

천식 발생률에 따른 초등학교 내 유해 환경 평가

김호현 · 임영욱 · 김창수¹⁾ · 김진용 · 이청수 · 양지연 · 박중원²⁾ · 신동천¹⁾*

연세대학교 환경공해연구소, ¹⁾연세대학교 의과대학 예방의학교실,
²⁾신촌세브란스병원 알레르기 내과

A Study on the Indoor Environment the Inside the Elementary School Followed Asthma Incidence Rate

- Focused on VOCs, Aldehydes, TBC, House dust allergen and Phthalates

Ho-Hyun Kim · Young-Wook Lim · Chang-Su Kim¹⁾ · Jin-Yong Kim · Chung-Soo Lee

Ji-Yeon Yang · Jung-Won Park²⁾ · Dong-Chun Shin¹⁾*

The Institute for Environmental Research, Yonsei University, Seoul, Korea

¹⁾*Yonsei university college of medicine, Dept. of preventive medicine, Seoul, Korea*

²⁾*Shincheon Severance hospital, Allergy and Respiratory Clinic, Seoul, Korea*

Abstract

This study was followed up asthma incidence rate in primary schools indoor air quality. To investigate the history and prevalence rate of allergic diseases(asthma, atopy dermatitis, allergic rhinitis and conjunctivitis), the standardized and generally used International Study of Asthma and Allergies in Childhood(ISAAC) questionnaire was used to conduct the symptom survey for all participating subjects. The concentrations of major indoor air pollutants(dust mite allergen, aldehydes, VOCs, TBC, phthalate) were observed from April to May 2007. Sampling was undertaken at 19 primary schools. The sampling sites of air pollutants are classroom's indoor and hallway. Dust mite allergen part it was detected from the case classroom and infirmary. The exposure quality of aldehyde and the place pollution level was indoor>outdoor>hallway, which whole is disease incidence rate high group appears more highly the low group than. The partially result of formaldehy and VOCs, the concentration of high environmental disease incidence rate showed also high. However, house dust allergen, TBC and phthalate measurement school was not the effect where the comparison of difference.

Keywords : Primary school, Indoor pollutants, Asthma

* Corresponding author. Tel : +82-2-2228-1869, E-mail : dshin5@yuhs.ac

1. 서론

국내에서 2000년 이후 천식, 아토피 피부염 등의 환경성질환과의 연관성에 대한 문제가 지속적으로 제기되고 있다. “새집증후군”에서 나아가 미취학아동 및 초등학생 등 취학어린이들이 낮 시간에 대부분의 시간을 활동하는 유치원 및 학교를 대상으로 한 “새학교증후군(Sick School Syndrome, SSS)”등 화학물질 노출로 인한 건강영향이 사회 문제로 대두되고 있다. 또한 최근에는 민간투자건설사업 방식으로 건립된 신선훈교들이 짧은 기간에 공사가 진행돼 새학교증후군(SSS)에 노출될 우려가 있다는 지적이 제기되고 있다. 신선훈교가 아니더라도 실내 추가 공사 및 새가구구입으로 인한 2차 오염이 있을 수 있다. 추가적으로 교실 공간내의 학생들의 활동으로 인한 먼지의 발생 및 채취도 문제가 된다(손종렬, 2006). 세계보건기구(WHO)에서는 1998년부터 “WHO's Global School Health Initiative” 사업을 통해 'Health-Promoting Schools' 이라는 목표를 가지고 학교 건강 증진 사업을 시작하였다. 이러한 사업은 건강한 환경제공(healthy environment), 교육 목적의 건강 증진 프로그램(health promotion programmes for staff), 식품위생 및 영양(nutrition and food safety) 등 다양한 내용으로 구성되어 있다. 미국 환경보호청(EPA)에서도 “IAQ (Indoor Air Quality) Tools for Schools” 보고서를 통해 ‘Managing Asthma in the School Environment’ 에 대한 가이드라인을 제시하였다(EPA, 2000).

그러나, 유해환경의 민감집단인 유치원 및 학교 환경으로 인한 천식 및 아토피피부염의 전국적인 국내 실태조사 및 기여도 등의 기반연구와 다양한 프로그램이 부족한 실정이다. 일반 환경오염이 문

제시되고 있는 현 시점에서 이를 예방하기 위한 대책 프로그램 및 환경성 질환의 저감방안에 대한 연구의 필요성 증대되고 있다.

실내공기는 차량에서 배출되는 매연 등의 외부 공기 유입, 가구, 접착제, 플라스틱류, 먼지, 페인트, 벽지 등의 실내 공기오염원과 흡연에 의해 외부 공기보다도 더욱 오염이 심각하기에 학교는 보건학적으로 중요한 인자이며 실내공기질 관리가 절실히 필요하다(Bayer et al., 2000). 더욱이 미국과 주요 선진국에서도 지난 수십 년간 천식, 아토피피부염 등 알레르기 질환 환자가 크게 증가하고 있으며(Godwin and Batterman., 2007), 간접흡연, 오존, 이산화질소, 미세분진, 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs), 디젤 차량 배기물질과 같은 대기오염 물질 노출이 증가하는 것과 함께 실내에 거주하는 시간이 증가하면서 실내에서 다양한 항원에 노출이 증가하는 것이 천식, 폐기능, 알러지 질환 증가의 주요 원인으로 지적되고 있다.

그 중 유럽연합의 각국별로 인구의 6~8% 정도가 집먼지진드기, 곰팡이, 바퀴 알레르겐 등의 실내항원으로 인한 알러지성 천식환자인 것으로 보고하였다(EFA, 2004). 실내 주요 오염물질인 포름알데히드는 고농도 노출시 비인강암을 유발하며, 저농도로 노출될 경우 눈과 코 상부기도에 통증을 느끼게 되며 천식에까지 영향을 미치게 된다(Peter, 2007).

또한 VOCs는 실외 공기에 비해 실내 중 오염농도가 높게 나타나며, 발생원은 접착제, 완구류, 교육도구, 건축자재 및 페인트 등이 있다(Schlundt, 1999). 대부분의 VOCs는 자체 독성과 실내 공기에서의 고농도 발생 빈도수가 많으며, 구도와 두통, 현기증을 유발하고 면역성이 약한 학생들에게

총부유세균의 노출은 많은 시간을 학교에서 보내고 있는 학생들에게는 치명적일 수 있다(Chan, 2002).

앞에서 언급한바와 같이, 실내오염물질 중 포름알데히드(Formaldehyde) 및 VOCs가 천식 등과 같은 알레르기증상의 원인이라는 많은 연구들이 있다. 그러나 Hutter 등(2006)의 최근 연구에 의하면 신축 오피스빌딩의 포름알데히드 및 휘발성유기화합물류와 프탈레이트류를 함께 측정된 결과 포름알데히드와 VOCs가 낮게 검출된 반면, 실내 먼지 중 프탈레이트류는 높은 농도로 검출되었다는 연구결과를 제시하였다. 최근에는 유아 및 어린이를 대상으로한 프탈레이트류와 천식 등과 같은 알레르기 증상과의 관련성에 대한 논문이 주로 발표되고 있고, 몇몇 연구에서는 그 관련성에 대한 가능성을 제기하고 있다(Bornehag et al., 2001; Schneider et al., 2003; Wargocki et al., 2002).

이에 본 연구에서는 오염물질에 대한 민감성이 높고 보호가 필요한 취약 집단인 어린이가 많은 시간을 보내는 초등학교를 대상으로 전국 단위로 실시한 설문조사 결과의 천식 발생률이 높은 초등학교 내 유해환경 특성을 평가하여 학교 실내 환경으로부터의 위해요인을 파악하고자 한다.

2. 연구대상 및 방법

2.1 대상학교 선정

2.1.1 설문조사대상학교 선정

본 연구는 대상 학교 선정에 위해 가장 먼저 전국 초등학교 6,279개교 중 2006년 기준 [폐교] 혹은 [휴교]한 유치원/초교 및 제주지역과 도서벽지를 제외한 학교를 대상으로 하며, 학교 소재지 [광

역도시]-[중소도시]-[그 외 군·면·읍] 비율에 따라 샘플링하여 최종 설문 대상 학교를 선정하였고, 자세한 표본수 선정 기준은 다음과 같다. 1) 학교 규모가 최소 100명이상인(즉, 3개 학급 이상인 곳), 2)대부분 국·공립학교이므로 사립학교는 모두 포함, 3) [대도시]-[중소도시]-[군·면·읍 지역] 소재 비율을 고려, 4) 샘플링 후 다음 두 조건의 적절성을 평가하여 불충분시 재샘플링, 5 전국 주요 공단근처 초교를 70개 이상 포함, 6 학교 설립 연도를 고려하여, [당해 연도 신축학교] [2-5년], [6-10년], [11-20년], [21년 이상] 등의 비율을 고려하였다.

최종적으로 설문대상 유치원 및 초등학교는 총 544개교, 61,350명에게 설문이 배포되었고, 초등학교 438개, 유치원 97개원, 총 535개교에서 40,522명에서 회신 받아 66.05%의 설문회수율을 나타냈다.

2.1.2 설문대상학교 중 실내환경 실태조사 학교 선정기준

1차 설문조사에서 참여한 학교 중 회수율이 0%인 초교는 제외하고, 82개 초등학교를 선정하였다. 실내환경실태조사의 자세한 표본수 선정 기준은 다음과 같다. 1) 학교규모가 최소 100명이상인(즉, 3개 학급 이상인)곳, 2) 대부분 국·공립학교이므로 사립학교도 포함, 3) [대도시]-[중소도시]-[군·면·읍 지역] 소재 비율을 고려, 4) 1차 선정 후 다음 두 조건의 적절성을 평가하여 불충분시 재샘플링, 5) 전국 주요 공단근처 초교를 적어도 10개교 이상 포함, 6) 학교 설립연도를 고려하여, [당해 연도 신축학교] [2-5년], [6-10년], [11-20년], [21년 이상] 등의 비율을 고려하였다.

최종 선정된 82개 초등학교의 설문지 결과를 토대로 최근 1년간 천식 증상의 발생률이 상위·하위

각 10개교를 선정하여 그 중 상위 7개교, 하위 3개교로 분류하였다. 또 다른 기준인 실내환경조사의 경우 82개의 초등학교 유해 환경 측정 후 유해물질의 양 및 독성을 고려하여 벤젠, 톨루엔, 포름알데히드를 중심으로 상위 7개교의 경우 각 물질별 전체 농도분포에서 75percentile 이상인 물질을 우선으로 선정하고, 최소 2가지 물질이상이 각 물질별 전체 농도에서 75percentile 이상에 해당되는 학교로 선정하였고, 하위 2개는 각 물질별 전체 농도분포에서 50percentile 이하에 해당되는 학교였다. 특히 공단지역에 위치한 학교(2개교) 및 2006년에 설립된 신축학교(2개교)를 포함하여, 총 19개의 초등학교를 대상으로 조사하였다. 질병발생율의 상·하위 구분을 위한 설문항목은 1년 이내 의사진단에 의한 확진 항목을 평가 기준으로 활용하였다.

2.2 조사 내용

최종 선정한 조사대상 초등학교를 대상으로 2007년 4월~5월에 측정하였고, 대상항목은 먼지내 알레르겐, 알데히드류(Formaldehyde, Acetaldehyde, Acrolein+Aceton), 휘발성유기화합물질(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene, Styrene, MTBE), 총부유세균/낙하세균 및 프탈레이트류(Phthalates)를 최종 조사하였다.

실내 알레르겐인 집먼지진드기 중에서 *Dermatophagoides farinae*의 group 1 주 알레르겐인 Der f 1, *Blattella germanica*의 group 1 주 알레르겐인 Bla g 1, 개의 group 1 주알레르겐인 Can f 1, 마지막으로 *Aspergillus*의 주 알레르겐인 Asp f 1을 선정하였다. 시료의 채취는 먼지 채취용으로 특수 제작된 진공청소기를 사용하였으며, 진공청소기 홀더에 필터(Whatman, 125mm)를 장착하여 먼지를 포집

하였다. 먼지가 포집된 필터는 노출이 되지 않도록 호일로 보관하여 실험실로 운반, 상온에서 보관하였다. 주알레르겐은 모두 Indoor biotechnologies사 (Manchester, UK)의 2-site ELISA kit를 이용하여 측정하였다. 먼지 채집한 고은 먼지의 무게를 달아 일정량의 borate buffer를 넣어 18시간 동안 상온에서 알레르겐을 추출하였다. 이를 원심 분리 후 상층액을 모아 실험 검체로 사용하였고, 전처리과정을 거쳐 UV 405nm에서 흡광도를 spectrophotometer(VERSAMAX, molecular Devices)로 측정하였다. 측정 및 포집은 각각의 초등학교에서 수업 중인 교실에서 벽으로부터 최소 1m이상 떨어진 위치에서 바닥면으로부터 1.2~1.5m 높이에 시료채취 장치를 설치하여 시료를 채취하였으며, 주변 시설 및 건물 등의 영향으로 측정 장애가 없는 곳을 선정하는 것을 원칙으로 하였다.

실내공간에서 발생될 수 있는 VOCs 시료채취는 VOC sampler Σ -30(SIBATA, Japan)를 사용하였으며 스테인레스 스틸(Stainless steel) 재질의 Tenex 흡착관(1/4"×20Cm, Supelco, USA)으로 채취하였고, 샘플링 유량과 시간은 0.2 l/min의 유량으로 30분 동안 시료를 채취하였다. 시료는 분석 전까지 -70℃에서 냉동 보관한 후 2~3일 내에 흡착물질을 이용하여 대기를 채취한 후 탈착하여 GC/MSD (Gas Chromatograph/Mass Selective Detector)로 분석하였다. 조사대상물질의 정성·정량을 위해 표준물질 분석결과 대부분의 물질에서 $R^2=0.98$ 이상의 검량선을 나타냈다. 포름알데히드(Formaldehyde)의 경우 Formaldehyde sampler Σ 100H(SIBATA, Japan)를 사용하여 350mg의 DNPH-silica (1.0mg DNPH)를 충전한 1.0cm(i.d.)×2.0cm(o.d.)×4.3cm(total length)의 cartridge인 DNPH-silica cartridge(Supelco, USA)에 오존의 간섭을 제거하기 위한 0.46cm(I.D.)

×10cm의 copper tube에 KI(Potassium iodide) 결정을 채운 오존 scrubber cartridge를 DNPH-silica cartridge 앞에 장착하여 다중이용시설 실내공기질 관리법의 공정시험 방법에 준하여 시료를 채취하였다. 지점은 다른 측정항목과 동일한 지점을 선택하였으며, 0.5 l/min의 유량으로 30분 동안 채취하였다. 분석은 HPLC(High Performance Liquid Chromatography) alliance separation module 2690/ dual λ absorbance detector 2487 모델을 이용하였다. 시료가 HPLC 분석에 의한 오차 발생 정도를 평가하기 위해 채취 시간과 피크 면적으로 재현성을 평가하였다. 알데히드류 및 휘발성유기화합물류의 회수율 실험결과 5회 반복 측정한 회수율을 각각 산출하였고 85~110% 범위내의 양호한 회수율을 나타내었다.

총부유세균 시료의 채취는 각 학교의 교실 2곳을 대상으로 바닥면에서 1.2~1.5m높이의 위치에서 채취하였다(국립환경과학원, 다중이용시설 실내공기질 관리법). 측정기기로는 운반성과 편이성 및 경제성이 양호한 Andersen방식의 single stage impactor 포집장치(air sampler)를 사용하였으며, 28.3L/min 유속으로 32분 동안 시료를 채취하였다. petri dish를 사용하였으며, 시료 채취 후 para film으로 시료를 밀봉하였다. 채취한 시료는 다중이용시설 실내공기질 관리법에 의거하여 J-MIC2 incubator에 넣어 부유세균이 인체에 미치는 사람 체온에서 미생물이 배양 될 수 있는 온도인 37.5℃에서 48시간 배양시켰다. 배양 후 집락계수법(Colony count method)을 통해 배지의 세균 집락수 판정 후 채취한 실내공기량으로 나누어 단위 체적당 집락수 산출하였다(CFU/m³).

프탈레이트류(Phthalates)의 시료의 채취는 먼지 채취용으로 특수 제작된 진공청소기를 사용하였으며, 진공청소기 홀더에 필터(Whatman, 125mm)

를 장착하여 먼지를 포집하였다. 먼지가 포집된 필터는 프탈레이트의 노출을 피하기 위해 주문제작한 glass dish(130mm)에 보관하여 실험실로 운반, 상온에서 보관하였다. 먼지 중 DEHP분석을 위한 전처리는 일정량의 먼지를 옮긴 다음 시약종이 무게를 재어 전처리 전 먼지량을 정량하였다. 전처리 작업 중 결과에 영향을 미칠 수 있는 모든 플라스틱 및 고무제품은 사용하지 않았다. 분석용 시료의 준비과정에서는 모든 실험 용기를 유리제품을 사용하여 실시하였으며, GC-MSD를 이용하여 분석하였다. 표준용액 조제를 위해 Glass tube를 먼지 washing 한 후 glass tube에 DEHP(Di(2-ethylhexyl)phthalate), DEP(Diethylphthalate), DnBP(Di-n-heptylphthalate), BBzP(Butylbenzylphthalate)를 각각 메탄올에 1mg/ml 로 녹여 표준액을 만들어 4℃에 저장하였다. 기기분석을 위한 컬럼(Column)은 25-m capillary column(HP 1C; Agilent, Folsom, CA, USA; inner diameter, 0.2mm; stationary phase, polydimethyl siloxane)을 사용하였다. Injector 온도는 280℃를 유지하였으며, 컬럼 온도는 100℃에서 3분간 유지한 후 300℃까지 분당 8℃씩 상승시켜 20분간 분석하였다. Total Ion Chromatogram을 이용하여 물질을 확인하였고, Selective Ion Monitoring mode로 프로그램 하여 신호/잡음비(S/N ratio)를 향상시켜 프탈레이트류를 정량하였다. 물질별 LOD값은 DEHP 12.125μg/g, DEP 17.255μg/g, DnBP 19.211μg/g 및 BBzP 13.998μg/g였다.

3. 연구결과

3.1 대상초등학교 일반현황

본 연구 대상인 초등학교는 총 19개로 크게 나

누어서 질병발생률 상위 및 하위, 실내환경조사 상위 및 하위 4개의 형태로 구분하여 조사하였다. 신축학교는 질병발생률 상위, 실내환경조사 하위에 각 1개씩 포함하여, 최종적으로 서울 8개교, 경기 3개교, 대도시(서울제외) 2개교, 지방중소도시 3개교, 농촌 1개교 및 공단지역 2개교, 총 19개교를 최종 선정하였다. 19개의 학교 대부분이 주택 지역에 위치하고 있었으며, 실내환경조사 상위 1개교의 경우 농촌지역으로 학교 주변에 녹지가 조성되어 있었고, 대부분의 주택지역에 위치하고 있어 학교주변의 교통량은 많지 않았다. 지방중소도시지역과 공단지역의 4개교는 인근 3km 내에 공단지역이 위치하고 있었다(Table 1).

19개교의 초등학교 각 학교의 교실과 학교 현황을 보면(Table 2), 각 학교 교실의 난방방법은 개별난방을 이용하는 경우가 제일 많았고 중앙식 난방, 석유난로를 통한 난방의 순으로 나타났으며, 환기방법 경우 대부분 자연환기를 하고 있었다. 또한 대부분의 학교에서는 실내화를 착용하고 있었고, 교실구조는 철근콘리트(RC)였다. 학급당 평균학생 수는 평균 33.3명으로 제일 많은 학교의 경우 학급당 평균학생수가 40명인 경우도 있었다. 정밀조사 학교의 과반수의 학교가 건축 년 수 21년 이상이었고, 신축학교와 3~10년 된 학교가 각 2개교, 대부분의 학교에서 2년 이내 학교전면 보

수 공사를 한 경험은 없었다. 또한 학교 주변의 환경 영향을 고려하기 위해 최근 3개월 이내에 학교 주변 건축 공사에 대해서는 대부분의 학교가 주택 지역에 위치하고 있어서 일부의 학교에서는 주변에서 빌라 및 주택 공사를 진행 한 경우가 있었으며, 본 내용은 표에 기술하지 않았다.

3.2 측정 결과

3.2.1 먼지내 주 알레르겐 분포

각 학교의 교실과 보건실에서 채집된 먼지의 양은 각각 111.1±51.2(14~210)mg과 102.1±32.1(18.8~156.0)mg 이었으며 이는 학교선정기준을 포함한 어떠한 분류에서도 의미 있는 차이가 없었다. 알레르기 질환을 일으킬 수 있는 역치보다 높았던 경우는 집먼지진드기 주알레르겐인 Der f 1 기준 (2 µg/g dust)으로 볼 때 전체 교실의 5.9%, 전체 보건실의 11.8%로 측정되었다. 바퀴의 주알레르겐인 Bla g 1의 경우 역치(8I U/g dust)보다 높게 나온 학교는 한 곳도 없었으며, 개털 주알레르겐인 Can f 1의 경우도 보건실의 5.9%에서 역치(2 µg/g dust)보다 높았다. Asp f 1은 모든 먼지에서 검출되지 않았다(Table 3).

알레르기 질환의 유병률에 차이가 있었던 학교군 간이거나 실내환경조사에서 측정된 유해물질이 높고 낮은 군간에 이들 주알레르겐 측정치를

Table 1. Primary school circumference environment.

Classification		Circumference Environment
Disease incidence rate	High n=7	<input checked="" type="checkbox"/> Residential area <input type="checkbox"/> Market area <input type="checkbox"/> Green zone <input type="checkbox"/> the others
	Low n=3	<input checked="" type="checkbox"/> Residential area <input type="checkbox"/> Market area <input type="checkbox"/> Green zone <input type="checkbox"/> the others
Indoor air pollution	High n=7	<input checked="" type="checkbox"/> Residential area <input type="checkbox"/> Market area <input checked="" type="checkbox"/> Green zone <input type="checkbox"/> the others
	Low n=2	<input checked="" type="checkbox"/> Residential area <input type="checkbox"/> Market area <input type="checkbox"/> Green zone <input type="checkbox"/> the others

Table 2. Primary school Classroom and school condition.

unit : %

Classification	Primary school (n=19)	
Heating method	Individual heating	52.6
	Oil stove	15.8
	Center heating	31.6
Ventilation method	Natural	94.7
	Machine	5.3
Indoor shoes	Yes	94.7
	No	5.3
Chalk	Normal	78.9
	Dust removal	5.3
	BoardMarker	15.8
Blackboard form	Blackboard	84.2
	Whiteboard	15.8
Classroom structure	Reinforced Concrete	78.9
	Steel	21.1
Construction year	new	10.5
	3~10 yr	10.5
	11~20 yr	26.3
	21~40 yr	52.6
Repair works(≤2yr ; whole)	Yes	5.3
	No	94.7
Repair works(≤2yr ; part)	Yes	68.4
	No	31.6
School circumference construction(≤3month)	Yes	21.1
	No	78.9
Classroom per person mean	33.3 person	

비교한 결과 유의한 차이를 발견할 수 없었다. 다만 건축 후 20년 이상 된 건물의 교실에서 신축교사에 비해 Der f 1이 유의하게 높게 검출되었지만 (0.28±0.19 vs. 0.05±0.049 $\mu\text{g/g}$ dust, p=0.044), 측정된 Der f 1치가 알레르기 질환을 유발하는 역치(2 $\mu\text{g/g}$) 이하였다(Table 4).

3.2.2 휘발성유기화합물류 및 알데히드류

Table 5는 연구 대상인 19개 초등학교의 교실안과 교실과 인접한 복도, 교실 밖에서 알데히드류 중 Formaldehyde, Acetaldehyde, Acrolein+Aceton, VOCs 중 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene, Styrene, MTBE 분석결과이다.

Table 3. Detection of dust Mite Allergen.

Classification		Detection rate(%)	Threshold value* Excess-rate(%)	Mean ± S.D	Unit
Der f 1	Classroom	17(100)	1(5.9)	0.40 ± 0.67	μg/g dust
	Infirmary	17(100)	2(11.8)	1.09 ± 1.02	
Bla g 1	Classroom	3(17.6)	-	0.12 ± 0.002	IU/g dust
	Infirmary	3(17.6)	-	0.05 ± 0.0002	
Can f 1	Classroom	17(100)	-	0.44 ± 0.43	μg/g dust
	Infirmary	17(100)	1(5.9)	0.95 ± 0.69	
Asp f 1	Classroom	-	-	-	μg/g dust
	Infirmary	-	-	-	

* Der f 1; 2 μg/g dust, Bla g 1; 8 IU/g dust, Can f 1; 2 μg/g dust

알데히드류의 대부분은 교실 내>교실 밖>복도의 순으로 높은 농도 수준을 보이고 있었고, Formaldehyde의 경우 질병발생률이 높은 학교에서 하위 학교보다 높게 나타났고, 기준치 100μg/m³을 초과하는 경우는 없었다. Acetaldehyde와 Acrolein+Acetone의 경우 반대의 결과를 나타냈다.

VOCs의 개별물질은 현재 교육인적자원부의 환경보건법에 지정되어 있지 않기 때문에 환경부의 미적용 다중이용시설 및 소규모 다중이용시설 기준을 설정하여 초과율을 나타내었다 (Table 5). 교실측정결과 VOCs 조사대상물질 전 항목에서 질환 발생률이 높았던 학교에서 대상물질의 농도가 높은 것으로 조사되었다. 또한, 실내오염원의 존재여부(I/O)에서도 질환 발생률이 낮은 학교에 비해 높은 학교에서 오염원의 기여도가 큰 것으로 분석되었다. 외기의 경우도 질환 발생률이 높았던 학교의 외기가 대부분 높게 측정되었다. 복도의 경우 일관성 있는 결과는 도출되지 않았다.

3.2.3 총부유세균 및 낙하균

총부유세균의 평균농도는 613CFU/m³로 기준치

인 800CFU/m³(학교보건법시행규칙)를 초과하지는 않았으며, 질환 발생률과 실내환경조사 구분하여 살펴 본 결과 큰 차이를 나타내지 않았다. 질환 발생률 상위, 실내환경조사 상위·하위 일부 교실에서 기준치를 조금 초과하는 경우도 있었지만, 질환 발생률 상·하위 학교 구분에 의한 일관성 있는 결과는 나타나지 않았다(Table 6).

낙하균의 평균농도는 보건실 3.85CFU/m³, 급식실 3.23CFU/m³로 기준치인 10CFU/m³(학교보건법시행규칙)를 초과하지는 않았으며, 실내환경조사 상위인 7개교의 일부 보건실과 식당에서 기준치를 초과하는 경우가 있었다. 낙하세균 역시 질환 상·하위 학교 구분에 의한 일관성 있는 결과는 나타나지 않았다(Table 7).

3.2.4 먼지 중 프탈레이트류

정밀조사 학교 선정에 따른 먼지 중 프탈레이트류의 농도분포를 살펴보면 DEHP는 질환 발생률 하위 학교에서 540μg/g dust, DnBP는 실내환경조사 하위 학교에서 805μg/g dust로 평균값이 가장 높게 조사되었다. DEP와 BBzP의 경우 LOD값 이

Table 4. Detection of dust mite allergen at each classification.

Classification			Detection rate(%)	Threshold value* Excess-rate(%)	Mean ± S.D	Unit
Der f 1	Disease incidence rate	High (n=7) Classroom	6(100)	-	0.29 ± 0.22	μg/g dust
		High (n=7) Infirmary	6(100)	-	0.61 ± 0.4	
	Low (n=3)	Classroom	3(100)	-	0.23 ± 0.26	
		Infirmary	3(100)	1(33.3)	1.81 ± 1.99	
	Indoor air pollution	High (n=7) Classroom	6(100)	1(16.7)	0.69 ± 1.09	
		High (n=7) Infirmary	6(100)	1(16.7)	1.27 ± 0.87	
Low (n=2)	Classroom	2(100)	-	0.13 ± 0.05		
	Infirmary	2(100)	-	0.59 ± 0.07		
Bla g 1	Disease incidence rate	High (n=7) Classroom	-	-	-	IU/g dust
		High (n=7) Infirmary	1(16.7)	-	0.18	
	Low (n=3)	Classroom	-	-	-	
		Infirmary	1(33.3)	-	0.09	
	Indoor air pollution	High (n=7) Classroom	3(50)	-	0.34 ± 0.41	
		High (n=7) Infirmary	1(16.7)	-	0.64	
Low (n=2)	Classroom	-	-	-		
	Infirmary	-	-	-		
Can f 1	Disease incidence rate	High (n=7) Classroom	6(100)	-	0.57 ± 0.7	μg/g dust
		High (n=7) Infirmary	6(100)	1(16.7)	0.95 ± 0.95	
	Low (n=3)	Classroom	3(100)	-	0.5 ± 0.36	
		Infirmary	3(100)	-	1.31 ± 0.69	
	Indoor air pollution	High (n=7) Classroom	6(100)	-	0.3 ± 0.12	
		High (n=7) Infirmary	6(100)	-	0.74 ± 0.39	
Low (n=2)	Classroom	2(100)	-	0.4 ± 0.01		
	Infirmary	2(100)	-	1.04 ± 0.84		
Asp f 1	Disease incidence rate	High (n=7) Classroom	-	-	-	μg/g dust
		High (n=7) Infirmary	-	-	-	
	Low (n=3)	Classroom	-	-	-	
		Infirmary	-	-	-	
	Indoor air pollution	High (n=7) Classroom	-	-	-	
		High (n=7) Infirmary	-	-	-	
Low (n=2)	Classroom	-	-	-		
	Infirmary	-	-	-		

* Der f 1; 2 μg/g dust, Bla g 1; 8 IU/g dust, Can f 1; 2 μg/g dust

Table 5. Aldehyde and VOCs concentrations at diseases incidence rate classification.

unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Classification		Indoor	Outdoor	Hallway	I/O ratio	Excess rate(%)	Guideline
		Mean \pm S. D	Mean \pm S. D	Mean \pm S. D			
Formaldehyde	High (n=7)	22.58 \pm 6.84 (16.46~36.12)	10.90 \pm 3.32 (4.61~15.31)	4.49 \pm 2.62 (0.48~8.12)	2.1	0.0	100 ¹⁾
	Low (n=3)	17.74 \pm 6.21 (11.80~24.19)	7.92 \pm 3.81 (4.60~12.07)	5.70 \pm 3.04 (2.22~7.85)	2.2	0.0	
Acetaldehyde	High (n=7)	8.92 \pm 4.56 (2.12~17.17)	5.58 \pm 2.94 (1.06~9.08)	3.32 \pm 2.71 (N.D~6.92)	1.6	-	-
	Low (n=3)	10.03 \pm 3.22 (6.46~12.70)	6.47 \pm 3.44 (3.80~10.35)	9.25 \pm 2.31 (6.64~11.05)	1.5	-	
Acrolein + Acetone	High (n=7)	22.46 \pm 6.43 (14.73~31.01)	16.44 \pm 6.08 (7.47~24.09)	5.97 \pm 5.70 (0.52~18.05)	1.4	-	-
	Low (n=3)	51.56 \pm 51.84 (14.63~110.82)	14.64 \pm 9.26 (4.48~22.61)	14.25 \pm 4.98 (10.17~19.80)	3.5	-	
Benzene	High (n=7)	21.18 \pm 30.76 (N.D~69.00)	19.71 \pm 28.00 (N.D~61.00)	16.51 \pm 26.88 (N.D~68.00)	1.1	28.6	30 ²⁾
	Low (n=3)	9.57 \pm 10.98 (1.20~22.00)	13.53 \pm 19.46 (1.70~36.00)	13.73 \pm 17.70 (1.30~34.00)	0.5	22.2	
Toluene	High (n=7)	110.09 \pm 100.47 (3.60~264.00)	93.34 \pm 90.24 (3.40~244.00)	122.46 \pm 66.63 (1.20~184.00)	1.2	9.5	260 ²⁾
	Low (n=3)	48.73 \pm 70.40 (6.40~130.00)	44.60 \pm 65.30 (6.80~120.00)	8.15 \pm 4.03 (5.30~11.00)	1.1	0.0	
Ethylbenzene	High (n=7)	50.32 \pm 60.63 (0.11~159.00)	33.37 \pm 37.88 (0.87~92.00)	31.98 \pm 44.29 (0.59~117.00)	1.5	0.0	1,000 ²⁾
	Low (n=3)	17.27 \pm 25.76 (1.70~47.00)	19.27 \pm 30.98 (N.D~55.00)	21.70 \pm 34.84 (1.30~62.00)	0.9	0.0	
Xylene	High (n=7)	67.38 \pm 73.79 (2.60~188.00)	60.27 \pm 63.72 (1.90~159.00)	87.53 \pm 60.31 (6.90~170.00)	1.1	28.6	100 ²⁾
	Low (n=3)	35.80 \pm 57.35 (1.40~102.00)	39.87 \pm 95.96 (N.D~116.00)	9.60 \pm 10.46 (2.20~17.00)	0.9	33.3	
Styrene	High (n=7)	32.06 \pm 54.70 (0.04~151.00)	10.51 \pm 15.28 (0.05~39.00)	9.99 \pm 17.05 (0.04~47.00)	3.0	0.0	260 ²⁾
	Low (n=3)	4.74 \pm 8.02 (N.D~14.00)	2.79 \pm 4.68 (N.D~8.20)	1.28 \pm 2.18 (N.D~3.80)	1.7	0.0	
MTBE	High (n=7)	N.D	N.D	N.D	-	-	-
	Low (n=3)	11.00 \pm 19.05 (N.D~33.00)	N.D	7.00 \pm 12.12 (N.D~21.00)	-	-	

1) IAQ guideline of Ministry of Education & Human Resources Development

2) IAQ guideline of multiplex use facility

N.D : Not Detected

Table 6. Concentrations of airborne bacteria.

unit : CFU/m³

Classification		Classroom1	Classroom2	Classroom Mean	Excess frequency	Guideline
Disease incidence rate	High (n=7)	652.9	560.0	606.4	(2)	800.0 ¹⁾
	Low (n=3)	540.0	550.0	545.0	-	
Indoor air pollution	High (n=7)	650.0	570.0	610.0	(2)	
	Low (n=2)	640.0	720.0	680.0	(1)	
Mean ± S. D (min ~ Max)		637.2±119.8 (360.0~840.0)	588.9±197.5 (80.0~900.0)	613.1±162.9 (80.0~900.0)		

1) IAQ guideline of Ministry of Education & Human Resources Development

Table 7. Concentrations of air counts.

unit : CFU/m³

Classification		Entrance	Center	Near the window	Area mean (Excess frequency)	Guideline
Infirmary	Disease incidence rate	High (n=7)	3.17	2.00	2.33	2.50 -
		Low (n=3)	3.67	2.67	1.33	2.56 -
	Indoor air pollution	High (n=7)	5.29(2)	3.86(1)	4.57(1)	4.57 (4)
		Low (n=2)	6.00	11.50	4.50(1)	7.33 (1)
Mean±S. D (min~Max)		4.39±3.62 (N.D~14.00)	3.89±4.66 (N.D~20.00)	3.28±3.20 (N.D~13.00)	3.85±3.83 (N.D~20.00)	10 ¹⁾
School lunch area	Disease incidence rate	High (n=7)	2.71	2.57	3.57	2.95 -
		Low (n=3)	1.00	0.33	1.33	0.89 -
	Indoor air pollution	High (n=7)	4.29	5.86	5.00	5.05 (4)
		Low (n=2)	1.50	1.50	1.00	1.33 -
Mean±S. D (min~Max)		2.89±3.32 (N.D~14.00)	3.32±4.52 (N.D~17.00)	3.47±5.14 (N.D~18.00)	3.23±4.32 (N.D~18.00)	

1) IAQ guideline of Ministry of Education & Human Resources Development

하로 검출되었다. DEHP는 질환 발생률 하위 다음으로 실내환경조사 상위, 질환 발생률 상위 순으로 평균값이 높게 나타났다. DnBP는 실내환경조

사 하위 다음으로 질환 발생률 상위, 하위, 실내환경조사 상위 순으로 평균값이 높게 나타났다 (Table 8).

Table 8. Concentration distribution of Phthalate by close investigation.

Classification		DEHP	DEP	DnBP	BBzP
Disease incidence rate	high (n=7)	466		660	
	low (n=3)	540		589	
			<LOD		<LOD
Indoor air pollution	high (n=7)	487		530	
	low (n=2)	373		805	

unit : $\mu\text{g/g dust}$

학교별 실내 특성에 따른 먼지 중 프탈레이트류의 농도분포를 살펴보기 위해 바닥 및 벽 재질, 건축년도에 의한 평가를 실시하였다. 건축년도에 따라서는 DEHP의 평균값은 큰 차이가 없었고, DnBP는 1~10년 학교에서 $1449\mu\text{g/g dust}$ 로 가장 높게 나타났다. 바닥재 재질에 따른 프탈레이트류의 농도를 살펴보면 DEHP, DnBP의 평균값이 PVC 바닥재를 사용하고 있는 장소에서 더 높게 조사되었다 (Table 9).

4. 고찰

본 연구에서는 먼지 중 알레르겐 검출 시험 결

과 집먼지진드기 알레르겐 검출률이 교실 100% (평균농도 $0.40\mu\text{g/g dust}$), 보건실 100% (평균농도 $1.09\mu\text{g/g dust}$) 이었고, 개(Dog)털 알레르겐 검출률이 교실 100% (평균농도 $0.44\mu\text{g/g dust}$), 보건실 100% (평균농도 $0.95\mu\text{g/g dust}$)였다. 바퀴 알레르겐 검출률이 교실 17.6% (평균농도 0.1 IU/g dust), 보건실 17.6% (평균농도 0.05 IU/g dust)이었다. 또한 실내 곰팡이 알레르겐은 검출되지 않았으며, 총 대상 초등학교 중 집먼지진드기 및 개털 알레르겐의 경우 일부 학교(2곳)에서만 높은 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 한국의 일반가정에서 가장 흔한 실내 알레르겐인 집먼지진드기 중에서 우점종인 *Dermatophagoides farinae*의 group 1 주 알레르겐인 Der f 1과 주거환경이 좋지 않은 지역에서

Table 9. Phthalate concentrations at each classification.

Classification		DEHP	DEP	DnBP	BBzP
Construction year	new (n=2)	489		574	
	1~10 yr (n=2)	477		1449	
	11~20 yr (n=5)	479	<LOD	547	<LOD
	21~40 yr (n=10)	456		559	
PVC flooring	existence (n=16)	475		624	
	nothing (n=3)	439	<LOD	588	<LOD
Vinyl wallpaper/ Paint	existence (n=14)	487		601	
	nothing (n=5)	430	<LOD	649	<LOD

unit : $\mu\text{g/g dust}$

호흡기 알레르기의 중요 원인 알레르겐으로 잘 알려진 바퀴 중에서 우리나라에 가장 많은 종류인 *Blattella germanica*의 group 1 주 알레르겐인 Bla g 1, 그리고 최근 서식밀도가 급증하고 있는 개의 group 1 주알레르겐인 Can f 1, 마지막으로 잘 알려진 실내 진균류인 *Aspergillus*의 주 알레르겐인 Asp f 1을 선정하였다. 이 중 개, 고양이 알레르겐은 학생의 의복에 쉽게 부착되어 학교의 동급생에게 알레르기 질환을 유발시키는 것으로 알려져 있으며, 집먼지진드기, 바퀴 알레르겐도 침구류뿐만 아니라 의복의 먼지에서도 높은 농도가 검출된다(박중원, 2000). 참고적으로 본 연구에서는 19개교의 초등학교 중 일부 가구추적조사를 통해 동일한 알레르겐을 측정하되 학교보다 가정에서의 알레르겐의 검출률 및 먼지 내 농도가 더욱 높은 것으로 조사되었다.

VOCs 중 톨루엔(Toluene)의 경우 질환 발생률 상위 학교에서만 약 10% 정도가 기준을 초과하였고, 에틸벤젠(Ethylbenzene), 스티렌(Styrene)은 기준을 초과하지 않았다. 알데히드류의 대부분은 교실 내>교실 밖>복도의 순으로 높은 농도 수준을 보였다. 포름알데히드(Formaldehyde)의 경우 질환 발생률이 높은 학교에서 실내외 농도변화가 조금 더 크게 조사되었다. 학교의 건축자재, 페인트, 벽지 등의 실내 오염 발생원에 따른 실내/실외 농도비(I/O ratio)를 살펴보면, 질환상위 및 하위학교 모두 실내오염원이 존재하였고, 질병상위학교에서 I/O ratio의 비율이 더욱 높아, 이는 질환하위학교에 비해 질환상위에서의 실내오염원이 더욱 많았다는 것을 유추할 수 있으며, 참고적으로 I/O ratio가 1이상이면, 실내 오염 발생원이 존재함을 의미한다(Elke et al., 2001).

총부유세균의 평균농도는 613CFU/m³로 기준치

인 800CFU/m³(학교보건법시행규칙)를 초과하지는 않았으며, 질환 발생률과 실내환경조사 구분하여 살펴 본 결과 큰 차이를 나타내지 않았다. 낙하균의 평균농도는 보건실 3.85CFU/m³, 급식실 3.23CFU/m³로 기준치인 10CFU/m³(학교보건법시행규칙)를 초과하지는 않았지만, 실내환경조사 상위인 7개교의 일부 보건실과 식당에서 기준치를 초과하는 경우가 있었다. 총부유세균과 낙하세균은 측정학교 구분이 측정농도의 비교가 큰 영향을 주지 않았다. Bartlett 등(2004)은 각기 다른 지역의 초등학교를 대상으로 교실 내 총부유세균을 측정할 결과 실외/실내 온도, 상대습도, 측정시기, 기상상태, 환기상태, 학교의 규모 및 위치, 교실 내 학생 수 등에 따라 총부유세균의 결과에 영향을 줄 수 있다고 하였으며, 자연환기보다는 기계 환기가 더 효율적이라고 제안하였다.

본 연구에서 프탈레이트류(Phthalates)의 질환 발생률이 높았던 학교에서의 명확한 차이점은 나타나지 않았다. 대상학교의 제한으로 인한 시료수의 부족이 가장 큰 제한점으로 판단되며, 선행연구 중 Jaakkola 등(1999)은 프탈레이트류(Phthalates)가 알레르겐 또는 그 유사한 활동을 한다는 제안을 하였고, Bornehag 등(2004)은 프탈레이트류 중 부틸벤질프탈레이트(BBzP)와 디에틸헥실프탈레이트(DEHP)의 먼지 중 농도와 알러지 및 천식과의 관련성을 증명하였다. Bardana와 Andrach(1983)은 프탈레이트류의 공기 중 노출에 의한 임상적 영향에 대한 메커니즘을 가정하고 있다. 프탈레이트(Phthalates)는 천식과 비염을 포함한 호흡기신드롬, 폐병·빈혈과 자극반응의 중요한 자극제 또는 면역원으로, 프탈레이트(Phthalates)를 흡입하게 되면 프탈레이트(Phthalates)는 항원의 형태로 단백질 조직과 급속히 결합하여 알러지 반응을 자극한다.

다시 말해, 비만세포와 결합하여 IgE항체의 생산을 자극한다. 항원-항체-비만세포(Antigen-antibody-mast cell)는 복합적으로 염증을 유발하는 매개물질로 방출된다. 화학화합물은 연관된 IgE없이 같은 반응을 유발할 수 있다. 참고적으로 비만세포의 표면에서는 IgE에 대한 수용체가 존재하며, 수용체에 결합한 IgE 분자들끼리 항원에 의해 연결되면 비만세포 탈과립반응이 일어나, 히스타민, 세로토닌, 헤파린 등의 물질이 방출되어, 즉시형 알레르기 반응 등의 증상을 일으킨다.

본 연구에서는 정밀측정학교의 평가로써의 대표성 있는 평가를 위한 시료수의 부족과 단기 측정결과로써의 근본적인 제한점은 있다. 향후 본 연구결과를 기초 자료로 하여, 환경성 질환의 발생과 관련된 요인을 파악하기 위한 장기간, 대규모의 조사 연구가 필요할 것으로 사료된다.

5. 결론

전국단위 설문조사를 통한 천식 질환 발생률에 따라 초등학교 내 유해환경 특성을 평가한 결과 먼지 중 알레르겐의 질환 발생률에 따른 차이는 없었다. 포름알데히드(Formaldehyde)를 포함한 VOCs의 교실측정결과 조사대상물질 전 항목에서 질환 발생률이 높았던 학교에서 대상물질의 농도가 높은 것으로 조사되었다. 또한, 실내오염원의 존재여부(I/O ratio)에서도 질환 발생률이 낮은 학교에 비해 높은 학교에서 오염원의 기여도가 큰 것으로 분석되었다. 외기의 경우도 질환 발생률이 높았던 학교의 외기가 대부분 높게 측정되어 실내 오염원 외 대도시 지역, 공단지역 등의 지역 특성을 반영한 외기의 영향이 있는 것으로 판단된다.

마지막으로, 총 부유세균 및 낙하세균, 프탈레이트류(Phthalates)는 천식 질환 발생률에 따른 교사 내 농도차이는 없었다.

감사의 글

이 연구는 교육인적자원부 “학교 실내공기 질과 환경성 질환의 연관성조사 및 예방대책에 관한 연구(’06-’07)”의 일부 결과이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 박중원(2000) 한국 가정에서의 실내 알레르겐, 4th 연세대학교 의과대학 알레르기 심포지엄
- 손종렬, 윤승욱, 김윤신, 노영만, 이철민, 손부순, 양원호, 이윤규, 최한영, 이진성(2006) 국내 일부 학교 교실의 실내공기질 평가, 한국실내환경학회지, 3(1), 54-63.
- 학교보건법 (법률 제7396호, 2005. 3. 24 공포, 2006. 1. 1 시행).
- Bardana, J.R., E.J., Andrach, R.H. (1983) Occupational asthma secondary to low molecular weight agents used in the plastic and resin industries, Eur J Resp Dis, 64, 241-251.
- Bartlett, K.H., Kennedy, S.M., Brauer, M., Netten, C., Dill B. (2004) Evaluation and determinants of airborne bacterial concentrations in school classrooms, J Occup Environ Hyg, 1(10), 639-47.
- Bayer, C.W., Crow, S.A., Fischer, J. (2000) Causes of indoor air quality problems in schools: summary of science research, SEMCO Inc., Columbia., 1-41.

- Bornehag, C.G. (2004) The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust: A nested case-control study, *Environ. health perspect*, 112-114.
- Bornehag CG, Blomquist G, Gyntelberg F, Jarvholm B, Malmberg P, Nordvall L (2001) Dampness in buildings and health. Nordic interdisciplinary review of the scientific evidence on associations between exposure to "dampness" in buildings and health effects (NORDDAMP), *Indoor Air*, 11, 72-86.
- Godwin, C., Batterman, S. (2007) Indoor air quality in Michigan schools, *Indoor Air*, 17, 109-121.
- Chan, C.Y., Chan, L.Y., Wang, X.M., Liu, Y.M., Lee, S.C., Zou, S.C., Sheng,G.Y., Fu, J.M. (2002) *Atoms. Environ*, 36, 2039-2047.
- EFA (2004) *Towards Healthy Air in Dwellings in Europe*.
- Hutter, H.P., Moshammer, H., Wallner, P., Damberger, B., Tappler, P., and Kundi, M. (2006) Health complaints and annoyances after moving into a new office building: A multidisciplinary approach including analysis of questionnaires, air and house dust samples, *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 209, 65-68.
- Jaakkola, J.J., Oie, L, Nafstad, P., Botten, G., Samuelsen, S.O., Magnus, P. (1999) Interior surface materials in the home and the development of bronchial obstruction in young children in Oslo, Norway, *Am J Public Health*, 89, 188-192.
- Peter, J.F. (2007) Indoor air quality and respiratory health of children, *Paediatric Respiratory Reviews*, 8, 281-286
- Schlundt, D.G., Flannery, M.E., Davis, D.L., Kinzer, C.K., Pichert, J.W. (1999) Evaluation of a multicomponent, behaviorally oriented, problem-based "summer school" program for adolescents with diabetes, *Behav Modif*, 23(1),79-105.
- Schneider, T., Sundell, J., Bischof, W., Bohgard, M., Cherrie, J.W., Clausen, P.A. (2003) "EUROPART." Airborne particles in the indoor environment. A European interdisciplinary review of scientific evidence on associations between exposure to particles in buildings and health effects, *Indoor Air*, 13, 38-48.
- U.S. EPA(2000) *IAQ Tools for Schools*. <http://www.epa.gov/iaq/schools/managingasthma.html>
- Wargocki, P., Sundell, J., Bischof, W., Brundrett, G., Fanger, P.O., Gyntelberg, F. (2002) Ventilation and health in nonindustrial indoor environments: report from a European multidisciplinary scientific consensus meeting (EUROVEN), *Indoor Air*, 12,113-128.