

일부 초등학교 교실 내 공기청정기  
사용에 따른 실내오염물질 저감  
효과 분석

연세대학교 대학원

보건학과

박 은 우

일부 초등학교 교실 내 공기청정기  
사용에 따른 실내오염물질 저감  
효과 분석

연세대학교 대학원

보건학과

박 은 우

일부 초등학교 교실 내 공기청정기 사용에  
따른 실내오염물질 저감 효과 분석

지도 신 동 천 교수

이 논문을 보건학 석사학위논문으로 제출함


2011년 12월 일


연세대학교 대학원


보건학과

박 은 우

박은우의 보건학석사 학위논문을 인준함

심사위원 신 동진 

심사위원 임 영욱 

심사위원 양 지연 

연세대학교 대학원

2011년 12월 일

## 감사의 글

먼저 부족한 저에게 학문의 길을 계속 걸어갈 수 있도록 이끌어주신 하나님 아버지께 감사드립니다.

저를 보건학과 학생으로, 환경공해연구소 연구원으로 환경보건학이라는 학문을 접할 수 있게 기회를 주시고 학자의 견지에서 많은 말씀과 도움 아끼지 않으셨던 신동천 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 바쁘신 중에서도 세심한 논문 지도와 인생의 선배로써 지성 뿐만 아니라 인성에 대해서도 많은 조언을 주셨던 임영욱 교수님, 연구 과제를 통해 저에게 많은 기회를 주시고 새로운 지식에 눈뜨게 해주신 양지연 교수님, 보건학 수업을 통해 저에게 많은 지식과 관심을 보여주신 김창수 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

또한, 학부 생활부터 대학원 생활까지 저에게 큰 관심과 애정을 보여주시고 힘들고 지칠때마다 용기 주시고 걱정해주셨던 양원호 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

항상 무뚝뚝하지만 한번씩 따뜻한 말로 감동을 주시고 물고기를 잡아주기 보다는 물고기 잡는 법을 가르쳐주셨던 이용진 박사님, 많이 부족한 저에게 긍정의 힘을 보여주시고 학업과 연구소 생활에서 하나부터 열까지 죄송스러울만큼 많은 도움을 주셨던 호문기 선생님, 연구소 생활에 많은 자문을 주셨던 김호현, 김진용 선생님께도 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

희노애락을 함께 나눈 소중한 나의 동기 수희와 생년월일이 같아서 더욱 애뜻했던 인영이, 초면부터 고민상담가가 되어준 속 깊은 다혜와 함께한 연구소 생활을 통해 저는 또 다른 재산을 얻었고, 또한 많은 것을 알게 해 준 선·후배들에게 고맙다는 말 전하고 싶습니다.

멀리 떨어져있어 자주 만날 수는 없었지만, 서울-대구를 오가면서 다른 스케줄 다 제치고 항상 함께해 준 지혜, 유나, 주연이의 많은 관심과 응원이 고마울 따름입니다.

마지막으로 항상 제 석사과정을 묵묵히 지켜 봐 주시고 사랑으로 보듬어주신 제 가족들에게 감사함을 전하며, 특히 부족한 맏딸이 잘되기만을 늘 기도해주시고 학업과 과제 일로 지쳐 힘들고 속상해 할 때마다 나보다 당신이 더 가슴 아파하며 늘 품에 꼭 안고 사랑한다고 말해주셨던 엄마, 못난 언니 때문에 자기 일로도 바쁘지만 매 끼니마다 오첩밥상을 차려주고 새벽 늦게까지 작업할때마다 조용히 함께 밤 새워주었던 내 동생 누리에게 한없는 감사함과 사랑을 느끼며, 이 조금만 결실과 함께 좀 더 나아가는 모습을 보일 것을 약속합니다.

2011년 12월

박은우 사립

# 차 례

국문요약	i
<b>I. 서론</b>	<b>1</b>
<b>II. 연구 방법</b>	<b>4</b>
1. 연구내용	4
2. 연구방법	6
2.1. 어린이 건강 영향에 미치는 교사 내 실내공기질 평가	6
2.2. 측정방법에 따른 실내오염물질 포집효율 평가	6
2.2.1. 미세먼지(PM-10)	8
2.2.2. 폼알데하이드(HCHO)	10
2.3. 실내공기질 개선에 따른 교사 내 실내공기질 평가	11
2.3.1. 대상 물질 선정 및 측정 방법	11
2.3.2. 실내공기질 개선에 대한 인식도 조사	12
2.3.3. 실내오염물질 저감율과 교실 특성간의 관련성 평가	12
2.3.4. 실내오염물질 저감율과 인식도 간의 관련성 평가	13
<b>III. 연구 결과</b>	<b>14</b>
1. 어린이 건강 영향에 미치는 교사 내 실내공기질 평가	14
2. 학교 실내공기질 개선에 따른 실내환경 및 인식도 평가	17
2.1. 학교 실내공기질 개선에 따른 실내오염물질 저감효율 평가	17
2.2. 실내오염물질 저감율과 학교 특성간의 관련성 평가	23
2.3. 실내오염물질 저감율과 실내 공기질 개선에 대한 인식도 간의 관련	

성 평가	30
IV. 고 찰	35
V. 결 론	39
참 고 문 헌	41
부 록	45
Abstract	47



## 표 차례

표 1. 연구대상물질의 실내공기 중 오염도 측정법 비교 -----	7
표 2. 다양한 조건에서의 미세먼지 측정법에 따른 실내공기 중 오염도 비교 --	8
표 3. 미세먼지의 측정법에 따른 일반 주택에서의 실내공기 중 오염도 -----	9
표 4. 다양한 조건에서의 폼알데하이드의 측정법에 따른 실내공기 중 오염 도 비교 -----	10
표 5. 폼알데하이드의 측정법에 따른 일반주택에서의 실내공기 중 오염도 ---	10
표 6. 초등학교 교실 내 미세먼지 농도 -----	15
표 7. 초등학교 교실 내 폼알데하이드 농도 -----	16
표 8. 공기청정기 가동 전 · 후에 따른 미세먼지 농도 -----	18
표 9. 교실 유형별 기기 가동 전 · 후에 따른 미세먼지 농도 -----	19
표 10. 공기청정기 가동 전 · 후에 따른 폼알데하이드 농도 -----	20
표 11. 교실 유형별 기기 가동 전 · 후에 따른 폼알데하이드 농도 -----	22
표 12. 대상 초등학교의 일반적 특성 -----	24
표 13. 학교 건축년도와 실내 오염물질 제거율과의 관련성 비교 -----	25
표 14. 교실 내 학생 인원수와 실내 오염물질 제거율과의 관련성 비교 -----	26
표 15. 교실 내 1일 환기 횟수와 실내 오염물질 제거율과의 관련성 비교 -----	27
표 16. 교실 내 1일 청소 횟수와 실내 오염물질 제거율과의 관련성 비교 -----	28
표 17. 1일 기기 사용 시간과 실내 오염물질 제거율과의 관련성 비교 -----	29
표 18. 설문 대상자의 일반적 특성 -----	30
표 19. 실내공기질 개선에 대한 인식 조사 -----	32
표 20. 1일 실내공기질 개선 인식도와 실내오염물질 제거율과의 관련성 비교 -----	34

## 그림 차례

그림 1. 연구의 틀 -----	5
그림 2. 연구대상물질의 실내공기 중 오염도 측정 전경 -----	7
그림 3. 공기청정기 가동 전 · 후에 따른 미세먼지 농도 추이 -----	18
그림 4. 공기청정기 가동 전 · 후에 따른 폼알데하이드 농도 추이 -----	21

## 국문 요약

실내공기오염으로부터 민감한 어린이들의 건강보호 차원에서 체류시간이 긴 교실을 대상으로 건강 위해오염원을 제거할 수 있는 개선조치가 필요하며, 교사 내 적합한 공기정화장치를 구축하여 학교에서 발생될 수 있는 유해물질과 외부환경으로부터 건강에 미치는 악영향을 최소화할 수 있는 방안 마련이 필요하다.

이에 본 논문에서는 기존 선행 연구 결과를 바탕으로 현 초등학교 실내 공기질 수준이 어린이 건강에 영향을 줄 수 있는 여부에 대한 평가를 통해 2011년 8월 10일 ~9월 10일 한달 동안 기존 초등학교에 설치된 공기청정기 사용이 학교 실내공기질 저감 및 어린이 건강 영향을 최소화 시킬 수 있는지에 대한 효과 분석을 통해 공기청정기 사용이 초등학교 실내공기질 개선 도구로 적합한지에 대해 평가하여 다음과 같은 주요 결과를 도출하였다.

첫째, 실내공기질 개선 도구인 공기청정기 가동 전·후에 따른 교실 미세먼지 농도는 각각  $87\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 폼알데하이드 농도는 각각  $26\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $24\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 교육인적자원부 학교보건법 환경기준치(미세먼지, 폼알데하이드 모두  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ )보다 모두 낮은 수준이었다. 공기청정기 가동 전·후 물질별 농도 차이는 미세먼지  $7\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 폼알데하이드  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 공기청정기 가동에 따른 농도 감소는 통계적으로 유의하게 나타났다( $p<0.05$ ).

둘째, 학교보건법 환경기준치와 비교하여 각 물질별 공기청정기 가동 전에 측정된 농도를 참고기준치 초과그룹( $>100\mu\text{g}/\text{m}^3$ )과 미만그룹( $<100\mu\text{g}/\text{m}^3$ )으로 나누어 평가한 결과, 물질 모두 참고기준치를 초과하는 그룹에서 공기청정기 가동 전·후에 따른 미세먼지 농도는 각각  $170\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $141\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 폼알데하이드 농도는 각각  $126\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $81\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 오염 제거율이 통계적으

로 유의하게 높은 수준으로 나타났다( $p < 0.05$ ).

셋째, 공기청정기 사용을 통한 실내오염물질 저감율과 실내공기질 개선에 대한 인식도 간의 관련성이 없는 것으로 평가되었는데 이는 주관적인 의견이 내포되는 설문조사의 한계와 체류자들의 기기 가동에 대해 무관심 또는 실내 쾌적성을 체감하지 못하는 것으로 판단되어졌다.

이상의 연구 결과를 종합하여 볼 때, 공기청정기 가동 전·후에 따른 실내오염물질의 농도는 통계적으로 유의하게 감소하였지만, 절대치 수치에 의한 분석시 저감 효과가 있다고 판단하기에는 한계가 있는 것으로 평가되어 기존의 학교 내 설치된 공기청정기의 적용이 실내공기질 개선 및 관리의 적절한 도구로 평가할 수는 없었다.

따라서 향후 중량분석을 통한 실내·외 공기의 동시측정을 기반으로 다양한 실내공기질 개선 도구간의 효과 분석을 통해 어린이가 체류하는 초등학교에 적절한 실내공기질 개선 도구에 대한 제안이 요구될 것으로 사료되어진다.

---

핵심되는 말 : 실내공기질, 초등학교, 공기청정기, 영향요인, 인식도

## I. 서론

오늘날, 실내공기오염의 중요성이 인식되기 시작된 배경을 보면 다음과 같다. 첫째, 인간은 하루 24시간 중 90%이상을 실내에서 생활하는 것으로 조사 보고 되었다. 둘째, 대기오염은 자연적인 희석률이 크고, 사회적 인식 확대, 각종 규제 등으로 인하여 대기오염이 억제되고 있으나, 실내공기는 한정된 공간에서 인위적인 설비를 통하여 오염된 공기가 계속적으로 순환되면서 그 농도가 인체에 영향을 미칠 수 있을 정도로 증가될 수 있다. 셋째, 공공건물뿐만 아니라 일반주택에도 새로운 건축자재가 사용되고 있는데 건축자재는 여러 가지 오염물질을 방출하며, 다양한 생활용품의 사용 증가에서도 예상하지 못한 공기오염물질이 방출된다. 넷째, 에너지 저감을 위해 건물의 밀폐화가 진행되면서 건물 내 거주자들이 일시적 또는 만성적인 건강과 관련된 증상을 호소하는 사례가 증가되고 있다.

따라서, 실내에서의 공기오염물질 노출이 실외 대기노출 보다 실내 체류자의 건강장해를 야기할 수 있음을 알 수 있었는데 기존의 초등학교 내 실내오염물질에 대한 연구 결과에서도 확인이 가능하였는데, 초등학교 실내·외 공기를 측정된 결과 미세먼지 및 폼알데하이드 농도의 실외/실내 ratio 비율은 1을 초과하여 실외보다 실내에서 높게 조사되어 내부 오염원 발생으로 인한 누적 오염이 증가하는 것으로 조사되었다(교육인적자원부, 2007; 환경부, 2009; 안상영 등, 2006).

이를 바탕으로 최근 학교의 실내공기에 대한 국제적인 관심이 점차적으로 증가하고 있는데, 이는 어린이가 학교에서 보내는 시간이 하루 24시간 중 10시간으로 꽤 많은 시간이며(Leickly, 2003), 같은 공간에서의 대기오염에 대한 건강영향이 어른에 비해 어린이가 높기 때문이다(WHO, 2005).

그러므로 쾌적한 실내 환경 조성과 제실자들의 건강유지를 위하여 실내공기질 관리는 반드시 필요하다. 특히, 대부분의 제실자가 성인인 사무실과 주거공간과 달리 초등학교는 어린이가 집단으로 제실하고 있다는 점에서 쾌적한 실내공기질의 유지는 중요하다고 할 수 있다.

또한, 어린이가 성인보다 대사율이 높아 실내오염에 대한 건강영향이 크다는 점과 어린이 생활활동패턴이 실외보다 실내에서 많이 이루어진다는 점을 고려하면 실내오염이 어린이에 미치는 건강영향을 과소평가해서는 안 되는 것으로 확인되었다.

최근 실내 생활공간에서의 미세먼지와 유해가스 등에 대한 인체 유해성에 대한 문제와 관심이 부각됨에 따라 실내공기질 개선 방안으로 환기 및 청소 방법과 식물 도입, 친환경 내장재 사용, 공기청정기 가동 등의 다양한 방법이 제안되고 있다. 특히, 실내 공기청정기의 사용과 시장이 매우 증가하고 있는 추세로 현재 사용되어지고 있는 공기청정기는 일반적으로 기계식, 전기식, 복합식으로 청정 방식에 따라 구분되는데 각 유형별 실내오염물질 제거율이 다르다.

선행 연구결과에서는 공기청정기 유형별 집진 효율을 평가한 결과 필터식과 복합식 기기에서 70% 이상의 높은 집진 효율을 보였으며, 폼알데하이드 제거효율의 경우, 필터식과 복합식 및 습식에서 각각 약 85%, 67.5%, 51.3% 이상의 제거효율이 나타난 것으로 보고되었다(한국기계연구원, 2006).

따라서 실내공기오염으로부터 민감한 학생들의 건강보호 차원에서 체류시간이 긴 교실을 대상으로 건강 위해오염원을 제거할 수 있는 개선조치가 필요하며, 교사 내 적합한 공기정화장치를 구축하여 학교에서 발생될 수 있는 유해물질과 외부환경으로부터 건강에 미치는 악영향을 최소화할 수 있는 방안 마련이 필요하다.

본 연구에서는 선행연구 고찰을 통해 초등학교 실내공기질 실태조사를 바

탕으로 초등학교에 기존의 설치되어진 공기청정기 사용을 통해 실내오염물질 감소와 실내 체류자의 건강 영향을 최소화 시킬 수 있는지에 대한 평가를 바탕으로 학교 교실 내 공기청정기 사용이 실내공기질 개선 도구로 적절한지에 대해 평가하였다.

본 연구의 세부 목적은 다음과 같다.

첫째, 현 초등학교 실내오염물질 실태조사를 통해 학교 실내공기질 수준과 교실 내 어린이 건강에 영향을 주는 요인을 평가하고,

둘째, 실내공기질 개선 도구인 공기청정기 적용을 통해 학교 실내오염물질의 제거 효율을 평가하고,

셋째, 공기청정기의 실내오염물질 저감 효과 분석을 통해 실내공기질 개선과 유지·관리의 적절한 도구로의 가능성을 평가하고자 한다.

## Ⅱ. 연구 방법

### 1. 연구내용

교사 내 어린이의 건강 영향에 미치는 실내공기질 정도를 파악하기 위해 본 연구에서는 기존의 초등학교 실내오염물질 실태조사 자료를 활용하여 학교 실내공기질 수준을 평가하였으며, 현재 초등학교에 설치된 공기청정기 사용이 학교 실내공기질 개선 도구로 적절한지 평가하였다.

측정된 자료는 교육인적자원부의 실내 환경기준치(이하 참고기준치)와 비교하여 참고기준치 초과 그룹과 참고기준치 미만 그룹으로 나누어 공기청정기의 실내오염물질 제거율 평가를 통해 학교 내 공기청정기 적용 가능성에 대해 평가하였다.



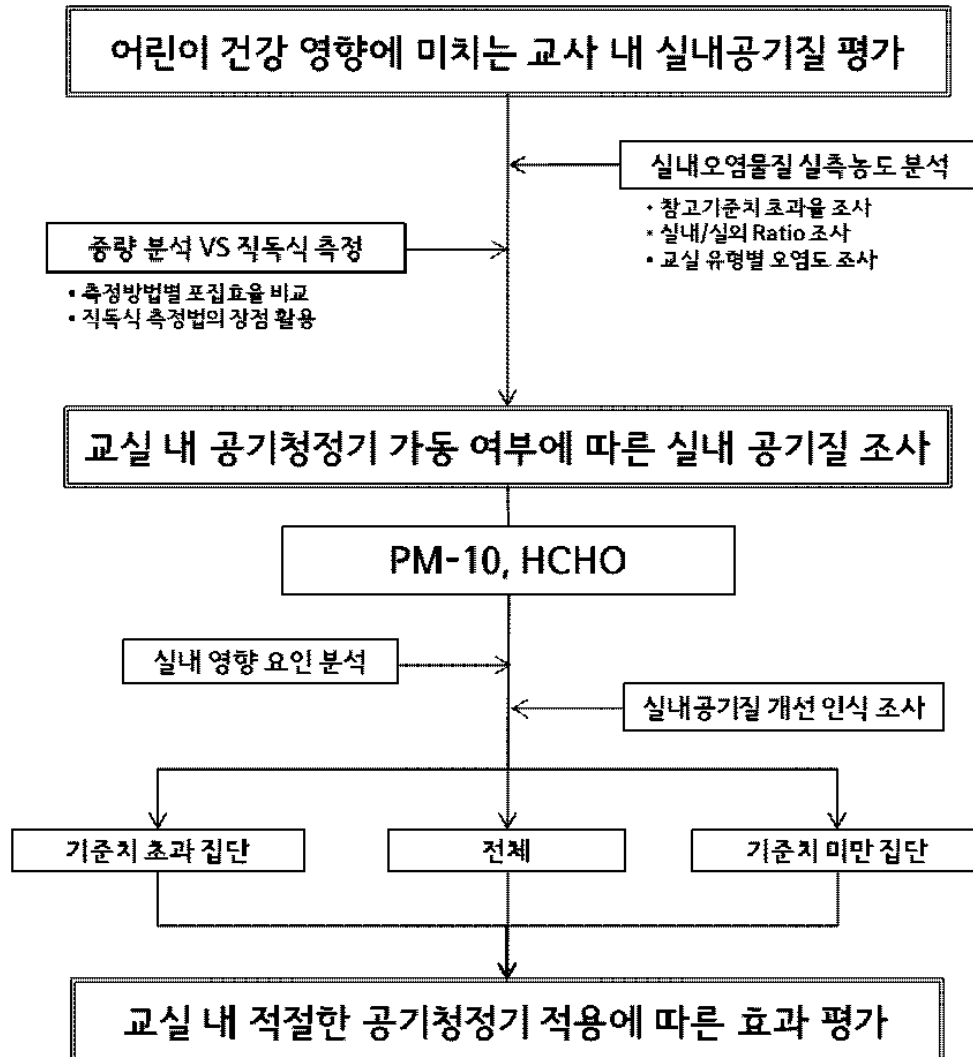


그림 1. 연구의 틀

## 2. 연구방법

### 2.1. 어린이 건강 영향에 미치는 교사 내 실내공기질 평가

#### 2.1.1. 교사 내 공기질 관련 자료 수집

교사 내 주 체류자인 어린이의 건강 영향에 미치는 실내공기질 수준을 파악하기 위해 본 연구에서는 기존의 초등학교 실내오염물질 실태조사 자료를 활용하여 학교 실내공기질 수준을 평가하였다.

수집된 초등학교 실내오염물질 실태조사 자료는 국내 학회 및 국가 연구과제 결과 자료를 바탕으로 참고하였다.

### 2.2. 측정방법에 따른 실내오염물질 포집효율 평가

본 연구에서는 측정 시료 수의 제한을 줄이기 위해, 측정이 간편하고 결과 확인이 신속한 직독식 기기를 이용하여 학교 실내오염물질을 조사하였다. 하지만 직독식 기기의 경우, 중량 측정에 비해 측정 자료의 신뢰성이 부족하므로 정량식 측정과 직독식 측정의 실내오염물질 포집 효율 자료를 활용하여 직독식 및 정량식 측정에 대한 비교·평가 자료를 통해 각 측정방법별 실내오염물질 포집 효율을 파악하였다.

측정 대상 물질은 미세먼지(PM-10), 폼알데하이드(HCHO)에 대해 직독식과 정량식 기기를 비교·평가하였으며, 시료채취 위치는 실험실 중 주변시설 등에 의한 영향과 부착물 등으로 인한 측정 장애가 없으며 밀폐된 공간인 시약실에서 문을 닫은 밀폐된 상태와 실내 가정 내에서 측정하였다.

표 1. 연구대상물질의 실내공기 중 오염도 측정법 비교

평가항목		미세먼지 (PM-10)	폼알데하이드 (HCHO)
시료채취시간	직독식	6시간	30분
	정량식	6시간	30분
시료채취방법	직독식	6시간동안 10분단위로 연속측정	30분간 연속측정
	정량식	동일한 시간대 3회(4set)측정	30분 3회(8set)측정
실험 기기	직독식	Dustmate	Z300xp, haltech105
	정량식	Mini vol	SIBATAPump

※ 측정방법에 따른 실내오염물질 포집효율 평가 결과는 질병관리본부 (2010) 국민건강영양조사(검진조사분야) 기반의 가정 실내환경 및 알레르기질환 조사 모형 개발 결과임



그림 2. 연구대상물질의 실내공기 중 오염도 측정 전경

### 2.2.1. 미세먼지(PM-10)

미세먼지의 직독식과 정량식 측정법을 비교한 결과, 실험실 내에서 측정된 경우에는 정량식 결과가 직독식 결과에 비해 높게 조사되는 경향을 보였다. 정량식 결과의 경우 회차에 따라 결과의 차이를 보였으며, 직독식 결과의 경우 회차에 따라 안정된 결과값을 나타내었다.

정량식과 직독식의 결과 차이는 정량식이 직독식에 비해 평균 31.5~40.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 차이로 약 3.3배 높은 수준을 보였다. 이는 현장 측정상황과는 달리 특정 외부요인의 영향을 받는 조건이 없는 실험실에서 측정되어 나타난 결과로 추정되었다.

표 2. 다양한 조건에서의 미세먼지 측정법에 따른 실내공기 중 오염도 비교

항목	시료 채취시간	정량식 (평균±표준편차)	직독식 (평균±표준편차)	직독식-정량식 (평균±표준편차)	온도 (℃)	습도 (%RH)
PM-10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	3회 (회/30분)	46.4±18.8	13.8±4.8	-32.6±14.0	22.0±0.4	25.9±1.3

\* 질병관리본부 (2010) 국민건강영양조사(검진조사분야) 기반의 가정 실내환경 및 알레르기질환 조사 모형 개발

실제 가정 내에서 측정된 경우에는 특정 외부요인의 영향을 받지 않는 실험실과는 다르게 직독식이 정량식에 비해 약 2배 높은 수준으로 측정되어 과대평가되는 경향을 보였다.

표 3. 미세먼지의 측정법에 따른 일반 주택에서의 실내공기 중 오염도

구분		직독식	정량식	ratio <sup>1)</sup>
PM-10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	평균±표준편차	83.0±74.4	52.3±38.0	63.01
	범위 (Min~Max)	13.8~414.3	16.5~186.9	

\* 질병관리본부 (2010) 국민건강영양조사(검진조사분야) 기반의 가정 실내환경 및 알레르기질환 조사 모형 개발

1) 정량식/직독식 ratio

## 2.2.2. 폼알데하이드(HCHO)

폼알데하이드의 직독식과 정량식을 비교한 결과, 실험실 내에서 측정된 경우에는 직독식이 정량식에 비해 높게 조사되는 경향을 나타내었다.

정량식과 직독식의 비교 결과, 직독식이 정량식에 비해 평균 0.05 ppm의 차이를 보여 학술적인 자료 활용에는 직독식의 사용은 타당성이 떨어지는 것으로 확인할 수 있었다.

표 4. 다양한 조건에서의 폼알데하이드의 측정법에 따른 실내공기 중 오염도 비교

항목	시료 채취시간	정량식 (평균±표준편차)	직독식 (평균±표준편차)	직독식-정량식 (평균±표준편차)	온도 (℃)	습도 (%RH)
HCHO (ppm)	30분	0.02±0.005	0.07±0.04	0.05±0.035	21.7±0.3	26.7±0.9

\* 질병관리본부 (2010) 국민건강영양조사(검진조사분야) 기반의 가정 실내환경 및 알레르기질환 조사 모형 개발

특정 외부요인의 영향을 받지 않는 실험실과 마찬가지로 실제 가정 내에서 측정된 경우에도 직독식이 정량식에 비해 과대평가되는 경향을 보였다.

표 5. 폼알데하이드의 측정법에 따른 일반주택에서의 실내공기 중 오염도

구분		직독식	정량식	ratio <sup>1)</sup>
HCHO (ppm)	평균±표준편차	0.205±0.185	0.006±0.003	2.93
	범위 (Min~Max)	0.020~0.780	0.002~0.019	

\* 질병관리본부 (2010) 국민건강영양조사(검진조사분야) 기반의 가정 실내환경 및 알레르기질환 조사 모형 개발

1) 정량식/직독식 ratio

## 2.3. 실내공기질 개선에 따른 교사 내 실내공기질 평가

### 2.3.1. 대상 물질 선정 및 측정 방법

실내공기질 개선 방안으로는 환기 및 청소 방법과 식물 도입, 친환경 내장재 사용, 공기청정기 가동 등의 다양한 방법이 제안되어지고 있다.

최근 다수의 초등학교에서는 실내공기질 개선을 위해 공기청정기를 설치·운영하고 있다. 이에 본 연구에서는 공기청정기 가동을 통해 실내오염물질 저감효율 평가를 통해 초등학교 실내공기질 개선 도구로 공기청정기 사용이 적절한지에 대해 평가하였다.

본 연구는 2011년 8월 10일 ~ 2011년 9월 10일 동안 전국 초등학교 내 공기청정기가 설치된 교실을 대상으로 각 교육청별로 해당 지역 내 초등학교의 실내 미세먼지(PM-10), 폼알데하이드(HCHO)를 동시기에 측정하였다.

측정 대상의 각 교실은 위치, 면적, 구조, 학생 수(남·녀 학생수 비율 포함) 등의 측정조건이 가장 유사한 교실들로 선정하였으며, 측정 장소는 일반 교실 외 보건실, 과학실 등 설치장소를 다양하게 선정하였다.

본 연구에 평가된 공기청정기는 지역 교육청별 설치·운영되고 있는 공기청정기를 대상으로 기기 유형별(기계식, 전기식, 복합식)로 무작위 선정하였으며, 실내오염물질 시료 채취는 교실 내 공기청정기 가동 전·후에 호흡기 영역인 바닥으로부터 1.2~1.5m, 공기청정기로부터 직선거리로 최소 5m 이격된 위치에서 각각 측정하였으며, 기기 가동상태의 측정시 정격풍량 등을 고려하여 1회 환기량 이상 가동 후 측정하였다. 시료 채취 방법은 “학교 교사내 환경위생 및 식품위생 관리 매뉴얼”을 기반으로 현장직독식 방법으로 수행하였다.

### 2.3.2. 실내공기질 개선에 대한 인식도 조사

본 연구에서는 학교 교실 내 공기청정기 사용을 통해 실내공기질 개선에 대한 체류자들의 인식 정도를 확인하기 위해 공기청정기가 설치된 교실 내 교사와 어린이를 대상으로 무작위 선정하여 공기청정기 가동 전·후에 따른 학교 실내공기질 개선에 대한 실내 체류자의 인식 정도를 알아보기 위해 인식도 조사를 진행하였다.

인식도 조사 방법은 각 공기청정기가 설치된 교실에 체류하는 교사와 학생에게 설문지를 통해 조사하였다. 설문 대상자들의 공기청정기 사용을 통한 실내공기질 개선에 대하여 주관적인 만족감을 알아보기 위해 “매우 만족한다”, “보통이다”, “약간 불만족한다”, “매우 불만족한다”, “잘 모르겠다”의 6가지 등급으로 조사하였다.

### 2.3.3. 실내오염물질 저감율과 교실 특성간의 관련성 평가

본 연구에서는 학교 교실 특성과 공기청정기 사용을 통한 실내오염물질 저감율간의 관련성을 평가하기 위해 교사를 대상으로 학교 특성(건축년도, 실내 인원수) 및 교실 내 환기·청소 여부 및 기기 사용시간에 대해 설문조사를 실시하였다.



#### 2.3.4. 실내오염물질 저감율과 인식도 간의 관련성 평가

본 연구에서는 교실 내 공기청정기 가동을 통해 실제로 교사와 어린이가 실내공기질이 개선되었다고 느끼는지에 대해 알아보기 위하여, 학교 교실 내 공기청정기 가동에 따른 실내 미세먼지와 폼알데하이드의 저감 효율과 교사와 어린이의 실내공기질 개선에 대한 인식 정도 간의 관련성 여부를 평가하였다.

### Ⅲ. 연구 결과

#### 1. 어린이 건강 영향에 미치는 교사 내 실내공기질 평가

##### 1.1. 초등학교 실내공기질 수준 평가

###### 1.1.1. 미세먼지 (PM-10)

선행 연구를 통해 초등학교 미세먼지 농도를 평가한 결과, 몇몇 결과에서의 초등학교 미세먼지는 교육인적자원부 학교보건법 기준( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ )을 초과하는 수준으로 나타났다. 대부분의 선행 연구결과에서는 교과부 환경기준을 만족하고는 있으나,  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 수준으로도 조사되어 체류자의 실내 활동량에 따라 환경기준치를 초과할 여지가 있는 것으로 판단되었다.

어린이의 행동 특성상 활동이 많은 점을 고려하였을 때, 실내에서 비산되는 미세먼지가 다른 실내공기에 비해 높은 분포를 보이고 있어 미세먼지에 의한 잠재적 호흡기 영향의 가능성이 존재하고 있는 것으로 판단되어 학교 교실 내 주 체류자인 어린이의 건강 위해가 우려되는 것으로 사료되었다.

표 6. 초등학교 교실 내 미세먼지 농도

연구자 명	실내 미세먼지 농도 (평균±표준편차, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	교사내 실내기준 <sup>1)</sup>	비고
김형진 등 (2009)	81.4±11.5		
노영만 등 (2007)	117.9±44.4		측정 시료 수:20개
정민희 등 (2007)	197.5±107.9		
손종렬 등 (2007)	164.4±57.0	100	신축학교
손종렬 등 (2003)	326.0±330.5		
환경부 (2008)	69.1		측정 시료 수:177개
교육인적자원부 (2007)	88.1±54.5		측정 시료 수:80개

1) 학교보건법(법률 제7396호, 2005.3.24. 공포, 2006. 1. 1 시행)

### 1.1.2. 폼알데하이드 (HCHO)

선행 연구를 통해 초등학교 폼알데하이드 농도를 평가한 결과, 몇몇 결과에서의 초등학교 미세먼지는 교육인적자원부 학교보건법 기준( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ )을 초과하는 수준으로 나타났다. 대부분의 선행 연구결과에서는 교과부 기준을 만족하고는 있으나,  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 수준으로도 조사되어 실내 건축 내장재와 기자재 및 체류자의 의복 등에 의해서도 발생하는 것으로 판단되어 환경기준치를 초과할 여지가 있는 것으로 판단되었다.

실내 폼알데하이드 농도는 사용 빈도가 낮거나 장기간 밀폐된 공간으로 자연환기량이 부족한 경우 등 상황에 따라 높은 수준으로 발생될 수 있으므로 지속적인 환기와 주 발생원이 전자기기, 건축 내장재, 서적 등의 중점적인 관

리가 필요하다고 판단되어졌다.

표 7. 초등학교 교실 내 폼알데하이드 농도

연구자 명	실내 폼알데하이드 농도 (평균±표준편차, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	교사내 실내기준 <sup>1)</sup>	비고
김형진 등 (2009)	49.3±19.0		
노영만 등 (2007)	30.9±18.5		측정 시료 수:20개
손종렬 등 (2007)	66.3±23.5		신축학교
손종렬 등 (2006)	150±170	100	
안산영 등 (2006)	56.9±2.8		
환경부 (2008)	68.3		측정 시료 수:229개
교육인적자원부 (2007)	22.1±15.61		측정 시료 수:81개

1) 학교보건법(법률 제7396호, 2005.3.24. 공포, 2006. 1. 1 시행)

## 2. 학교 실내공기질 개선에 따른 실내환경 및 인식도 평가

### 2.1. 학교 실내공기질 개선에 따른 실내오염물질 저감효율 평가

#### 2.1.1. 미세먼지 (PM-10)

공기청정기 가동 전·후에 따른 학교 미세먼지 평균 농도는 교육인적자원부 실내 환경기준치( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ )보다 모두 낮은 수준으로 나타났다.

미세먼지의 평균 농도는 공기청정기 가동 전에 비해 가동 후 유의한 감소 현상( $p<0.05$ )이 나타났지만, 이는 통계적 수치에 의한 것으로 절대적 수치에 의한 분석시 감소된 농도 차가  $7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 미세먼지 저감 효과가 있는 것으로 판단하기에는 한계가 있는 것으로 평가되었다.

미세먼지의 기기 가동 전 측정된 농도가 교육인적자원부 실내 환경기준치 ( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 기준으로 초과하는 그룹과 초과하지 않는 그룹으로 나누어 평가한 결과, 참고기준치를 초과하는 그룹에서 공기청정기 가동 전에 비해 가동 후 유의한 감소 현상( $p<0.05$ )이 나타났으며, 참고기준치 초과 집단이 참고기준치 미만 집단에 비해 공기청정기 가동 전에 대비 가동 후 미세먼지 제거 효율이 높은 경향을 보였다. 그러나 공기청정기 가동 전에 비해 가동 후 유의한 감소 현상이 나타났지만 참고기준치 초과 그룹에서 가동 후 농도값이 여전히 기준치를 초과하는 것으로 평가되어 교실 내 공기청정기 가동이 실내 미세먼지 농도 수준을 저감시키는 도구로 적절하다고 평가할 수 없었다.

표 8. 공기청정기 가동 전 · 후에 따른 미세먼지 농도

항목	교사내 실내기준 <sup>1)</sup>	가동 전	가동 후	농도 차	제거율	p-value	
		평균±표준편차	평균±표준편차	평균±표준편차	(%)		
전체 (n=509)		87 ± 68	80 ± 74	7 ± 63	8.4	0.010*	
PM-10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	실내기준치 초과 (n=142)	100	170 ± 74	141 ± 80	28 ± 64	16.8	0.000**
	실내기준치 미만 (n=367)		50 ± 27	56 ± 57	-1 ± 61	-11.7	0.785

\*p<0.05, \*\*p<0.001

1) 학교보건법(법률 제7396호, 2005.3.24. 공포, 2006. 1. 1 시행)

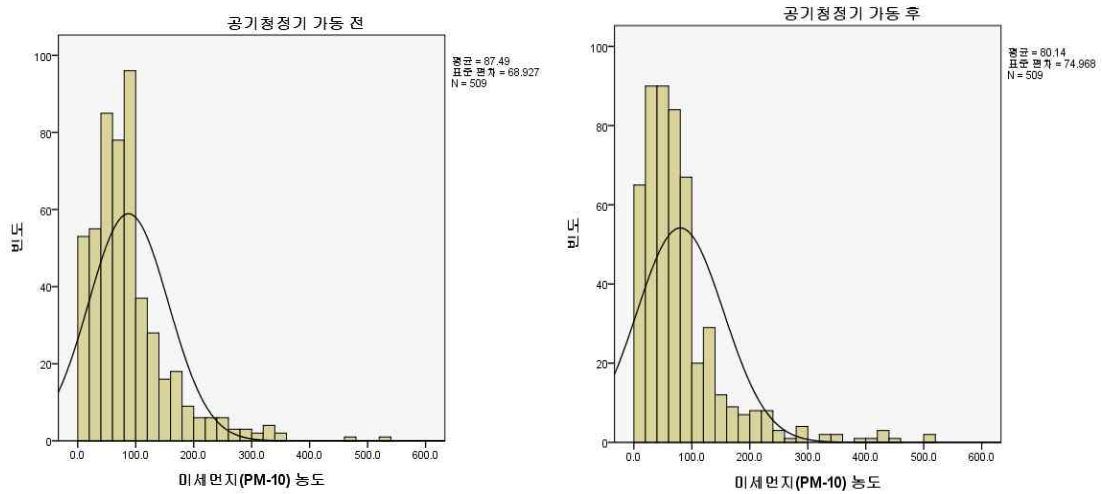


그림 3. 공기청정기 가동 전 · 후에 따른 미세먼지 농도 추이

초등학교 교실 유형별 공기청정기 가동 전 미세먼지 평균 농도는 일반교실 ( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이 특수교실( $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 비해 높게 나타났다.

교실 유형별 미세먼지 저감 효과를 평가한 결과, 기기 가동 전·후에 따른

미세먼지 평균 농도는 일반교실에 비해 특수교실에서의 농도 감소 차가 통계적으로 유의한 감소 현상( $p < 0.05$ )이 나타났다. 미세먼지의 경우, 실내 체류자의 활동량에 의해 재비산 되므로, 교실 이용률이 상대적으로 많은 일반 교실에서 높은 수준으로 나타난 것으로 판단되어졌다.

본 결과는 통계적 수치에 의한 것으로 절대적 수치에 의한 분석시 저감 효과가 있는 것으로 판단하기에는 한계가 있는 것으로 평가되었다.

표 9. 교실 유형별 기기 가동 전 · 후에 따른 미세먼지 농도

항목	교사내 실내기준 <sup>1)</sup>	가동 전	가동 후	농도 차	p-value
		평균±표준편차	평균±표준편차	평균±표준편차	
PM-10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	일반 (N=287)	100 ± 75	96 ± 85	4 ± 78	0.350
	특수 (N=222)	70 ± 55	59 ± 53	11 ± 39	0.000**

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.001$

1) 학교보건법(법률 제7396호, 2005.3.24. 공포, 2006. 1. 1 시행)

### 2.1.2. 폼알데하이드 (HCHO)

공기청정기 가동 전·후에 따른 학교 폼알데하이드 평균 농도는 교육인적자원부 실내 환경기준치( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ )보다 낮은 수준으로 나타났다.

폼알데하이드의 평균 농도는 공기청정기 가동 전에 비해 가동 후 유의한 감소 현상( $p<0.05$ )이 나타났지만, 이는 통계적 수치에 의한 것으로 절대적 수치에 의한 분석시 감소된 농도 차가  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 폼알데하이드 저감 효과가 있는 것으로 판단하기에는 한계가 있는 것으로 평가되었다.

공기청정기 가동 전 측정된 폼알데하이드 농도가 교육인적자원부 실내 환경기준치( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 기준으로 초과하는 그룹( $>100\mu\text{g}/\text{m}^3$ )과 초과하지 않는 그룹( $<100\mu\text{g}/\text{m}^3$ )으로 나누어 평가한 결과, 참고기준치를 초과하는 그룹에서 공기청정기 가동 전에 비해 가동 후 유의한 감소 현상이 나타났으며, 참고기준치 초과 집단이 참고기준치 미만 집단에 비해 공기청정기 가동 전에 대비 가동 후 폼알데하이드 제거 효율이 높은 경향을 보였다.

표 10. 공기청정기 가동 전·후에 따른 폼알데하이드 농도

항목	교사내 실내기준 <sup>1)</sup>	가동 전	가동 후	농도 차	제거율	p-value
		평균±표준편차	평균±표준편차	평균±표준편차	(%)	
전체 (n=509)		26 ± 30	24 ± 29	2 ± 25	8.9	0.041*
HCHO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	100					
실내기준치 초과 (n=17)		126 ± 22	81 ± 60	46 ± 62	36.0	0.008*
실내기준치 미만 (n=492)		22 ± 24	22 ± 25	1 ± 22	3.6	0.409

\*.p<0.05, \*\*.p<0.001

1) 학교보건법(법률 제7396호, 2005.3.24. 공포, 2006. 1. 1 시행)



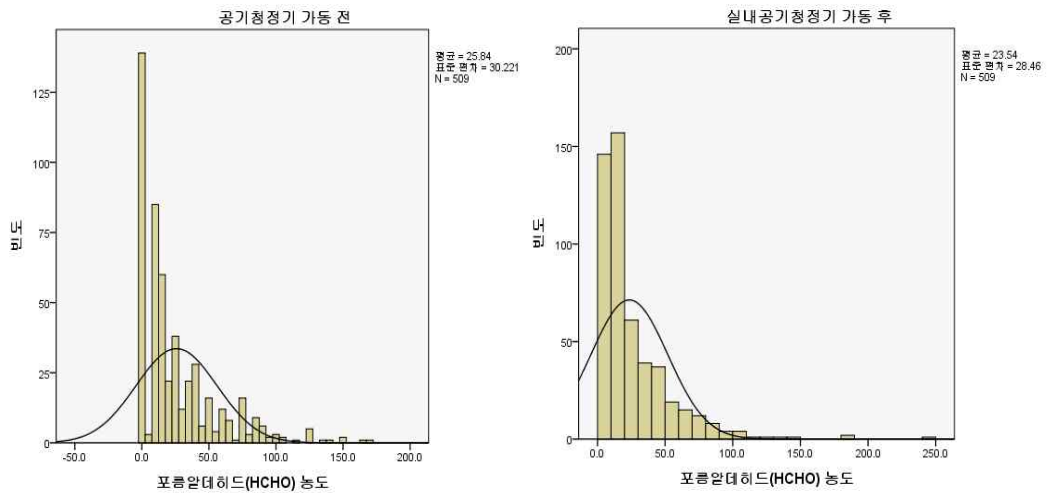


그림 4. 공기청정기 가동 전 · 후에 따른 폼알데하이드 농도 추이

초등학교 교실 유형별 공기청정기 가동 전 폼알데하이드 평균 농도는 특수 교실( $29\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이 일반교실( $22\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 비해 높은 수준으로 나타났다.

이는 특수 교실이 일반 교실에 비해 교실 이용률이 상대적으로 낮고 장기간 밀폐된 공간임을 고려하였을 때 실내 내장재 및 건축자재에 의한 영향으로 인해 폼알데하이드 농도가 높게 나타난 것으로 판단되어졌다.

교실 유형별 기기 가동 전·후에 따른 폼알데하이드 저감 효과를 평가한 결과, 일반교실의 경우 농도 증가하는 경향을 보였으며 특수 교실의 경우 공기청정기 가동 전에 비해 가동 후 유의한 감소 현상( $p < 0.05$ )이 나타났지만, 이는 통계적 수치에 의한 것으로 절대적 수치에 의한 분석시 감소된 농도 차가  $4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 폼알데하이드 저감 효과가 있는 것으로 판단하기에는 한계가 있는 것으로 평가되었다.

표 11. 교실 유형별 기기 가동 전 · 후에 따른 폼알데하이드 농도

항목	교사내 실내기준 <sup>1)</sup>	가동 전	가동 후	농도 차	p-value
		평균±표준편차	평균±표준편차	평균±표준편차	
HCHO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	일반 (n=287)	22 ± 28	23 ± 29	-1 ± 20	0.578
	100				0.221
	특수 (N=222)	29 ± 33	25 ± 28	4 ± 31	0.035*

\*.p<0.05, \*\*.p<0.001

1) 학교보건법(법률 제7396호, 2005.3.24. 공포, 2006. 1. 1 시행)

## 2.2. 실내오염물질 저감율과 학교 특성간의 관련성 평가

본 연구에서의 기기 사용자 만족도 조사를 통해 측정 대상 학교 실태 및 설문 대상자의 일반적 특성을 조사하였다.

### 2.2.1. 학교 교실의 일반적 특성 조사

학교 주변 환경은 주택가(74.8%)가 가장 많았으며, 학교 주변 교통량은 보통 수준(47.1%)으로 보고되었다. 학교의 건축년도는 3년 이상(92.0%)의 건물이 대부분이었으며, 교실 내 체류 인원은 21명~40명 미만(61.6%)이 다수였다.

쾌적한 실내 환경 조성 여부를 확인하기 위해, 교실 내 1일 청소 및 환기 횟수와 공기청정기 사용 시간을 확인하였는데, 청소의 경우 1일 1회 청소(75.2%)를 진행하였으며 1일 환기 횟수는 4회 이상(72.3%)으로 잦은 환기를 시키는 것으로 보고되었다. 실내 공기청정기 사용 시간을 확인한 결과, 보통 학교 교실 내 체류하는 시간과 유사한 4시간~8시간 미만(32.4%)으로 조사되었다.

표 12. 대상 초등학교의 일반적 특성

구 분		응답자 수(명)	비율(%)
주변 환경	주택가	178	74.8
	시내중심	26	10.9
	공단지역	8	3.4
	교외·외곽지역	26	10.9
주변 교통량	많다	64	26.9
	보통이다	112	47.1
	적다	62	26.1
건축년도	1년 미만	8	3.4
	1년 이상 3년 미만	11	4.6
	3년 이상	219	92.0
교실 학생 인원 수	20명 이하	71	30.6
	21명 ~ 40명	143	61.6
	40명 이상	18	7.8
실내화 착용	착용	228	95.8
	미착용	10	4.2
1일 청소횟수	1회	179	75.2
	2회	35	14.7
	3회	-	-
	4회 이상 (수시)	24	10.1
1일 환기횟수	1회	23	9.7
	2회	33	13.9
	3회	10	4.2
	4회 이상 (수시)	172	72.3
1일 기기 사용 시간	12시간 이상	8	3.6
	8시간 ~ 12시간 미만	27	12.0
	4시간 ~ 8시간 미만	73	32.4
	2시간 ~ 4시간 미만	32	14.2
	1시간 ~ 2시간 미만	29	12.9
	1시간 미만	56	24.9

## 2.2.2. 실내오염물질 저감율과 학교 특성간의 관련성 평가

### 2.2.2.1. 학교 건축년도

미세먼지와 폼알데하이드의 경우, 건축년도가 3년 이상인 학교에서 공기청정기의 오염 제거율이 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ).

표 13. 학교 건축년도와 실내 오염물질 제거율과의 관련성 비교

대상 물질	학교 건축년도	응답률 (N)	제거율 (평균±표준편차,%)	p-value
미세먼지 (PM-10)	1년 미만	8	16.13±30.42	0.048*
	1년 이상 3년 미만	11	-8.22±53.52	
	3년 이상	213	19.33±35.16	
폼알데하이드 (HCHO)	1년 미만	8	3.22±19.29	0.000**
	1년 이상 3년 미만	11	-34.90±50.25	
	3년 이상	219	2.41±26.72	

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.001$

### 2.2.2.2. 교실 인원수

본 연구 결과 교실 내 미세먼지와 폼알데하이드는 학교 교실 내 학생 인원수와 공기청정기의 오염 제거율이 통계적으로 유의한 관련성이 없는 것으로 평가되었다.

표 14. 교실 내 학생 인원수와 실내 오염물질 제거율과의 관련성 비교

대상 물질	교실 인원수	응답률(N)	제거율(평균±표준편차,%)	p-value
미세먼지 (PM-10)	20명 이하	60	28.72±23.45	0.592
	21명 ~ 40명	111	16.97±30.82	
	41명 이상	61	8.99±51.03	
폼알데하이드 (HCHO)	20명 이하	71	-3.30±21.35	0.328
	21명 ~ 40명	143	2.59±32.98	
	41명 이상	18	4.41±18.74	

### 2.2.2.3. 1일 환기 횟수

교실 내 미세먼지와 폼알데하이드 모두 공기청정기 가동 전 대비 가동 후 오염물질 제거율과 실내 1일 환기 횟수와 유의한 상관성은 나타나지 않았다.

통계적으로 유의하지는 않았지만, 미세먼지의 경우 환기 횟수가 4회 이상 실시하는 교실에서 공기청정기 오염 제거율이 낮게 나타나 실외 공기 유입의 영향을 받은 것으로 판단되었다.

표 15. 교실 내 1일 환기 횟수와 실내 오염물질 제거율과의 관련성 비교

대상 물질	1일 환기 횟수	응답률(N)	제거율(평균±표준편차,%)	p-value
미세먼지 (PM-10)	1회	23	21.94±28.99	0.320
	2회	33	26.66±21.24	
	3회	9	25.60±26.31	
	4회 이상(수시)	167	15.21±39.73	
폼알데하이드 (HCHO)	1회	21	-7.08±26.53	0.194
	2회	33	9.38±24.66	
	3회	10	-0.39±18.26	
	4회 이상(수시)	172	0.15±30.23	

#### 2.2.2.4. 1일 청소 횟수

교실 내 미세먼지와 폼알데하이드 모두 공기청정기 가동 전 대비 가동 후 오염물질 제거율과 실내 1일 환기 횟수와 유의한 상관성은 나타나지 않았다.

미세먼지 경우, 1일 청소 횟수와 오염 제거율 간의 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았지만, 1일 청소 횟수가 4회 이상인 경우에서 공기청정기 가동 전 대비 가동 후 미세먼지 오염 제거율이 큰 것으로 평가되어 공기청정기 가동의 영향 뿐만 아니라 청소의 영향도 포함된 것으로 판단되었다.

표 16. 교실 내 1일 청소 횟수와 실내 오염물질 제거율과의 관련성 비교

대상 물질	1일 청소 횟수	응답률(N)	제거율(평균±표준편차,%)	p-value
미세먼지 (PM-10)	1회	175	16.38±37.40	0.530
	2회	34	21.97±35.94	
	3회	-	-	
	4회 이상(수시)	23	23.50±28.23	
폼알데하이드 (HCHO)	1회	179	0.56±30.67	0.524
	2회	35	4.68±23.94	
	3회	-	-	
	4회 이상(수시)	24	-3.99±20.98	



### 2.2.2.5. 1일 공기청정기 가동 시간

미세먼지는 학교 교실 내 공기청정기 가동 시간이 길수록 미세먼지 제거 효율이 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났지만( $p < 0.05$ ), 폼알데하이드는 학교 교실 내 공기청정기 가동 시간이 길수록 오염 제거 효율간의 통계적으로 유의한 관련성은 나타나지 않았다.

표 17. 1일 기기 사용 시간과 실내 오염물질 제거율과의 관련성 비교

대상 물질	1일 기기 사용 시간	응답률(N)	제거율(평균±표준편차,%)	p-value
미세먼지 (PM-10)	12시간 이상	8	36.61±26.72	0.010*
	8시간~12시간 미만	26	13.70±38.07	
	4시간~8시간 미만	72	11.57±29.51	
	2시간~4시간 미만	30	7.43±64.70	
	1시간~2시간 미만	28	35.11±24.32	
	1시간 미만	56	24.98±24.35	
폼알데하이드 (HCHO)	12시간 이상	8	16.73±26.11	0.379
	8시간~12시간 미만	27	6.30±23.92	
	4시간~8시간 미만	73	0.21±30.46	
	2시간~4시간 미만	32	0.99±22.25	
	1시간~2시간 미만	29	1.97±28.68	
	1시간 미만	56	-4.57±33.21	

\*.p<0.05, \*\*.p<0.001

## 2.3. 실내오염물질 저감율과 실내 공기질 개선에 대한 인식도 간의 관련성 평가

본 연구에서의 기기 사용자 만족도 조사를 통해 측정 대상 학교 실태 및 설문 대상자의 일반적 특성을 조사하였다.

### 2.3.1. 설문 참여 대상자의 일반적 특성

만족도 조사 참여자는 여성(78.2%)이 남성(21.9%)보다 많았으며, 참여 대상자의 연령은 30~40대 대상자가 다른 연령대에 비해 참여율이 높았다.

표 18. 설문 대상자의 일반적 특성

구 분		응답자 수(명)	비율(%)
성별	남자	52	21.8
	여자	186	78.2
연령	10대	39	14.1
	20대	29	10.5
	30대	85	30.7
	40대	88	31.8
	50대	36	13.0

### 2.3.2. 실내공기질 개선에 대한 인식 조사

본 연구에서는 교사와 어린이를 대상으로 공기청정기 사용에 따른 실내공기질 개선에 대한 인식 정도를 조사하였다.

실내공기질 개선에 대한 인식 조사는 교실 내 체류하는 교사와 어린이를 대상으로 조사하였으나, 어린이의 경우 대부분 저학년으로 실내공기질 개선 여부를 평가하기에는 다소 어려움이 있어 평가 대상자 수가 제한적이었다.

공기청정기 사용을 통해 실내공기질 개선에 대한 인식 결과, 교사는 보통 만족(42.4%), 어린이는 약간 만족(28.2%)으로 나타났다.

본 만족도 결과는 대부분의 대상자들은 공기청정기의 가동에 대해 관심이 없거나 실제 교실 내 쾌적성을 느끼지 못하는 경우가 있었다. 또한, 만족도가 높은 경우는 대상자들의 공기청정기의 설치 및 가동에 대한 시각적 및 심리적인 요인이 컸다는 것으로 평가되었다.

표 19. 실내공기질 개선에 대한 인식 조사

	구 분	응답자 수(명)	비율(%)
교사 (n=224)	매우 만족	14	6.3
	약간 만족	57	25.4
	보통 만족	95	42.4
	약간 불만족	5	2.2
	매우 불만족	3	1.3
	모르겠음	50	22.3
학생 (n=39)	매우 만족	6	15.4
	약간 만족	11	28.2
	보통 만족	8	20.5
	약간 불만족	6	15.4
	매우 불만족	2	5.1
	모르겠음	6	15.4

### 2.3.3. 실내공기질 개선에 대한 인식도와 실내오염물질 저감율 간의 관련성 평가

본 연구에서는 학교 교실 내 공기청정기 가동에 따른 실내 미세먼지와 폼알데하이드의 저감 효율과 교사와 어린이의 실내공기질 개선에 대한 인식 정도 간의 관련성 여부를 평가하였다.

평가 결과, 교실 내 공기청정기 가동에 따른 실내 미세먼지와 폼알데하이드의 저감 효율은 실내 체류자의 실내공기질 개선 여부에 대한 인식 정도와 통계적으로 유의한 관련성이 없는 것으로 평가되었다.

일반적으로 인식 조사는 조사 대상자의 주관적인 의견이 개입됨을 고려하였을 때, 본 연구에서는 대상자의 주관적인 의견과 시각적·심리적 요인 및 판단력이 부족한 어린이를 대상으로 적용한 부분에 대해 불확실성이 존재하였다.

표 20. 1일 실내공기질 개선 인식도와 실내오염물질 제거율과의 관련성 비교

구 분		응답률 (N)	제거율 (평균±표준편차,%)	p-value	
미세먼지 (PM-10)	교사	만족	69	13.4 ± 47.9	0.200
		보통	92	18.0 ± 30.7	
		불만족	8	19.3 ± 13.9	
		모르겠음	50	27.8 ± 27.7	
	어린이	만족	16	16.7 ± 29.7	0.745
		보통	7	27.2 ± 34.7	
		불만족	8	13.8 ± 33.0	
		모르겠음	6	26.8 ± 18.1	
폼알데하이드 (HCHO)	교사	만족	55	27.0 ± 27.0	0.232
		보통	72	19.2 ± 46.8	
		불만족	4	60.9 ± 31.7	
		모르겠음	31	25.7 ± 52.2	
	어린이	만족	13	8.6 ± 71.8	0.841
		보통	4	38.4 ± 43.0	
		불만족	6	13.5 ± 24.4	
		모르겠음	4	9.8 ± 50.1	

## IV. 고 찰

실내 공간이라 함은 일반 가정이나 사무실 뿐만 아니라 실내작업장, 공공 건물, 학교, 병원, 상가, 지하 공간, 각종 교통수단 등을 통칭한다. 실내 공기의 오염 정도는 실내의 오염 발생량, 건물의 밀폐도, 환기와 공기조화체계 뿐만 아니라 실외의 대기오염 농도와 오염원의 위치 그리고 기상학적 인자와 지형학적인 인자 등에 의하여 영향을 받는다. 실내에서 발생하는 주요 오염물질은 순전히 인체에서 발생하는 것 이외에 사람의 보행 등의 활동에 의한 마루 및 의복에서의 발진도 있다(공기청정기협회, 2003).

최근 연구 결과, 한국인 하루 중 21시간 이상 실내에 체류하고 있으며, 주택 외 직장, 학교 등 실내와 출·퇴근 등 이동소요 시간이 상대적으로 많은 것으로 조사되었다. 또한, 일일 개별 생활패턴에 따라 공기오염의 개인 노출량이 상이한 것으로 조사되었는데, 이것은 외부공기오염 외에 실내 활동공간의 체류시간과 흡연 여부 등이 차이 발생의 주된 요인으로 평가되었다(국립환경과학원, 2009).

기존 선행연구를 고찰을 통해 현 초등학교 실내 미세먼지와 폼알데하이드 수준을 조사한 결과, 대부분 교육인적자원부 학교보건법 기준( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ )을 만족하고 있으나 몇몇 연구결과에서 기준치를 초과하는 수준을 확인할 수 있었다(노영만 등, 2007; 정민희 등, 2007; 손종렬 등, 2007; 손종렬 등, 2003). 미세먼지의 경우,  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상을 보이는 것도 조사되어 실내 어린이 활동량에 따라 환경기준치를 초과할 여지가 있는 것으로 판단되었다.

실내·외 농도 비교시, 실내/실외 ratio가 1을 초과하여 내부 오염 발생으로 인한 누적 오염이 증가하는 것으로 조사되었다. 이는 내부 체류자 수와 환기 부족 및 내부 건축자재, 건축년도 등으로 인한 누적 오염이 증가하는 것으로

보고되었다(교육인적자원부, 2007; 환경부, 2009; 안상영 등, 2006; 김정덕 등, 2004).

유해물질들로부터 실내공기질을 개선하는 방법으로는 환기를 통하여 외부로의 신선한 공기를 유입하고 오염공기를 실외로 배출하는 방법과 실내 공기오염원인 건축자재, 부자재 및 내장재 등의 적절한 선택을 통한 실내 오염물질 방출을 근본적으로 억제시키는 방법 및 생활공간에서의 미세먼지와 적절한 실내 공기청정기를 적용하는 방법 등이 있을 수 있다.

실내오염물질의 원인을 근본적으로 억제시키는 방법이 가장 이상적이겠지만 현실적으로 아직 한계가 있고, 친환경 실내 건축자재를 사용하더라도 사람들의 호흡을 통해 방출되는 CO<sub>2</sub>를 근본적으로 제거하기는 어렵기 때문에 실내 오염물질을 제거하는 방법으로 신선한 외기 도입을 통한 환기 방법이 가장 일반적인 방법으로 알려져 있다. 그러나 환기에 의한 과도한 에너지 사용량 증가로 인해 환기의 제약이 따르고, 대도시에서는 인구 과잉 밀집에 따른 대기 오염 악화로 인해 실외 공기 유입이 오히려 실내 공기를 악화시킬 수 있으므로 실내 공기청정기의 사용을 통한 실내 환경을 개선하려는 관심이 증가하고 있다.

이와 같이, 실내에서 생활하는 시간이 길어지고 실내 생활공간에서의 미세먼지와 유해가스 등에 대한 인체 유해성에 대한 문제와 관심이 부각됨에 따라, 이들의 처리장치인 실내 공기청정기의 사용과 시작이 매우 증가하고 있다.

공기청정기는 오염물질 제거방식에 따라 기계식과 전기식 및 복합식으로 분류할 수 있다. 기계식은 여재를 사용하는 필터식(건식)과 물을 분무하여 집진하는 습식으로 분류할 수 있는데, 입자의 관성과 확산을 이용하여 여재에 분진을 포집하는 필터식은 HEPA급의 고성능 필터의 사용으로 직경 0.3 $\mu$ m 입자 기준 90% 이상의 높은 포집효율을 보이며, 습식은 물과 분진과의 충돌 포집원리를 단순 이용하므로 상대적으로 포집효율이 낮은 실정이다. 전기식은



전기집진식과 음이온식 등으로 분류할 수 있는데, 전기집진식은 코로나 등의 고전압을 이용 분진을 하전시켜 집진판에 집진시키고 유해물질을 제거하는 방식으로, 압력손실이 적고 반영구적 사용이 가능하나, 오존 발생이 문제될 수 있다. 복합식은 기계식과 전기식의 기능을 복합한 것으로, 높은 집진효율을 보이나 구조가 복잡하고 교체용과 세척용 집진부의 구분이 필요하다.

한국기계연구원(2006)에서는 각 기기 유형별 실내오염물질 제거율을 평가하였는데, 집진효율(미세먼지)의 경우 필터식은 모두 70% 이상의 높은 집진효율을 보였고, 복합식의 경우도 약 80% 제품에서 70% 이상의 집진효율을 보였으며 폼알데하이드의 제거효율의 경우, 필터식과 복합식은 각각 약 85%의 제품에서 60% 이상의 폼알데하이드 제거효율을 나타내었다(한국기계연구원, 2006).

이에 근거하여 본 연구에서 교실 내 공기청정기 가동 전·후에 따른 미세먼지와 폼알데하이드 농도 변화를 평가한 결과, 통계적으로 유의한 감소현상이 나타났지만 절대적 수치에 의한 분석시 공기청정기 사용이 실내공기질 개선도로 적절하다고 판단하기에는 한계가 있는 것으로 평가되었다.

본 연구 결과를 통해 공기청정기의 오염 제거 효율은 저농도보다 고농도의 오염물질이 존재하는 교실에서 다소 효과가 큰 것으로 평가되었으나, 미세먼지의 참고기준치 초과그룹에서 공기청정기 가동 후의 농도가 참고기준치를 여전히 초과하는 수준으로 평가되어 교실 내 공기청정기 사용이 실내공기질 개선도구로 적절하다고 평가할 수 없었다.

본 연구는 전국 규모 단위의 초등학교를 대상으로 중량법의 한계를 고려하여 동시기에 저비용으로 측정이 용이한 직독식 측정방법을 통해 실내공기질 수준을 평가하였다. 이로 인해 전반적인 오염 수준의 패턴과 공기청정기 사용에 대한 효용성에 대한 평가는 가능하였지만, 중량 분석이 아닌 간이 직독식 측정으로 측정된 오염 농도 값에 대해 신뢰성이 부족하였으며 실내/실외 ratio

분석을 위한 실외공기의 동시측정이 이루어지지 않아 실내공기에 미치는 요인인 실외 공기의 유입과 실내 오염원의 영향력을 판단하기에 어려움이 있었다.

그러므로 초등학교와 같은 민감군이 집단으로 체류하는 교사 내 공기질 개선을 위해서는 공기청정기의 설치·운영이 적절한 공간에서 이루어져야 한다.

본 연구 결과에서 공기청정기의 오염 제거 효율은 고농도의 오염물질이 존재하는 교실에서 다소 효과가 큰 것으로 평가되었으므로 이를 바탕으로 정량적인 실내공기질 측정을 통해 실내 오염도가 높은 곳에서의 공기청정기 사용이 적절한지에 대한 정밀조사가 필요하며, 기존 공기청정기가 설치된 학교별로 실내 공기청정기 유지·관리 담당자를 지정하여 주기적인 필터 교체 및 기기 사용 시간에 대한 관리·감독이 필요할 것으로 사료된다. 그리고 저농도의 오염물질이 존재하는 교실의 경우, 공기청정기 사용을 통한 오염물질 저감 효과를 확인할 수 없었으므로 기존의 빗자루를 이용한 청소 보다는 물걸레질 및 진공청소기와 같은 도구를 이용한 청소와 창문 및 교실 문 개폐를 통한 잦은 환기만으로도 실내 미세먼지와 폼알데하이드 및 이산화탄소 등의 오염 농도를 줄이는 데 효과가 있다는 선행연구 결과를 바탕으로(U. Heudorf 등, 2009), 기존의 교실 청소와 환기의 방법 개선 및 횟수를 늘이는 방안을 검토하는 것이 우선적일 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 실내공기질 개선 도구로 사용되어지고 있는 공기청정기의 적용에 따른 학교 실내공기질 개선 정도를 알아보기 위해 공기청정기 가동 전·후에 따른 미세먼지와 폼알데하이드의 저감 효율을 평가하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 현재 초등학교 실내오염물질은 미세먼지와 폼알데하이드의 경우, 평균 농도가 학교보건법 기준을 초과하지 않는 수준으로 평가되었으나 다양한 실내·외 영향 요인에 의해 참고기준치를 초과하는 것도 조사되었다. 또한 실내/실외 농도비 1을 초과하여 실내 오염원 발생으로 인한 누적 오염이 증가하는 것으로 평가되어 초등학교 어린이의 건강 위해가 우려되었다.

둘째, 실내공기질 개선 도구인 공기청정기 가동 전·후에 따른 교실 미세먼지와 폼알데하이드의 경우, 공기청정기 가동 전에 비해 가동 후 유의한 감소 현상( $p < 0.05$ )이 나타났지만, 이는 통계적 수치에 의한 것으로 절대적 수치에 의한 분석시 저감 효과가 있는 것으로 판단하기에는 실효성이 부족하였다.

셋째, 공기청정기의 오염 제거 효과는 저농도보다 고농도의 오염물질이 존재하는 교실에서 다소 감소 폭이 큰 것으로 평가되었으나, 미세먼지의 참고기준치 초과그룹에서 공기청정기 가동 후의 농도가 참고기준치를 여전히 초과하는 수준으로 평가되어 교실 내 공기청정기 사용이 실내공기질 개선도구로 적절하다고 평가할 수 없었다.

넷째, 교실 내 공기청정기 가동에 따른 실내 미세먼지와 폼알데하이드의 저감 효율과 교사와 어린이의 실내공기질 개선에 대한 인식 정도 간의 관련성을 평가한 결과, 교실 내 공기청정기 가동에 따른 실내 미세먼지와 폼알데하이드의 저감 효율은 실내 체류자의 실내공기질 개선 여부에 대한 인식 정도와 통계적으로 유의한 관련성이 없는 것으로 평가되었다.

이상의 연구 결과를 종합하여 볼 때, 실내오염물질의 농도가 높은 교실일수록 공기청정기의 오염 제거효율이 높은 것으로 확인되었으나, 이는 통계적 수치에 의한 것으로 절대적 수치에 의한 분석시 저감 효과가 있는 것으로 판단하기에는 한계가 있는 것으로 평가되어 학교 내 공기청정기의 적용이 실내 공기질 개선 및 실내 주 체류자인 어린이 건강에 유의한 영향을 준다고 평가할 수는 없었다.

본 연구의 결과는 중량분석을 통한 실내오염농도를 평가한 것이 아니므로, 모든 교실 내 실내오염물질 오염도를 대표할 수 있는 결과로 불확실성이 존재한다. 또한, 실외공기의 유입과 실내 오염원에 의한 영향 분석 시, 실내 체류자의 주관적인 설문자료를 바탕으로 평가하였기 때문에 정확한 요인 분석이 이루어지지 않았다.

따라서 향후 설문조사가 아닌 조사자에 의한 실내 영향 요인 조사와 중량분석을 바탕으로 전문기관 측정자에 의한 실내·외공기질 동시측정을 통해 공기청정기 사용에 따른 초등학교 실내공기질 효과 분석이 이루어져야 할 것으로 사료되어진다.

## 참 고 문 헌

- 교육인적자원부. 학교 실내공기질과 환경성질환의 연관성 조사 및 예방 대책에 관한 연구. 2007
- 곽호찬 등. 소규모 다중이용시설에서의 공기청정기 현장적용 성능평가. 한국생활환경학회지 2009;16(6):692-699.
- 김기연 등. 복합식 공기청정기의 물리적 및 생물학적 입자상 물질의 제거 효과. 한국환경보건학회 2006;32(5):478-484.
- 김상진. 실내공기환경 개선방안으로서의 공기청정기. 대한설비공학회 2004;33(4):7.
- 김용진. 실내 공기청정기 인증을 위한 성능 시험 방법. 대한설비공학회 2006;33(1):22-27.
- 김윤신 등. 실내 주거인 활동이 공기청정기 효능에 미치는 영향. 한국대기환경학회 2007;1485-1488.
- 김윤신 등. 교사내 공기청정기 유형별 실내공기질 개선 효과. 한국대기환경학회 2010;404.
- 김형진 등. 경기도 고양시 일부학교의 실내공기질 평가. 한국환경관리학회 2009;15(2):85-90.
- 나경호 등. 실내용 공기청정기 유형별 실내환경 개선 성능에 대한 비교 평가. 한국환경영향평가학회 2005;14(3):109-115.
- 나재성 등. 보육시설에서 공기청정기와 환기가 실내공기질에 미치는 영향. 대한건축학회 2008;28(1):719-722.
- 노영만 등. 일부 초등학교 교실의 실내공기오염물질 분포 조사에 관한 연구. 한국실내환경학회 2007;4(4):201-213.
- 손종렬 등. 실내용 공기청정기의 성능평가 및 인식도 조사. 대한환경위생공학회

- 지 2002;17(3):115-120.
- 손종렬 등. 서울시 일부 학교의 실내 공기질 조사 및 인식도 평가. 대한환경위생 공학회지 2003;18(3):100-109.
- 손종렬 등. 서울 일부 신축 초등학교 교육활동에 따른 실내공기질 평가. 한국대 기환경학회 2007;456-459.
- 안상영 등. 경기도내 일부학교 교실의 실내공기질 평가. 한국실내환경학회 2006; 3(4):367-375.
- 양원호 등. Indoor air quality investigation according to age of the school buildings in Korea. Journal of environmental management 2009; 90(1):348-354.
- 인천시교육청. 학교 공기정화장치 설치효과 분석 및 관리방안 연구. 2011.
- 임지혜 등. 존 보육시설에서 실내공기질 향상을 위한 관리 및 개선 방안. 대한건축학회 2010;26(9):227-236.
- 정민희 등. 학교 건축물의 실내 환경 개선에 관한 연구. 대한건축학회 2007;27(1):825-828.
- 조우진 등. 실내형 공기청정기의 부유분진 제거효율평가. 대한건축학회 1998;18(1):559-564.
- 질병관리본부. 국민건강영양조사(검진조사분야) 기반의 가정 실내환경 및 알레르기질환 조사 모형 개발. 2010.
- 최정민 등. 학교 교실의 실내 공기질 향상을 위한 설계 및 관리지침 개발에 관한 연구. 대한건축학회 2008;24(3): 281-290.
- 한국공기청정협회. 실내공기청정기 표준. 2010.
- 한국기계연구원. 공기청정기 성능 기준 마련 및 적정관리 방안 연구. 2006.
- 학교보건법(법률 제7396호, 2005. 3. 24 공포, 2006. 1. 1 시행)
- 환경부. 보육시설 아동복지시설의 실내공기질 관리 매뉴얼. 2009.

- 환경부. 위해성 평가·관리를 위한 어린이 활동 공간 유해물질 오염실태 조사 사업(학교, 학원 및 주거, 교통, 공공시설 중심으로). 2009.
- 환경부. 어린이 활동공간 위해성 평가 사업(학교, 학원 및 주거, 교통, 공공시설 중심으로). 2010.
- Arlene M et al. A Randomized Trial of Air Cleaners and a Health Coach to Improve Indoor Air Quality for Inner-City Children With Asthma and Secondhand Smoke Exposure and a Health Coach to Improve Indoor Air Quality for Inner-City Children With Asthma and Secondhand Smoke Exposure. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2011;165(8):741-8.
- Hai Guo et al. Characterization of particle number concentrations and PM<sub>2.5</sub> in a school: influence of outdoor air pollution on indoor air. *Environ Sci Pollut Res Int* 2010;17(6):1268-78.
- J. Kolarik et al. Can a photocatalytic air purifier be used to improve the perceived air quality indoors? *Indoor Air* 2010;20(3):255-62.
- Julie F. Hart et al. Evaluating the Effectiveness of a Commercial portable Air purifier in Homes with Wood Burning Stoves: A preliminary Study. *Journal of Environmental and Public Health* 2011;324809-324809.
- Leickly FE et al. Children, their school environment, and asthma. *Ann Allergy Asthma Immun* 2003;90:3-5
- Linda Johnson, M.S. et al. Low-cost interventions improve indoor air quality and children's health. *Allergy Asthma Proc* 2009;30(4):377-85.
- Santosh Rani Agrawal et al. Effect of an Air Cleaner with Electrostatic Filter on the Removal of Airborne House Dust Mite Allergens. *Yonsei Med J*. 2010;51(6):918-23.
- U. Heudorf et al. particulate matter and carbon dioxide in classrooms : The

impact of cleaning and ventilation. *Int J Hyg Environ Health* 2009;212(1):45-55.

World Health Organization(WHO). WHO air quality guidelines global update. Report on a working group meeting, Bonn, Germany. 2005;18-20.



## 부 록

### <실내공기질 개선에 대한 인식도 및 학교 특성에 대한 설문조사>

※ 다음은 응답자의 일반적인 특성을 묻는 문항입니다. (1~3문항)	
1. 귀하의 성별은?	1) 남성                      2) 여성
2. 귀하의 연령은?	1) 10대                      2) 20대 3) 30대                      4) 40대 5) 50대
3. 귀하의 직업은?	1) 학생                      2) 교사 3) 교직원                    4) 기타(                    )
※ 다음은 학교 내 일반적인 특성을 묻는 문항입니다. (4~12문항)	
4. 학교 주변 현황은 어떠한가?	1) 주택가                    2) 시내 중심 3) 공단 지역                4) 기타(                    )
5. 학교 주변 교통량은 어떠한가?	1) 많다                      2) 보통이다                3) 적다
6. 현 공간의 기기 설치 현황은?	1) 공기청정기 단독 2) 공기살균기 단독 3) 공기청정 및 살균기 복합
7. 본 학교의 건축년도는?	1) 1년 미만 2) 1년 이상 3년 미만 3) 3년 이상
8. 교실 학생 인원은 몇 명인가?	(                    ) 명
9. 실내/외화 구분은 하는가?	1) 예                          2) 아니오
10. 교실 1일 청소 횟수는 몇 회인가?	1) 1회 2) 2회 3) 3회 4) 4회 이상 (수시)
11. 교실 1일 자연환기 횟수는 몇 회인가?	1) 1회 2) 2회 3) 3회 4) 4회 이상 (수시)

<p>12. 교실 1일 자연환기 시간대는 언제인가?</p>	<p>1) 수업 전 2) 쉬는 시간(수업 사이) 3) 점심 시간 4) 청소 시간 5) 수시로</p>
<p>※ 다음은 공기청정기에 대한 사용자 만족도에 관한 문항입니다. (13~16문항)</p>	
<p>13. 공기청정기를 주로 사용하는 때는 언제인가?</p>	<p>1) 하루 종일 계속 2) 실내에 있는 동안 계속 3) 공기가 특별히 오염되었다고 느껴질 때만 4) 거의 사용 안함</p>
<p>14. 공기청정기의 1일 평균 사용시간은?</p>	<p>1) 12시간 이상 2) 8시간~12시간 미만 3) 4시간~8시간 미만 4) 2시간~4시간 미만 5) 1시간~2시간 미만 6) 1시간 미만</p>
<p>15. 공기청정기 사용 후, "실내 공기 개선<sup>1)</sup>"에 만족하십니까?</p> <p><sup>1)</sup> 오염된 공기 정화 능력 및 알레르기, 천식 질환 감소 등</p>	<p>1) 매우 만족 2) 약간만족 3) 보통 4) 약간 불만족 5) 매우 불만족 6) 모르겠다</p>
<p>16. 공기청정기 사용 후 만족스러웠다면, 그 이유는 무엇입니까?</p>	<p>1) 외부 공기에 비해 신선하다는 느낌 2) 알러지 및 천식 질환의 감소 현상 3) 수업 중 학생들의 높은 집중력 효과 4) 기타( )</p>

= Abstract =

**Improvement of indoor air quality according to using  
air cleaner in classroom**

Park, Eun Woo  
Dept. of Public Health  
The Graduate School  
Yonsei University

(Directed by Professor Dong Chun Shin, M.D., Ph.D)

The indoor air pollution deteriorates the living quality and breaks out the health problems. Specially in the elementary school, the indoor air pollution should be more significant because of long residential period. According to the lectural research the young students who are physically weak to air pollution spend about 90% of their time in a classroom.

The objective of this study was to evaluate indoor contaminant such as PM-10, formaldehyde removal efficiency of air cleaners in classroom and their sense of satisfaction.

This study was proceeded as following. First, PM-10 and HCHO measurements from classroom where installed air cleaner. Second, questionnaire for teacher and children's satisfaction. Third, investigation of correlation between PM-10, formaldehyde removal efficiency of air cleaners

and satisfaction.

Comparison of the before and after operated air cleaner in classroom indicated that the after operated air cleaner in classroom had significant reduction in indoor PM-10 and HCHO levels( $p < 0.05$ ). but PM-10 and HCHO concentration difference is not enough significant reduction. and air cleaners are effective at highing PM concentrations, they are not 100% effective. also PM-10 and formaldehyde removal efficiency of using air cleaners was not associated with their sense of satisfaction.

Although the use of air cleaners can result in a significant reduction in indoor PM-10 and HCHO concentrations, it is not enough to prevent children's health and indoor air implement tool in classroom.

This study was conducted to provide a basis for the management IAQ in classroom. Therefore, this study suggest that it is a tenet of children health practice that eliminating a source of contaminant is better than reducing it through an engineering control. As a result, implementing a indoor air should be considered, particularly in the classroom of children.

---

Key words : indoor air quality, elementary school, air cleaner, influence factors, perception