

## 국내 일부 초등학교 바닥먼지 내 화학적 및 생물학적 유해인자의 분석

김지영 · 정세영 · 김수정 · 김진아 · 시지연 · 조연우 · 조경덕 · 고광표<sup>†</sup>  
서울대학교 보건대학원 환경보건학과

### Chemical and Microbiological Hazard Analysis of Floor-Settled Dust in Elementary School Classrooms in Korea

JiYoung Kim, Se-Young Jung, Su-Jung Kim, Jin-Ah Kim, Jiyeon Si, YeonWoo Jo,  
KyungDuk Zoh, and GwangPyo Ko<sup>†</sup>

Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health,  
Seoul National University, Seoul, Korea

#### ABSTRACT

**Objectives:** This study investigated the levels and components of floor-settled dust in two elementary schools located at different sites (one near the Shihwa industrial complex and the other in a rural area) in order to evaluate the amounts of trace metal elements (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) and microorganisms.

**Methods:** Over twenty settled-dust samples were collected from the two elementary schools. Trace metal elements were extracted from the dust using hydrochloric acid and nitric acid, and the amounts were measured by ICP-OES. Microbiological analysis was performed by bacterial culturing using R2A medium and denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE).

**Results:** The results showed that the amounts of three metal elements (Cr, Pb, and Zn) were significantly different between the schools ( $\alpha=0.05$ ,  $p<0.04$ ). In addition, microbial communities in each school were highly correlated with one another. Among the identified microorganisms, a number of potentially opportunistic microorganisms, including antibiotic-resistant bacteria such as *Acinetobacter baumannii*, were found.

**Conclusions:** This study will provide preliminary data for assessing levels and types of chemical and microbiological agents in elementary schools and for further evaluating human health risks associated with the agents.

**Key words:** Bacterial antibiotic resistance, Denaturing gradient gel electrophoresis, Dust, Heavy metals, Shihwa industrial complex

#### I. 서 론

사람은 대부분의 시간을 실내에서 보내므로 실내 환경은 인체건강에 큰 영향을 미친다.<sup>1,2)</sup> 실내환경은 실외환경 등의 다양한 지역적, 환경적 요인에 따라

영향을 받는 것으로 알려져 있으며,<sup>3,4)</sup> 이에 따라 실외 및 실내 공기질의 요소에 따라 인체건강에 영향을 미치는 요인을 찾는 것은 매우 중요하다. 실내환경의 중요한 요인 들 중에 floor settled dust(이하 바닥먼지)는, 상대적으로 긴 시간에 걸쳐 침적된 것으

<sup>†</sup>**Corresponding author:** Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea, Tel: +82-2-880-2731, Fax: +82-2-745-9104, E-mail: gko@snu.ac.kr  
Received: 21 March 2011, Revised: 20 August 2011, Accepted: 22 August 2011

로 침적되기 전 공기 중에 부유되어 있던 미생물이나 화학적 인자들을 나타내는 지표가 될 수 있으며,<sup>5)</sup> 이러한 바닥먼지는 호흡기, 소화기 및 피부접촉 등을 통하여 인체에 노출이 되어 질병을 야기할 수 있다. 그러므로 바닥먼지의 화학적 및 생물학적 구성 성분을 연구하는 것은, 실내환경에서 건강 유해인자를 평가하는 데 중요하다.<sup>6)</sup>

안산/시화지역은 서울의 인구 및 산업 분산정책의 일환으로 도시 전체가 계획적이고 인공적으로 개발된 전원주택 및 공업도시가 복합적으로 존재하는 도시이다. 또한 수도권의 대표적인 공업도시 중의 하나로서 다른 지역에 비해 상대적으로 공업지역을 오염원으로 하는 각종 중금속 등의 유해인자가 높을 것으로 사료된다. 최근의 시화·반월공단 유해대기 오염물질(HAPs) 조사결과에 따르면, 납(Pb)은 대기 환경기준( $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 이내로 조사되었으나, 카드뮴(Cd) 등의 다른 중금속 평균농도는 전반적으로 공단지역이 주거지역보다 높게 나타났으며 공단지역에서 배출되는 여러 가지 유해물질은 실외 공기 질은 물론 실내 환경에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.<sup>7)</sup>

본 연구에서는 안산/시화지역의 초등학교를 대상으로 교실의 바닥먼지를 채취하여 화학적, 미생물학적 유해 인자를 측정 및 평가함으로써 교실 실내 환경에서 바닥먼지의 어린이 건강에 대한 환경보건학적 진단의 기초자료로 활용하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 대상학교의 선정 및 시료 채취

본 연구에서는 공단의 영향을 고려하여 시화공단에서 반경 1.5 km 이내에 위치하여, 상대적으로 공단의 영향이 클 것이라고 생각되는 경기도 시흥의 A 초등학교와 공단 지역 및 안산 시내로부터 약 35 km 떨어진 외곽에 위치하여 상대적으로 영향이 적을 것이라 예상되는 경기도 안산의 B 초등학교를 선정하여 바닥 먼지 시료를 채취하였다. 학교는 A 초등학교에서 12학급, B 초등학교에서 8학급을 선정하여 총 20개의 시료를 채취하였다. 시료 채취는 2010년 7월 6일(A 초등학교), 7일(B 초등학교)의 2일에 걸쳐 이루어졌고, 채취 당시 날씨는 양일 모두 맑았으며 평균 기온은 7월 6일 24.5°C, 7월 7일

25.5°C이었다.

바닥먼지는 가정용 청소기(DOR-761SD, 최대흡입력 510W, Daewoo electronics, Korea)를 이용하여 한 교실 당 5구역의 1.5 m<sup>2</sup> 면적에서 각 2분씩 총 10분간 전용 먼지필터에 수집하였다.<sup>8)</sup> 먼지필터는 학급 별로 교체하였으며 클린 지퍼백(LDPE, 25 cm×30 cm)에 밀봉하여 4°C 냉장상태로 실험실로 운반하였다. 청소기를 이용하여 수집한 먼지는 큰 입자의 불순물을 제거하기 위하여 체(#40 U.S. Standard Testing Sieve, 425 μm Nominal opening size)에 거르고<sup>9)</sup> 무게를 정량한 후, 60 mm Petri-dish (SPL, Korea)에 담아 밀봉하여 4°C에 보관하였다. 체 거름 후 평균 무게는 A 초등학교의 경우 7.804 g 그리고 B 초등학교는 3.301 g이었다.

### 2. 바닥먼지 내 미량금속원소의 분석

#### 1) 시료의 전처리 및 미량금속원소 분석

청소기를 이용한 바닥먼지 시료를 체로 거른 후에, 분석 가능한 중량이 확보된 시료(A 초등학교 10학급, B 초등학교 4학급)를 대상으로 각 1-1.5 g의 시료를 취하여, 실온조건의 clean bench에서 1주일간 자연 건조하였다. 건조된 시료는 표준망체(100 μm, ChungGye Industrial MFG. Co., Korea)를 이용하여 100 μm 이하로 분리하였고, 학급 별로 0.5-1 g의 시료를 미량금속의 원소분석에 사용하였다.<sup>8-10)</sup> 시료는 실온에서 충분히 자연건조 하였으므로 분석농도에 수분함량을 보정하지 않았다. 염산-질산 추출법을 통한 분석을 위하여, 시료를 20 ml의 glass vial에 옮기고 2: 2: 2 HCl-HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O 혼합 산 용액(HCl, HNO<sub>3</sub>: Trace metal grade 시약으로 유해금속 측정용, H<sub>2</sub>O: 크로마토그래피용) 6 ml을 가한 후 COD reactor (Hach, USA)를 이용하여 100°C에서 2시간 동안 추출한 용액을 방냉하였다. 방냉 후 syringe filter (0.45 μm pore size)를 이용하여 여과하고 탈이온수인 3차 증류수를 가하여 최종 액량을 25 ml이 되도록 하였다. 전 처리 과정을 거친 시료는 유도결합 플라즈마 방출분광광도계(ICP-OES, DV-3100V, Perkin Elmer, USA)를 이용하여 사람에게 건강 상의 위해를 일으킬 수 있으며, 주변 공단에 의해 대기 중으로 방출될 수 있는 미량금속원소 중 총 8개 원소(As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)을 대상으로 분석을 실시하였다.

**Table 1.** Description for certified metals concentration (mg/kg) of standard reference material (MESS-3) and recovery rate (%)

	As	Cd	Cu	Cr	Co	Ni	Pb	Zn
Conc.	21.2	0.24	33.9	105	14.4	46.9	21.1	159
(S.D.)	(±1.1)	(±0.01)	(±1.6)	(±4)	(±2.0)	(±2.2)	(±0.7)	(±8)
Recovery rate	75	54	120	69	75	73	83	91

2) 시료의 농도 값 검증 및 통계처리

시료의 방법 검출한계(Method Detection Limit, MDL, 이하 검출한계)는 미국 환경 보호청(United States Environmental Protection Agency, 이하 USEPA)에서 제시하는 방법을 바탕으로 산출하였다.<sup>11)</sup> 즉, 기기가 반응하는 최소한의 농도를 검량선에서 확인한 후, 이 농도의 표준편차의 3배 값으로 산정하였다. 또한 시료분석방법인 염산-질산추출법에 의한 원소성분 농도 값의 신뢰성 검증을 위해 캐나다 국립 연구회의(National Research Council Canada)에서 제조된 토양 및 침적물 미량원소 분석용 표준물질인 MESS-3을 이용하였고, 표준물질에 대한 공인농도를 Table 1에 제시하였다. 이러한 표준 시료 0.5-1 g을 취하여 실제 시료와 동일한 방법으로 전처리 후 분석하여 표준물질에 제시된 절대 농도와 비교하는 회수율 실험(Recovery Test)을 수행하였고, 이에 대한 회수율을 Table 1에 함께 제시하였다. A 초등학교와 B 초등학교의 미량 금속원소의 농도비교를 위한 T-test 및 원소간의 상관성 분석에는 Microsoft Excel® 2007 (Microsoft Corp., USA) 과 SAS® version 9.2 (SAS Institute Inc., USA)를 이용하였다.

3. 배양법을 이용한 총 세균 분석

먼지 내 세균을 용출하기 위하여 50 ml/ conical tube에 채 거름 후의 먼지 시료 50 mg(최대 질량이 50 mg 미만인 시료는 전량을 모두 사용하였음, A3: 10 mg, B1: 33 mg)을 Extraction buffer (0.15% peptone, 0.05% NaCl, 0.01% Teen80) 30 ml에 넣고 충분히 vortex한 후 10분 간 실온에 보관하였다.<sup>12)</sup> 다음으로 25°C에서 220 rpm으로 10분간 shaking 하고 다시 실온에서 15분 간 정치 후, 상층액을 취하여 실험에 사용하였다. 용출된 시료는 동일한 buffer를 이용하여 10<sup>0</sup>~10<sup>6</sup>배로 serial dilution 한 후 1.5× Agar R2A medium (Difco, USA)에 100~150 µl 도말하여 25°C

에서 7일 간 배양 후 생성된 세균 집락을 계수하였다.

4. 바닥먼지 내 유해미생물 분석

1) 시료의 총 DNA의 추출 및 16S rRNA 유전자 증폭

DGGE를 이용한 유해미생물 분석을 위하여 시료 0.25 g를 Ultra Clean Soil DNA isolation kit (MO BIO Laboratories)를 이용하여 총 DNA를 40 µl로 추출하였고 실험 수행 전까지 -20°C에 보관하였다.<sup>13)</sup> 추출한 DNA는 환경시료의 단점을 보완하는 nested PCR 방법을 통하여 16S rRNA 유전자의 V3영역을 증폭하였으며, 1st PCR에는 universal primer인 27F 와 1492R를 사용하였고, 2nd PCR에는 40bp의 GC clamp를 포함한 341F-GC (5'-CGC CCG CCG CGC GCG GCG GGC GGG GCG GGG GCA CGG GGG GCC TAC GGG AGG CAG CAG-3')와 518R (5'-ATT ACC GCG GCT GCT GG-3')을 사용하였다.<sup>14,15)</sup> 1st PCR은 95°C에서 2분간 pre-denature하고 94°C에서 30초, 45°C에서 30초, 72°C에서 90초의 세 단계를 40 cycle 반복한 후 72°C에서 5분간 final extension 하였고, 2nd PCR은 1st의 PCR 산물을 이용하여 94°C에서 45초간 pre-denature 후 94°C에서 45초, 55°C에서 45초, 72°C에서 50초의 세 단계를 30cycle 반복한 후 72°C에서 6분간 final extension하였다. PCR 산물은 1% agarose gel에 전기영동한 후 233 bp의 band를 확인하였고, QIAquick Gel Extraction Kit (Qiagen, USA)로 정제한 후 DGGE 분석에 사용하였다.

2) DGGE (Denaturant Gradient Gel Electrophoresis) 분석

DGGE는 같은 길이의 DNA fragment가 염기서열이 가지는 Tm 값의 차이에 의해 핵산의 이동속도가 달라져 전기영동 시 gel의 변성제의 농도 구배에 따라 각각 다른 위치에서 band를 형성하게 되는 점

을 이용하는 것이다.<sup>16)</sup> 본 실험에서는 Universal Mutation Detection system (Bio-Rad Laboratories, USA)을 사용하였고, Urea와 Formamide를 포함한 35-65%의 gradient를 가지는 Denaturing gradient gel에 PCR amplicon 1000 ng을 사용하여 1×TAE buffer에서 60°C, 60 V로 900분간 전기영동하였다.<sup>17)</sup> 전기영동 후에 gel은 EtBr로 20분간 염색, 30분간 탈색 과정을 거친 후 UV로 band 양상을 확인하고 총 54개의 band를 gel에서 잘라내었다. DNA는 잘라낸 gel에 TE buffer 50 µl을 넣고 4°C에서 24시간에 걸쳐 용출하였다. DGGE band 패턴 분석은 Bionumerics version 5.1 (Applied Maths NV, Sint-Martens-Latem, Belgium)을 이용하여 실시하였다.

3) DGGE band의 염기서열 분석

DGGE를 통해 얻은 band의 DNA는 클로닝을 통한 염기서열 분석을 위하여 GC-clamp를 제외한 341F (5'-CCT ACG GGA GGC AGC AG-3')와 518R primer를 이용하여 PCR을 수행하였다. PCR 산물은 1 % agarose gel에서 전기 영동하여 193 bp의 증폭을 확인하였고, QIAquick PCR purification kit (Qiagen, USA)를 통하여 40 µl로 정제하였다. 정제된 DNA는 pGEM-T easy vector (Promega, USA)로 클로닝 하였다. Competent cell은 *Escherichia coli* DH5α를 사용하였으며, X-Gal과 IPTG를 포함하는 LB ampicillin 배지에서 하얀색을 띠는 colony를 선택하여 액체배지에 배양하였고, M13 primer를 이용한 colony PCR을 통해 확인한 후 배양한 시료의 Plasmid DNA (Plasmid mini prep kit, Labopass, Korea)를 추출하여 염기서열 분석을 의뢰하였다 (Cosmo Genetech Corp., Seoul, Korea). 분석된 시료의 염기서열은 NCBI BLAST를 통하여 비교분석하였다.

III. 결 과

1. 바닥먼지 내 미량금속원소 농도

14개의 학급에서 채집한 바닥먼지에서 미량금속원소 농도를 분석한 결과 비소(As), 카드뮴(Cd), 코발트(Co)는 두 학교에서 모두 검출한계 미만으로 측정되었으며 그 외 구리(Cu), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn), 크롬(Cr)은 A 초등학교에서 더 높은 농도로 나

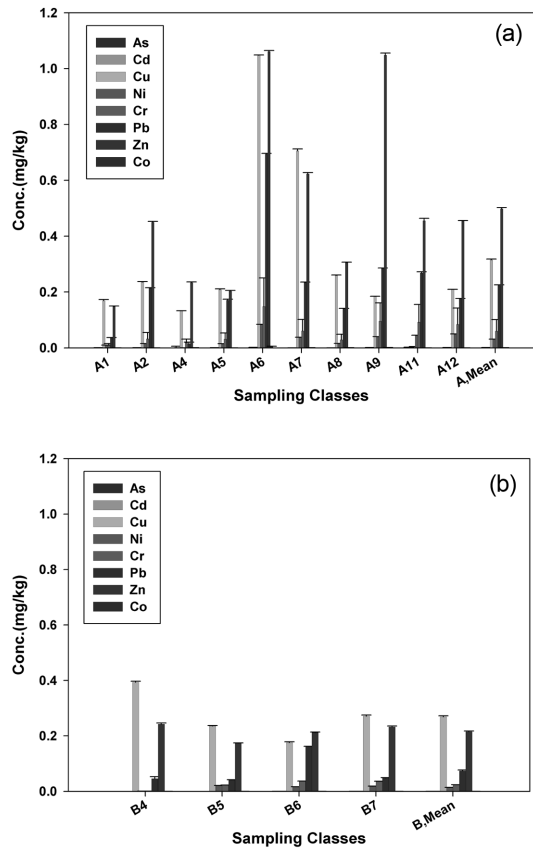


Fig. 1. Concentrations of trace metal elements in floor settled dust: school A (a), school B (b).

타났다(Fig. 1). 분석기기의 신뢰성 검증을 위해 표준물질을 바탕으로 실시한 회수를 실험에서는 각각의 원소 별로 54 (Cd)-120 (Cu) %의 회수율을 보였고(Table 1), 이러한 회수율 시험결과를 보정하여 원소 별 농도를 산출하였다.

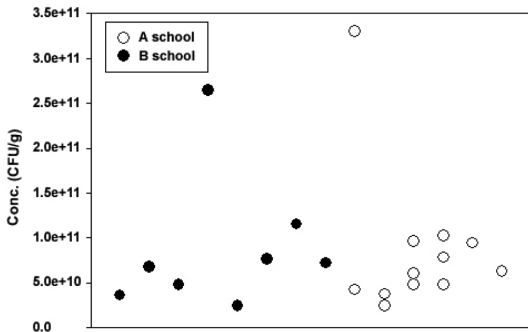
시료를 채취한 두 학교 사이의 농도분포의 분석결과 각 원소들의 농도분포 별 표준편차 및 분산치는 서로 상이하였다. 따라서, 이들 농도분포간 통계적 유의성을 검정하기 위하여 이분산 가정의 t-test를 수행한 결과 α = 0.05의 유의수준에서 납(Pb) (p = 0.004), 아연(Zn) (p = 0.024), 크롬(Cr) (p = 0.04)이 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다.

바닥먼지 내 미량금속 원소들 간의 상관관계를 보기 위하여 A 초등학교에서 검출한계 이상으로 측정된 5개 원소(Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)에 대하여 상관성 분석을 실시한 결과(Table 2), 유의수준 α = 0.05에

**Table 2.** Correlation coefficients among trace metal elements in floor settled dust for school A

	Cu	Ni	Cr	Pb	Zn
Cu	1.000				
Ni	0.665*	1.000			
Cr	0.566*	0.971*	1.000		
Pb	0.771*	0.900*	0.892*	1.000	
Zn	0.604*	0.798*	0.861*	0.823*	1.000

\*Statistically significant at  $\alpha = 0.05$ .



**Fig. 2.** Concentration of culturable bacteria in floor settled dust: school A (○), school B (●).

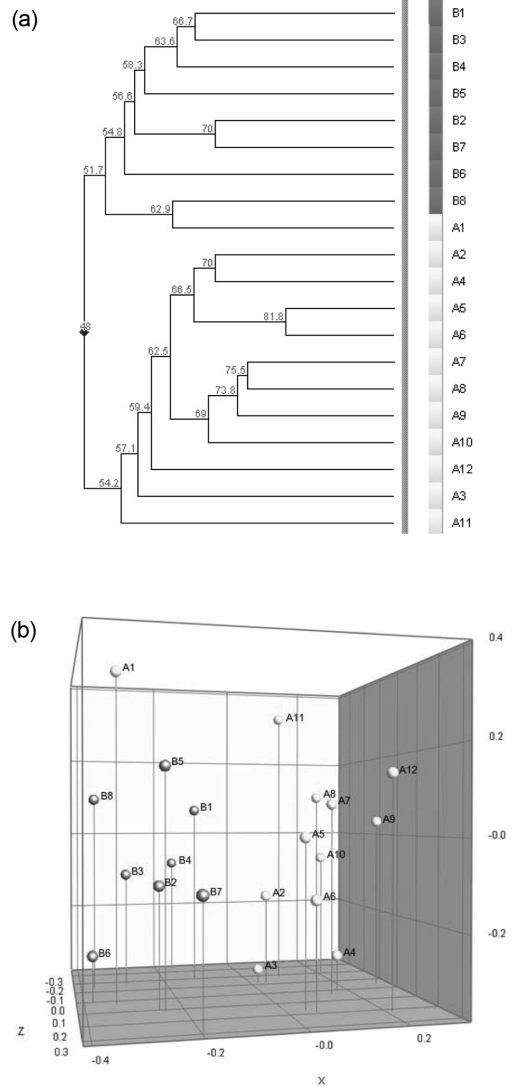
서 Cr과 Cu를 제외한 나머지 원소들 간에서 통계학적으로 유의한 양의 상관관계( $p < 0.05$ )를 나타내었다.

**2. 배양법을 이용한 총 세균 농도 분포**

R2A 배지를 이용하여 교실 내 바닥먼지에 존재하는 총 세균 농도를 정량한 결과, 두 학교 간 비슷한 농도를 가지는 것을 확인할 수 있었다. A 초등학교의 평균농도는 8.515E+10 CFU/g, B 초등학교의 평균농도는 8.794E+10 CFU/g로 수치상으로도 큰 차이를 보이지 않았으며, 최대농도와 최소농도 값의 차이도 10배 내외로 지역에 따른 농도 차이는 확인할 수 없었다(Fig. 2).

**3. DGGE를 이용한 미생물 군집분포 분석**

DGGE 결과는 Bionumerics version 5.1 software를 이용하여 band 패턴을 multi-dimensional scaling (MDS)와 dendrogram으로 분석하였고, dendrogram은 unweighted-pair group method using arithmetic average (UPGMA)와 Dice coefficients를 설정하여 구하였다. 분석 결과 전체 시료는 48%의 유사성



**Fig. 3.** Dendrogram derived from UPGMA cluster analysis using Dice coefficient (a) and Multi-dimensional scaling (MDS) analysis (b) by DGGE fingerprinting data. Yellow : school A (n = 12), blue : school B (n = 8).

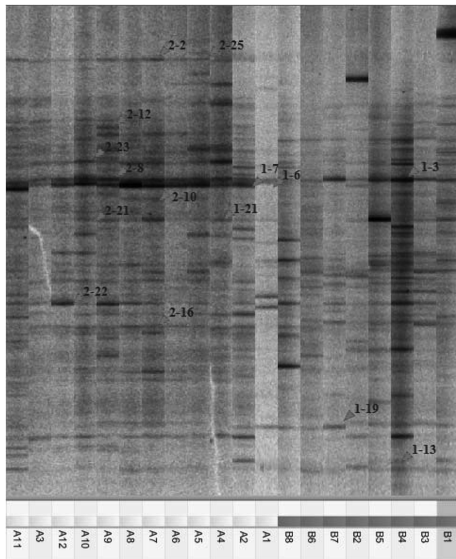
(similarity)를 나타내었으며, 학교 별로 clustering이 되는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3).

**4. 바닥먼지 속 유해미생물 분석**

DGGE 후 cloning을 통하여 얻어진 54개의 colony를 분석한 결과 인체에 유해하다고 알려진 *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas*, *Neisseria*

**Table 3.** Identification of potentially harmful microorganisms by DGGE analysis

Excised band	Genbank accession no.	Identified microorganism	Percent identity
1-3	HM629807.1	<i>Acinetobacter</i> spp.	100%
1-6	GU374045.1	<i>Streptococcus</i> spp.	94%
1-7	HM629807.1	<i>Acinetobacter</i> spp.	98%
1-13	DQ066447.1	<i>Gardnerella vaginalis</i> strain	100%
1-19	EU239155.1	<i>Pseudomonas</i> spp.	98%
1-21	GQ203292.1	<i>Neisseria mucosa</i> strain	100%
2-2	HM629807.1	<i>Acinetobacter</i> spp.	99%
2-8	FN994922.1	Uncultured <i>Pseudomonas</i> spp.	97%
2-10	HM584008	<i>Acinetobacter baumannii</i> strain	96%
2-12	FN994922.1	Uncultured <i>Pseudomonas</i> spp.	97%
2-16	HM566077.1	<i>Acinetobacter</i> spp.	100%
2-21	GQ203292.1	<i>Neisseria mucosa</i> strain	96%
2-22	HM222637.1	<i>Enterococcus faecium</i> strain	98%
2-23	HM579796.1	<i>Kocuria</i> spp.	100%
2-23	AJ871427.1	<i>Enterococcus mundtii</i>	95%
2-25	AB377155.1	<i>Haemophilus influenzae</i>	100%



**Fig. 4.** DGGE band patterns and specific bands for subsequent DNA sequencing in this study. Each number indicates an excised band listed in Table 3.

*mucosa* 등 총 16종의 미생물이 발견되었다(Fig. 4, Table 3). A 초등학교에서는 분석한 36개의 colony 중 13개, B 초등학교는 18개의 colony 중 3개가 발견되어 상대적으로 A 초등학교에서 더 많은 유해미생물이 검출된 것을 확인할 수 있었다.

#### IV. 고 찰

미량금속원소 농도의 분석 결과 두 학교에서 통계적으로 유의한 차이를 보인 납(Pb), 아연(Zn), 크롬(Cr)은 자연적 발생원보다는 산업 활동이나 화석연료, 도료(페인트) 사용과 같은 인위적 발생원에 의해 실내 외 환경매체에 광범위하게 배출되는 원소로<sup>18)</sup> 상대적으로 시화 공업단지에 근접해 있는 A 초등학교가 공단의 영향을 받은 것으로 생각되며 이는 예상했던 연구 결과와 상당히 부합한다고 사료된다. 또한 A 초등학교에서 크롬(Cr), 구리(Cu), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn)의 농도가 서로 유의한 양의 상관관계를 나타내었고 이 원소들이 B 초등학교에 비하여 높은 농도가 검출된 것임을 고려해 볼 때 5개 원소는 동일하거나 상관관계가 있는 배출원을 가진다고 사료된다.

미량 금속원소 농도의 결정은 시료 처리방법, 분석용 시료의 입자크기, 시료 추출과정 그리고 시료 채취지점별 배출 원의 특성 및 강도 등 복잡한 요인에 의해 그 결과가 서로 상이하게 나타난다고 알려져 있다.<sup>19,20)</sup> 그러므로 주택 및 실내먼지 속의 미량 금속원소 성분을 평가한 다양한 선행연구와 직접적인 비교는 어렵지만 간접적인 비교는 의미가 있다고 본다. 본 연구에서 공단의 영향을 받을 것이라고

**Table 4.** Mean concentrations of trace metal elements in floor settled dust

City (country)	No. of samples	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Sample digestion (instruments)	Reference
Siheung (Korea)	10	3.49	10.5	1.7	10.8	21.9	HCl+HNO <sub>3</sub> (ICP-OES)	This Study
Daegu (Korea)	48	44	433	71	64	626	HCl+HNO <sub>3</sub> (ICP-AES)	9
Incheon (Korea)	16	-	176.2	-	138.7	919.8	HCl (ICP-AES)	30
Cincinnati (USA)	37	145	-	110	360	64	HNO <sub>3</sub> (ICP-AES)	31
Sydney (Australia)	82	84	147	27	389	657	HNO <sub>3</sub> (ICP-AES)	32

\*Units: mg/kg

생각한 A 초등학교의 바닥 먼지 속 미량 금속원소를 선행연구를 바탕으로 국내의 도시지역 실내 먼지에서의 값과 비교한 결과를 Table 4에 정리하였다. 그 결과 검출한계 이상으로 검출된 구리(Cu), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn), 크롬(Cr)의 5개 원소는 다른 지역의 농도에 비해 작게는 1/3배, 크게는 1/70배 수준으로 낮았다.

이러한 결과는 바닥먼지 내 미량금속원소는 어느 정도는 공단의 영향을 받으나 이는 매우 미미하며 인체에 영향을 줄 정도의 수준은 아니라고 여겨진다. 바닥먼지의 미량 금속원소 오염은 도시형성의 특성 및 지리적 특성, 기후조건, 대기오염 배출원의 특성 등에 따라 원소 성분 별로 상이한 차이가 존재한다고 알려져 있다.<sup>8,9)</sup> 또한 본 연구를 수행한 여름은 상대적으로 높은 습도와 많은 강수일로 인하여 대기상의 부유먼지 및 건식침적(dry deposition)에 의한 육상에서의 오염 영향이 상대적으로 적다고 알려져 있다.<sup>21)</sup> 이러한 요인들을 고려해 볼 때, 위의 제시한 다양한 영향인자들을 고려한 추가연구가 필요하다고 사료된다.

침적된 먼지시료에는 다양한 미생물이 존재하고, 이러한 미생물은 번식 가능 여부 및 생존여부에 관계없이 인간에게 노출되어 여러 가지 건강장해를 일으키는데 기여할 수 있어 세균의 농도를 측정하는 것은 노출평가에 있어서 큰 장점이 될 수 있다.<sup>22)</sup> 그러나 본 연구에서는 두 학교 20개 학급 간의 총 세균 농도는 비슷하게 측정되었다. 전국 100여개 초등학교와 유치원을 대상으로 한 낙하세균과 부유세균의 농도를 측정된 선행연구에서도 교실의 난방방법,

건축 년도, 보수현황, 온도, 습도의 차이가 총 세균의 농도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.<sup>23)</sup> 본 결과는 교실 바닥먼지는 교실의 위치, 학년 및 청소상태에 따라 먼지의 양의 차이는 존재할 수 있으나 먼지 내 세균의 농도는 전반적으로 유사하다고 할 수 있다.

DGGE를 통한 분석에서는 두 학교별로 clustering이 되는 것을 확인할 수 있었고(Fig. 3) 이는 지역적 특성뿐만 아니라 학교의 건립시기, 시료 채취 당시 교실의 온도, 습도, 교실 내 바닥 재질 등의 환경적 영향이 관여했을 것이라 생각된다. A 초등학교의 교실 내 바닥재는 전 학급 나무재질이였으며, B 초등학교는 타일, 콘크리트 등 학급별로 다양하였다. 또한 학급인원은 10명 내외의 B 초등학교에 비하여 A 초등학교는 평균 35명으로 높았다. 기존 선행연구에서는 건물구조 및 환기상태가 비슷한 농촌 지역의 두 건물에서 바닥먼지 내 세균의 diversity를 조사 한 결과 계절 및 건물에 따라 유의한 차이를 보였으며 특히 건물에 따른 차이가 더 크다고 보고된 바 있다.<sup>24)</sup> 본 연구에서도 건물에 따라 clustering이 되는 것을 확인할 수 있었으나 연구대상이었던 두 초등학교는 지역적 특성뿐만 아니라 그 외의 영향요소가 많이 존재하여 정확한 원인을 파악하기에는 제한 점이 있다.

본 연구에서 가장 흔하게 검출된 *Acinetobacter* 는 다재내성 균으로 특히 병원을 통한 감염이 가장 많은 것으로도 알려져 있다.<sup>25)</sup> 건강한 사람에게는 유해한 영향을 미치지 않으나 면역력이 저하된 환자에서 병원감염, 기회감염 및 항생제 내성을 나타내는

중요한 병원균이라 할 수 있다.<sup>26,27)</sup> 항생제 내성 균은 최근 국내에서도 여러 매체에서 ‘슈퍼 박테리아’로 그 위험성을 다루었고, 일본에서는 *Acinetobacter* 감염에 의한 사망도 보고된 바 있다. 교실은 많은 인원의 학생들이 모여 생활하는 공간으로 개개인의 건강상태는 편차가 클 수 있으나, 상대적으로 노출에 민감한 어린이의 경우 면역력이 저하된 시기에 *Acinetobacter*에 감염된다면 심각한 결과를 초래할 수 있으므로 효율적인 먼지 제거와 정기적인 건강검진이 필요할 것이다. 두 초등학교에서 모두 검출된 *Pseudomonas* spp.도 항생제 내성 균으로 자연적으로 이러한 성질을 가지고 있기도 하나 유전자 변형을 통하여 새로운 항생제에 대한 내성을 갖기도 한다.<sup>28)</sup> 병원을 통한 감염이 주를 이루지만 학교 역시 집단의 모임이므로 *Pseudomonas* spp.에 의한 감염 가능성을 간과 할 수 없겠다. *Neisseria* spp.는 인간의 상부호흡기에 상주하는 균으로써 그 위험성은 크지 않으나 *Neisseria mucosa*의 경우 극히 드물게 심내막염을 일으킬 수 있다.<sup>29)</sup> 또한 *Neisseria mucosa*에 의해 심내막염에 걸린 경우, 페니실린에 대한 저항성이 각기 달라 fluoroquinolone계의 항생제를 투여한 사례가 있어 주의가 필요할 것이다.

A 초등학교와 B 초등학교의 바닥면지에서 검출된 유해 미생물은 대부분 건강한 사람에게서는 위험하지 않으나 면역력이 낮은 환자들에게 감염을 일으키는 병원균이었다. 하지만 발견된 병원균은 대부분이 항생제 내성 균으로 이는 감염 시 처방될 수 있는 약의 부재를 의미한다. 슈퍼 박테리아의 등장으로 항생제 내성의 우려가 급증하는 요즘, 초등학교에서 항생제 내성 균이 발견되었다는 것은 면역능력이 완전히 발달하지 않은 초등학생들이 보다 높은 위험에 노출될 수 있음을 의미하므로 이에 따른 적절한 조치가 필요할 것이다.

## V. 결 론

본 연구에서는 시화공단 인근 A 초등학교와 공단 외곽지역의 B 초등학교의 교실 바닥면지 내에 존재하는 화학적, 생물학적 위해 요소를 측정하기 위하여 미량금속원소 및 유해미생물의 존재를 확인하였다. 그 분석 결과는 다음과 같다.

첫째, 미량 금속원소는 검출한계 이상으로 측정된

5종의 모든 원소(Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)에서 A 초등학교가 B 초등학교보다 높은 농도 값이 측정되었고 유의수준  $\alpha = 0.05$ 에서 납(Pb), 아연(Zn), 크롬(Cr)은 통계적으로 높았다( $p < 0.05$ ).

그러나 기존 연구보다는 전반적으로 낮은 농도분포를 보여 공단의 영향은 매우 미비한 것으로 추정되며, 인체건강에 크게 영향을 끼치는 수준은 아니라고 판단된다. 하지만 계절적 인자 등에 의해 공단의 영향이 과소평가 되었을 가능성이 있으므로 앞으로 추가적인 연구가 요구된다. 또한 A 초등학교의 미량 금속원소 간의 상관분석을 실시한 결과, 검출한계 이상으로 측정된 모든 원소 농도 간에 유의한 양의 상관관계를 보였다.

둘째, 총 세균은 평균적으로 B 초등학교 8.794E+10 CFU/g, A 초등학교 8.515E+10 CFU/g로 비슷한 농도를 보였으며, DGGE의 band pattern을 통하여 미생물 군집분포를 분석한 결과 학교 별로 clustering 되는 것이 관찰되었다. 이러한 결과는 교실 내의 세균의 농도는 비슷하나 그 구성성분은 두 초등학교에서 차이를 보임을 알 수 있었다. 기초 역학자료 등의 부족으로 clustering의 정확한 원인은 확인할 수 없었지만, 환경 및 인체의 요인이 복합적으로 작용되지 않았나 추정하고 있다.

셋째, A 초등학교에서 13종, B 초등학교에서 3종의 유해세균(*Acinetobacter* spp., *Pseudomonas* spp., *Neisseria mucosa*, *Enterococcus faecium* 등)을 확인하였다. 발견된 대부분의 세균은 병원감염을 일으키고 항생제 내성을 지니는 균으로 많은 인원이 함께 생활하는 초등학교에서 면역능력이 저하된 어린이의 인체위해성의 가능성이 크므로, 교실 내 청결한 위생관리가 필요한 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 서울대학교 보건대학원 환경보건학과 실습 교과목인 지역사회보건실습을 목적으로 수행된 연구로서 지원해 주신 서울대학교 및 초등학교 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Perez-Padilla R, Schilman A, Riojas-Rodriguez H.



- Respiratory health effects of indoor air pollution. *Int J Tuberc Lung Dis.* 2010; 14(9): 1079-1086.
2. Heinrich J. Influence of indoor factors in dwellings on the development of childhood asthma. *Int J Hyg Environ Health.* 2011; 214(1): 1-25.
  3. Weisel CP. Assessing exposure to air toxics relative to asthma. *Environ Health Perspect.* 2002; 110 Suppl 4: 527-537.
  4. Weisel CP, Zhang J, Turpin BJ, Morandi MT, Colome S, Stock TH, et al. Relationship of Indoor, Outdoor and Personal Air (RIOPA) study: study design, methods and quality assurance/control results. *J Expo Anal Environ Epidemiol.* 2005; 15(2): 123-137.
  5. Park JH, Exposure Assessment of Biological Agents in indoor Environments, *J Environ Health Sci.* 2009; 35(4): 239-248.
  6. Macher JM. Review of methods to collect settled dust and isolate culturable microorganisms. *Indoor Air.* 2001; 11(2): 99-110.
  7. Song DU, Song CG, Kim CH. A Study on the Atmospheric Dispersion of Odor Emitted from Banwol/Sihwa Industrial Complex in Ansan Area. *Kor Soc Environ Impact Assess.* 2003; 12(5): 323-340.
  8. Song HB, Do HS, Lee MS, Shin DC, Yoon HS, Kwak JH, et al. Trace Elements Analysis and Source Assessment of School Dust in Daegu, Korea. *J Kor Soc of Environ Engineers.* 2007; 29(12): 1390-1399.
  9. Do HS, Song HB, Jung YW, Yoon HS, Kwak JH, Han JU, et al. Trace Element Analysis and Source Assessment of Household Dust in Daegu, Korea. *J Kor Soc of Environ Engineers.* 2010; 32(1): 1237-1246.
  10. Ordonez A, Loreda J, De Miguel E, Charlesworth S. Distribution of heavy metals in the street dusts and soils of an industrial city in northern Spain. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2003; 44(2): 160-170.
  11. United State Environmental Protection Agency. Environmental Monitoring Systems Handbook of Analytical Quality Control in Water and Wastewater Laboratories. 1979; EPA-600/4-79-019.
  12. Macher JM. Evaluation of a procedure to isolate culturable microorganisms from carpet dust. *Indoor Air.* 2001; 11(2): 134-140.
  13. Roy SR, Schiltz AM, Marotta A, Shen Y, Liu AH. Bacterial DNA in house and farm barn dust. *J Allergy Clin Immunol.* 2003; 112(3): 571-578.
  14. Muyzer G, de Waal EC, Uitterlinden AG. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. *Appl Environ Microbiol.* 1993; 59(3): 695-700.
  15. Webster G, Newberry CJ, Fry JC, Weightman AJ. Assessment of bacterial community structure in the deep sub-seafloor biosphere by 16S rDNA-based techniques: a cautionary tale. *J Microbiol Methods.* 2003; 55(1): 155-164.
  16. Nicolaisen MH, Ramsing NB. Denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) approaches to study the diversity of ammonia-oxidizing bacteria. *J Microbiol Methods.* 2002; 50(2): 189-203.
  17. Lee S, Choi B, Yi SM, Ko G. Characterization of microbial community during Asian dust events in Korea. *Sci Total Environ.* 2009; 407(20): 5308-5314.
  18. Choi SW, Song HD. Source Characteristics of Particulate Trace Metals in Daegu Area. *J Kor Soc for Atmosph Environ.* 2000; 16(5): 469-476.
  19. Ferreira-Baptista L, Miguel E. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: A tropical urban environment. *Atmospheric Environ.* 2005; 39(25): 4501-4512.
  20. Tong ST, Lam KC. Home sweet home? A case study of household dust contamination in Hong Kong. *Sci Total Environ.* 2000; 256(2-3): 115-123.
  21. Zhang R, Wang M, Kanai Y, Ohta A. Seasonal Characterization of Dust Days, Mass Concentration and Dry Deposition of Atmospheric Aerosols over Qingdao, China. *China Particuology.* 2004; 2(5): 196-199.
  22. Douwes J, Thorne P, Pearce N, Heederik D. Bio-aerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. *Ann Occup Hyg.* 2003; 47(3): 187-200.
  23. Shin DC, Lim YU, Yang JY, Kim HY. Study about prevention and correlation at indoor air quality in school and environmental disease, The institute for Environmental Research, Yonsei University College of Medicine; 2006.
  24. Rintala H, Pitkaranta M, Toivola M, Paulin L, Nevalainen A. Diversity and seasonal dynamics of bacterial community in indoor environment. *BMC Microbiol.* 2008; 8: 56.
  25. Bergogne-Berezin E, Towner KJ. *Acinetobacter* spp. as nosocomial pathogens: microbiological, clinical, and epidemiological features. *Clin Microbiol Rev.* 1996; 9(2): 148-165.
  26. CDC : <http://www.cdc.gov/HAI/organisms/acinetobacter.html/>. [Accessed 20 January 2011].

27. Smith MG, Gianoulis TA, Pukatzki S, Mekalanos JJ, Ornston LN, Gerstein M, et al. New insights into *Acinetobacter baumannii* pathogenesis revealed by high-density pyrosequencing and transposon mutagenesis. *Genes Dev.* 2007; 21(5): 601-614.
28. Chen L, Yang L, Zhao X, Shen L, Duan K. Identification of *Pseudomonas aeruginosa* genes associated with antibiotic susceptibility. *Sci China Life Sci.* 2010; 53(10): 1247-1251.
29. Tronel H, Chaudemanche H, Pechier N, Doutrelant L, Hoen B. Endocarditis due to *Neisseria mucosa* after tongue piercing. *Clin Microbiol Infect.* 2001; 7(5): 275-276.
30. Lee JH, Min BH. Distribution and characteristics of heavy metals in the fallout dust deposits at the middle and high schools of some cities in South Korea. *Kor J Environ Health.* 2003; 29(3): 21-27.
31. Tong STY. Indoor and outdoor household dust contamination in Cincinnati, Ohio, USA. *Environ Geochem and Health.* 1998; 20(3): 123-133.
32. Chattopadhyay G, Lin KC, Feitz AJ. Household dust metal levels in the Sydney metropolitan area. *Environ Res.* 2003; 93(3): 301-307.