C. 학교 미세먼지 교육자료
- D. 교실별 실내공기질 측정결과

《 A. 설문조사지



충남연구원
Chungnam Research Institute

※ 통계법 제33조(비밀의 보호 등)
● 통계작성과정에 있어 개인정보(성명으로서 개인 또는 법인이나 단체의 비밀에 속하는 사항은 보호되어야 한다.)

학교 미세먼지 저감을 위한 통합관리방안 구축 사전조사 연구관련 설문조사

안녕하십니까? 충청남도와 충남연구원은 '학교 미세먼지 저감을 위한 통합관리방안 구축
사전조사 연구'를 위하여 '학생들을 대상으로 의견조사'를 진행 중입니다. 조사 결과는 미세먼지
를 포함한 학교 실내공기질 개선 및 해결방안 마련을 위한 기초자료로 활용되오니 적극적인
답고 부탁드립니다.

아래와 본 조사의 응답하신 모든 내용은 통계목적 이외에는 절대 사용될 수 없으며, 그 비밀을 보호
하도록 통계법(제33조 제34조)에 규정되어 있습니다. 또한 개인정보 보호법(제30조)에 따라 정보
주체의 개인정보를 보호하고, 위용을 알려드립니다.

바쁘시더라도 잠시만 시간을 내주시기 바랍니다. 감사합니다.

【구분기법】: 충청남도
【조사기법】: (가)충남연구원

조사 기관: (가)충남연구원
담당자: 김동원, 정지현 연구원
Tel: 041-8600-3824, 3829
E-mail: kb0010@cnr.re.kr

● 응답해 주실 때 꼭 지켜 주셔야 합니다 ●

1. 질문을 잘라서 모두 읽고 응답해 주시기 바랍니다.
2. 질문과 관련한 안건물이 있는 경우 안건문을 숙기하시고 응답해 주시기 바랍니다.
3. 질문 앞에 '특정'한 답이 있는 한 모든 질문에 대해 구상시오.
4. 질문에 응답하실 때 '특정'한 지시가 없으면 '보기'로 중 한 개만 골라주시기 바랍니다.
5. 응답을 직접 기재해야 하는 경우 본인의 손기한 의견을 기재해 주시기 부의한 문자 및 축설의
기자를 살기 해의 구시기 바랍니다.

조사자명

(조사자명 기법)

- 1 -

Q 01. 평상시에 대기환경이나 실내공기질에 관심이 있습니까?

매우 관심있다	약간 관심있다	보통	별로 관심없다	거의 관심없다
①	②	③	④	⑤

Q 02. 대기오염이나 미세먼지에 의한 가장 큰 영향은 무엇이라고 생각하십니까?

- ① 시정악화 (목시보이는 길이 잘 보이지 않아요)
- ② 건강악화 (호흡하기 힘들고, 기침·가래가 많이 기어요)
- ③ 피부 질환 (피에 나가 활동하기가 어려워요)
- ④ 일상생활 불편 (꽃분을 많이 뿌리고, 화분활동 때 마스크 등을 기어워서 불편해요)
- ⑤ 기타 ()

Q 03. 미세먼지 등 대기환경에 대한 정보는 주로 어디서 확인하십니까?

- ① TV 뉴스 등의 기상정보 시청
- ② 스마트폰의 어플리케이션 (에어코리아, 우리동에 공기질 등)
- ③ 스마트폰 통합정보 사이트 (에이트 등의 제인화면)
- ④ 주변 기인 (인구사 부로님, 신장님 등)
- ⑤ 기타 ()

Q 04. 실내 중 미세먼지에 대한 권원이 무엇이라고 생각하십니까?

- ① 중국에서 들어오는 풍사
- ② 자동차와 주변 공사장에서 나오는 지적인 영향
- ③ 발전소, 산업단지 등 국내 대형 시설기설
- ④ 장소, 요리, 일상생활에서 발생하는 생활
- ⑤ 기타 ()

Q 05. 현재 학교 수업 중에 환경이나 미세먼지 관련 수업이 포함되어 있습니까?

- ① 함다 (Q6. 네요)
- ② 지다 (Q7. 네요)

Q 06. 있다면, 향후 학교에서 수업시간에 추가된 한다면 어떤 방식으로 추가하든 공을하십니까?

- ① 교과목으로 신설
- ② 일 1회
- ③ 학기당 1회
- ④ 연 1회
- ⑤ 기타 ()

Q 07. 있다면, 현재 진행되고 있는 수업에 대해 어떻게 생각하십니까? 부족하다면 어떤 부분이 추가되어야 한다고 생각하십니까?

- ① 중문하다
- ② 강의 내용이 빈간하다
- ③ 강의 구기가 너무 많아 강의 내용을 기어본다 (현수설이 부공하다)
- ④ 수업진행자의 전문성이 부공하다 (비지공자의 수업)
- ⑤ 기타 ()

- 2 -

Q 08. 현재 국가나 학교에서 진행하고 있는 미세먼지 대응방안에 대해 어느 정도 알고 있습니까?

매우 알고 있음	조금 알고 있음	보통	잘 모름	아니도 모름
①	②	③	④	⑤

Q 09. 미세먼지 대응 방안에 대해 어떻게 알게 됐습니까?

- ① 부로님으로부터
- ② 학교 선생님으로부터
- ③ 인터넷이나 TV와 같은 매체로부터
- ④ 개인적인 관습에 의한 결과로
- ⑤ 기타 ()

Q 10. 우리 교실에서 진행한 실내공기질 측정에 대해 어떻게 생각하십니까?

- ① 시그널과 측정결과 등 기은 기 모르겠다
- ② 해로 그만 안 해로 그만 해 필요 없다
- ③ 측정결과 의견으로 이관하는 정지한 다이는 안해오면 공짜다
- ④ 실내공기질을 잘 수 있어서 앞으로 계속 해오면 공짜다
- ⑤ 기타 ()

Q 11. 학생들에게 미세먼지 대기환경 관련 가장 중요한 것은 무엇입니까?

- ① 눈높이에 맞는 언어나 표현으로 제각기 교육기법
- ③ 기본적인 지식을 갖춘 최후 기은자의 구기적인 수업
- ④ 기은적인 교육이 필요한 일종 환경적인 교육의 신설
- ⑤ 학교 자체의 생활일일 프로그램 개발 및 적용
- ⑥ 기타 ()

Q 12. 현재 많은 이슈가 되고 있는 환경관련 교육 프로그램이 개발된다면 결어할 의사가 있습니까?

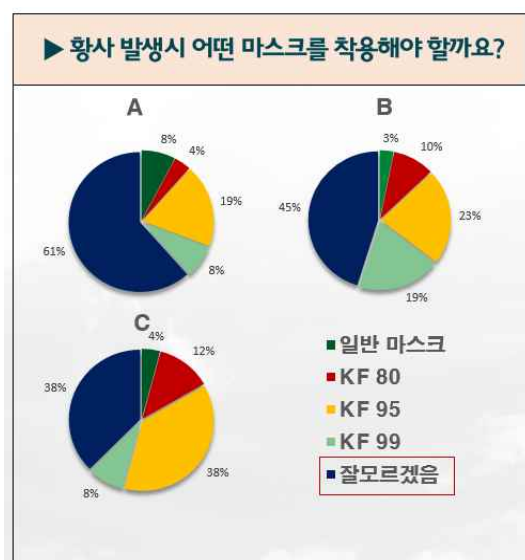
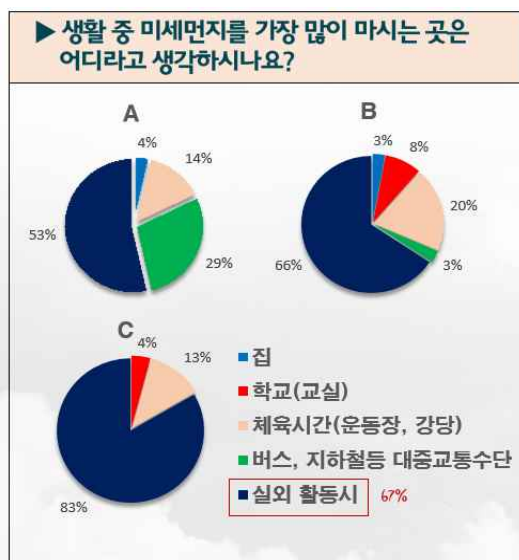
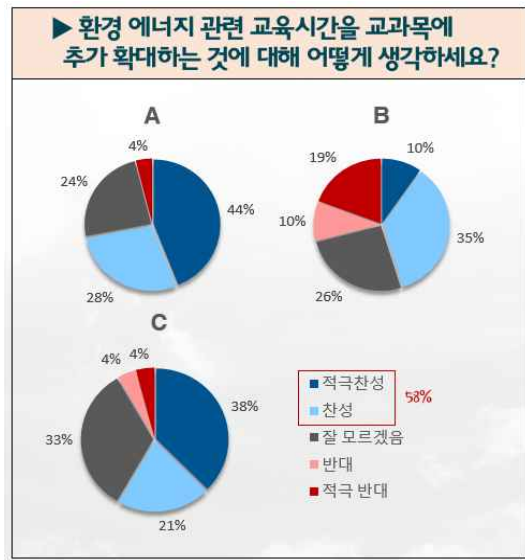
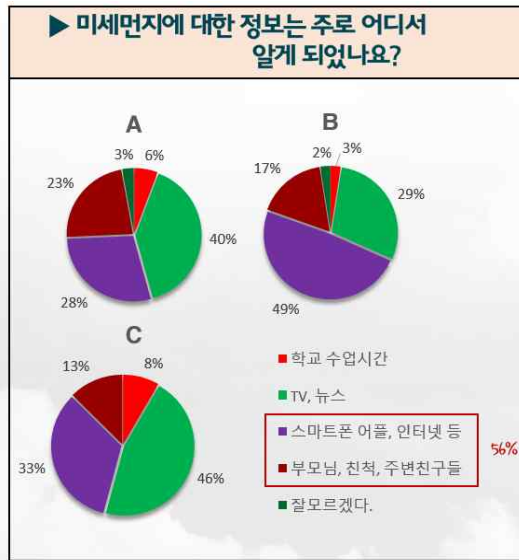
- ① 환경분야에 대한 관심이 많이 기어지지 않음
- ② 1회 정도는 알기할 생각이 있음
- ③ 리해 수당기공으로 매우 관심이 높아 기은적으로 알기하짐
- ④ 기타 ()

Q 13. 이외 추가적으로 생각하거나 견해를 사정이 있으면 기어주세요 [자유의견 작성]

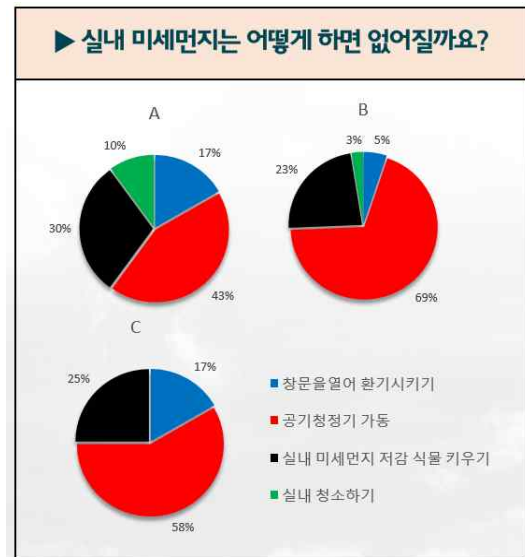
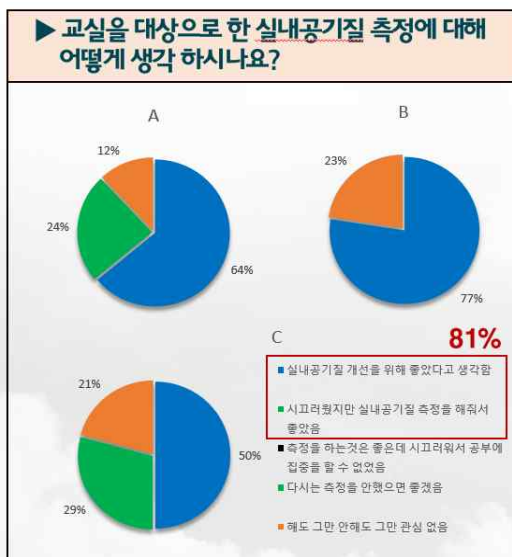
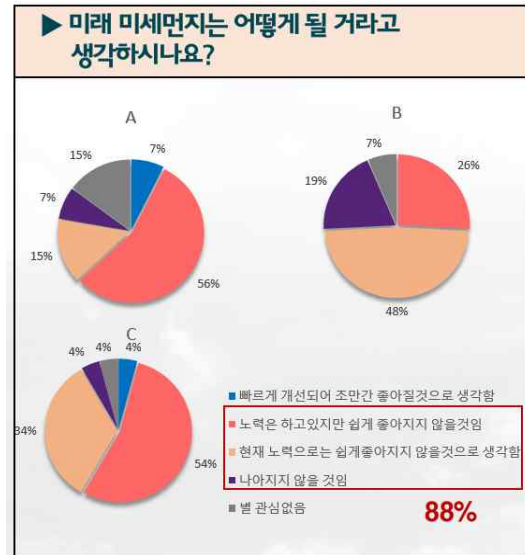
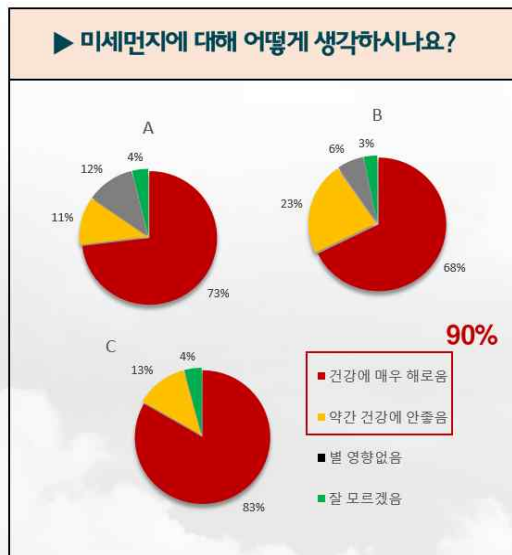
■ 마지막까지 성실하게 응답해 주셔서 감사드립니다.

- 3 -

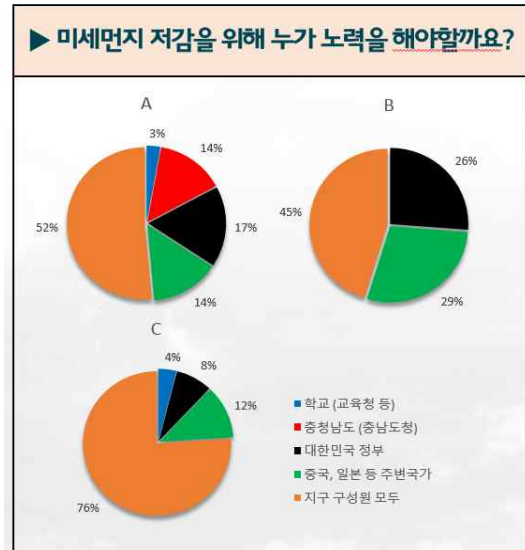
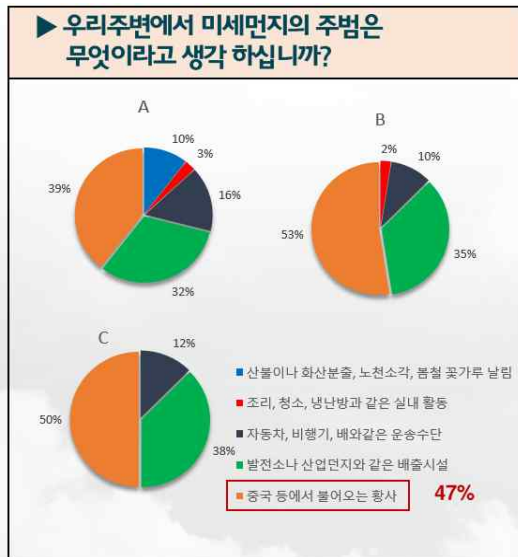
◀ B. 설문조사 결과 (Q 1~4)



◀ B. 설문조사 결과 (Q 5~8)



◀ B. 설문조사 결과 (Q 9~10)



Q11. 기타의견

구분	의견
1	중국 공장을 하루만 멈춰도 우리나라 날씨가 엄청 좋아진다, 이러한 중국 공장에 관한 규제 를 높였으면 좋겠다.
2	인공강우를 했으면 좋겠다
3	중국에게 꼭 한마디 해줬으면 좋겠다.
4	미세먼지 속에는 무엇이있나요?
5	미세먼지 교육 한번 더 해줬으면 좋겠다
6	미세먼지를 제거하기위해 공기청정기 등을 틀면 사용되는 전기생산을 하기 위해서 결과적으로 발전소가 더 많이 돌아가게된다. 이에 중요한것은 배출량 자체를 줄여야 한다.

《 C. 학교 미세먼지 교육자료

충남연구원 서해안기후환경연구소 학교 미세먼지 저감을 위한 통합관리방안 구축 사전조사 연구

적을 알고 나를 알아야 싸움에서 이길수 있다!! 미세먼지

2019. 6. 10 (화)

충남연구원 서해안기후환경연구소

2. 미세먼지는 어떻게 생겼을까요?

미세먼지는 눈으로 볼수 있따??

머리카락보다 5배~30배 작다!

1. 미세먼지는 어디서 생길까요?

자연적 배출: 황사, 화산, 산불, 바다 소금

4. 대기오염과 실내공기질

실내공기질은 왜 중요할까?

환경성 질환 증가
원인
악화된
새집증후군
환기증후군



D. 교실별 실내공기질 측정 결과

문서번호 :

실내공기질 측정결과표									
① 학 교 인	상 호 (기관명)	A 학교			② 측 정 종 도	연구용			
	소 재 지 (주 소)				의 의 의	시 설 명			
	대 표 자 (의뢰인)				내 용	규모			
	관 리 책 임 자				용	의 의 함 목			
③ 시 료 표 본 위	대 상 시 설 내 측 정 지 점 선 결	4학년 4반 교실							
	현장 정보	측정지점	실내기상		실외기상 (측정지점대 자료)		관련설비설치 / 가동여부		
		4학년 4반 교실	실내온도(℃)	실내습도(%)	실외온도(℃)	날씨 (강수량)	공기정화설비		기타
		4월 23일	22.5	17.5	20.8	구름조금 (0)			
		4월 24일	22.4	29.9	18.4	구름조금 (0)			
	4월 25일	22.4	44.7	15.6	구름많음 (0)				
해취자 의견									
실행일		2019년 4월 23일 ~ 25일			시료채취자		김홍범, 정석환		
④ 측 정 분 석 과	측정항목	관련기준	측정분석값		I/O ratio	측정분석방법 (공정시험)		비고	
			4학년 4반 교실	도시대기측정소(중심)	분석시간(8:00-18:00)	측정분석방법 (현시행법)			
	미세먼지(PM10)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	51.7	42.9	1.2	중량법, 베타선흡수법			
	4월 23일		53.8	69.8	0.8	광산란법			
	4월 24일		39.3	14.3	2.7	광산란법			
	4월 25일		62.0	50.6	1.2	광산란법			
	초미세먼지(PM2.5)	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	18.4	27.8	0.7	중량법, 베타선흡수법			
	4월 23일		19.7	87.0	0.5	광산란법			
	4월 24일		12.4	15.8	0.8	광산란법			
	4월 25일		23.1	80.0	0.8	광산란법			
	이산화탄소	1,000 ppm	1217.7			비분산적외선분석법			
	4월 23일		1542			비분산적외선분석법			
	4월 24일		938			비분산적외선분석법			
	4월 25일		1173			비분산적외선분석법			
분석기간		2019.05.20-2019.06.07			분석책임자		김홍범		
⑤ 종합 의견		PM10과 PM2.5의 경우 기준치의 1/2 수준으로 관리가 되고 있으나, 002의 농도가 높게 나타나 추가관리가 필요함							
위와 같이 측정분석결과를 사실대로 기록합니다.									
<p style="text-align: center;">충남연구원 서해안기후환경연구소</p> <p style="text-align: center;">충청남도 홍성군 홍북읍 홍예로 380</p> <p style="text-align: center;">Tel 041-830-3924, Fax 041-830-3993</p>									
2019년 06월 11일									

문서번호 :

실내공기질 측정결과표									
① 위 관 리 인	상 호 (기관명)	8 학교			② 의 위 내 용	측 정 용 도	연구용		
	소 개 지 (주 소)					시 설 명	교육시설(학교)		
	대 표 자 (학원인)					규 모	153.5 m ²		
	관 리 해 밀 자					의 의 항 목	PM10 외 2종		
③ 시 료 채 취	대 상 시 설 내 측 정 지 점 선 정		8학년 1반 교실						
	현 장 경 도	측정지점	실내기상		실외기상 (측정기상대 자료)		관련설비설치 / 가동여부		
		8학년 1반 교실	실내온도(℃)	실대습도(%)	실외온도(℃)	날씨 (광수량)	공기정화설비		기타
		5월 07일	28.4	29.4	18.1	구름조금 (0)			
		5월 08일	24.7	88.4	18.8	구름조금 (0)			
		5월 09일	25.0	80.4	19.7	구름많음 (0)			
	채취자 의견								
채취일		2019년 5월 07일 - 09일			시료채취자		김종범, 정복한		
④ 측 정 분 류 소 분 류	측정항목	관련기준	측정분석값		I/O ratio	측정분석방법 (공정시험) 측정분석방법 (현시행법)		비고	
			8학년 1반 교실	ADM5	분석시간(8:00-18:00)				
	미세먼지(PM10)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	52.8	38.2	1.8	중량법, 베타선흡수법			
	5월 07일		51.4	42.4	1.2	광산량법			
	5월 08일		53.7	46.6	1.2	광산량법			
	5월 09일		51.8	28.7	1.8	광산량법			
	초미세먼지(PM2.5)	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	9.2	18.8	0.7	중량법, 베타선흡수법			
	5월 07일		9.7	12.4	0.8	광산량법			
	5월 08일		10.4	18.5	0.6	광산량법			
	5월 09일		7.4	11.0	0.7	광산량법			
	이산화탄소	1,000 ppm	1071.7			비분산적외선분석법			
	5월 07일		1047			비분산적외선분석법			
	5월 08일		984			비분산적외선분석법			
	5월 09일		1184			비분산적외선분석법			
분석기간		2019.05.20-2019.06.07			분석책임자		김종범		
⑤: 총 합 의 려		실내 PM10과 PM2.5 농도는 기준치 절반 수준이나 002는 기준치를 초과하고 있어 이에 대한 대책이 요구됨							
<p>위와 같이 측정분석결과를 사실대로 기록합니다.</p> <p style="text-align: center;">충남연구원 서해안기후환경연구소</p> <p style="text-align: center;">충청남도 홍성군 홍북면 홍예로 380</p> <p style="text-align: center;">Tel 041-880-3924, Fax 041-880-3993</p> <p style="text-align: right;">2019년 08월 11일</p>									

문서번호 :

실내공기질 측정결과표									
① 의 뢰 인	상 호 (기관명)	O 학교				② 의 뢰 내 용	측 정 용 도	연구용	
	소 개 지 (주 소)						시 설 명	교육시설(학교)	
	대 표 자 (의뢰인)						규 모	164.7 m ²	
	관 리 책 일 자						의 의 항 목	PM10 외 2종	
③ 시 료 표 현 처	대 상 시 설 내 측 정 지 점 선 정		1학년 1반 교실						
	현장 정보	측정지점	실내기상		실외기상 (충청기상대 자료)		관련설비설치 / 가동여부		
		1학년 1반 교실	실내온도(℃)	상대습도(%)	실내온도(℃)	날씨 (강수량)	공기정화설비	기타	
		5월 16일	22.6	17.6	20	구름조금 (0)			
		5월 17일	22.4	29.9	21.7	구름조금 (0)			
		5월 18일	22.4	44.7	21.4	구름대량 (0)			
	채취자 의견								
채취일		2019년 5월 16일 ~ 18일			시료채취자		김종범, 정석환		
④ 측 정 내 容 내 容	측정항목	관련기준	측정분석과		I/O ratio	측정분석방법 (공정시험)	비고		
			1학년 1반 교실	도시대기측정소	분석시간(7:00-19:00)	측정분석방법 (현시행법)			
	미세먼지(PM10)	100 µg/m ³	84.6	28.6	1.2	중량법, 웨단선흡수법			
	5월 16일		88.1	80.6	1.2	광산량방법			
	5월 17일		88.3	88.3	1.1	광산량방법			
	5월 18일		29.6	21.8	1.4	광산량방법			
	초미세먼지(PM2.5)	35 µg/m ³	9.8	10.0	1.0	중량법, 웨단선흡수법			
	5월 16일		8.3	7.7	1.1	광산량방법			
	5월 17일		10.0	11.7	0.9	광산량방법			
	5월 18일		11.0	10.5	1.0	광산량방법			
	이산화탄소	1,000 ppm	884	없음		비분산적외선분석법			
	5월 16일		707			비분산적외선분석법			
	5월 17일		884			비분산적외선분석법			
	5월 18일		881			비분산적외선분석법			
분석기간		2019.05.20-2019.06.07			분석책임자		김종범		
⑤ 총 합 의 견		PM10과 PM2.5 모두 의거와 유사하거나 약간 높게 나타났으며, CO2는 잘 관리되고 있음							
위와 같이 측정분석결과를 사실대로 기록합니다.									
<p style="text-align: center;">충남연구원 서해안기후환경연구소</p> <p style="text-align: center;">충청남도 홍성군 홍북면 홍예로 380</p> <p style="text-align: center;">Tel 041-830-8924, Fax 041-830-8993</p>									
2019년 06월 18일									

연구책임	김종범 기후변화대응연구센터 책임연구원
연구참여	이상신 기후변화대응연구센터 책임연구원
	윤수향 기후변화대응연구센터 연구원
	김아람 기후변화대응연구센터 연구원
	정석한 기후변화대응연구센터 연구원

정책지원과제 2019-04

학교 미세먼지 저감을 위한 통합관리방안 구축 사전조사 연구
(내포신도시를 중심으로)

발행일 : 2019년 06월

발행인 : 충남연구원장

발행처 : 충남연구원 서해안기후환경연구소

(32258) 충청남도 홍성군 홍북읍 홍예로 360

홈페이지 <http://www.shari.re.kr>

발간등록번호 : -
