

대구지역 학교먼지에 함유된 미량원소성분 분석과 오염원 평가

송희봉[†] · 도화석 · 이명숙 · 신동찬 · 유효석 · 곽진희 · 정철수 · 강재형

대구광역시보건환경연구원

(2007년 9월 12일 접수, 2007년 12월 13일 채택)

Trace Elements Analysis and Source Assessment of School Dust in Daegu, Korea

Hee-Bong Song[†] · Hwa-Seok Do · Myoung-Sook Lee · Dong-Chan Shin

Ho-Suk Yoon · Jin-Hee Kwak · Cheol-Su Jung · Jae-Hyung Kang

Public Health and Environment Institute of Daegu Metropolitan City

ABSTRACT : Samples of 45 school dust were collected in Daegu in January 2007, were sieved below 100 μm , and 14 elements were analyzed using ICP after an acid extraction. Results obtained from the source assessment of trace elements using enrichment factor showed that dust from playground were influenced by natural sources, while dust from classroom were influenced by urban anthropogenic sources. The measured values were remarkably higher in components from natural sources than in components from urban anthropogenic sources. Dust from classroom are highly concentrated than those from playground. Concentrations of dust in urban area are similar to those of dust in rural area and there was no significant difference in concentrations between classroom with playground soil and classroom with playground grass. Compared with other cities in Korea, concentrations of heavy metals in Daegu city were higher in classroom and lower in playground than those of heavy metals in other cities. Dust from classroom contained lower concentrations of trace elements than those from street in Daegu. Results of pollution indices of heavy metals indicated that playground was not contaminated with heavy metals and classroom was considered to be highly contaminated. No appreciable differences in playground were found between urban and rural areas but in case of classroom pollution, heavy metal concentrations were a little bit higher in urban areas than in rural areas. The correlation analysis among trace elements indicated that components in playground were significantly correlated, while components in classroom were less correlated. Trace element components of classroom dust were not significantly affected by those of playground dust.

Key Words : School Dust, Trace Elements, Enrichment Factor, Pollution Indices

요약 : 2007년 1월에 대구지역의 총 45개 학교를 대상으로 학교먼지를 체취하여 100 μm 이하로 체거름하고 산추출한 후 ICP로 14개 원소를 분석하였다. 농축계수를 이용한 미량원소성분의 발생원을 평가한 결과, 운동장은 자연적인 발생원의 영향을 많이 받고 있는 반면에 교실은 인위적인 발생원의 영향을 많이 받고 있는 것으로 추정되었다. 분석결과는 자연적인 발생원 성분이 인위적인 발생원 성분에 비해 매우 높은 농도를 보였다. 또한 교실은 운동장보다 뚜렷하게 높은 농도를 보였으나 도시지역과 농촌지역간 그리고 토양운동장과 잔디운동장을 이용하는 교실간은 대체로 농도차이가 없었다. 대구지역의 수준은 국내의 다른 지역보다 운동장이 낮은 농도를 보였으나 교실은 높은 농도를 보였다. 대구지역의 교실에 축적된 먼지는 도로상에 축적된 먼지보다 미량원소성분을 적게 함유하고 있었다. 오염지수를 이용한 중금속성분의 오염도를 평가한 결과, 운동장은 중금속오염이 거의 없는 수준을 보였으나 교실은 중금속오염이 높은 수준을 보였다. 또한 운동장은 도시지역과 농촌지역간 큰 차이가 없었으나 교실은 도시지역이 농촌지역 보다 중금속오염이 약간 높았다. 미량원소성분간의 상관성을 분석한 결과, 운동장은 교실보다 미량원소성분간에 양호한 상관성을 많이 보였다. 교실먼지에 함유된 미량원소성분은 운동장먼지에 함유된 미량원소성분의 영향을 크게 받지 않았다.

주제어 : 학교먼지, 미량원소성분, 농축계수, 오염지수

1. 서 론

최근 들어 언론을 통해 ‘교실은 숨쉬지 않는다’, ‘유치원 책상에서 납 검출’, ‘어린이 납 중독 비상’, ‘교실 안 발암물질 등등’, ‘어린이용품 납 성분 검출’, ‘초·중·고 인조잔디 중금속 뎅어리’ 등을 집중 조명해 보도함으로써 사회적인 문제의 관심사로 대두되었다.^{1~6)} 학교는 성장발육이 왕성한 학

생들이 가장 오랫동안 머물면서 활동하는 공간이기 때문에 학교환경의 폐적성을 확보하는 것은 매우 중요하다. 도시지역 학교주변에서 배출된 비산먼지는 일정한 시간동안 학교 대기환경에 머물다가 교실과 운동장 등에 떨어지면서 체내로 흡입되기 쉽고 유해물질이 많아 어린 학생들에게 심각한 피해를 줄 수 있는 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 본 연구의 대상지역인 대구광역시는 북쪽에 팔공산, 남쪽에 대덕산과 비슬산으로 둘러싸여 있고, 동서부의 완만한 구릉지에 형성된 분지형태의 도시이다. 지형적으로는 대기의 확산이 어려워 대기질 관리가 국내 타도시에 비해 상대적으로 매우 불리한 조

[†] Corresponding author

E-mail: 10000gi@hanmail.net

Tel: 053-760-1290

Fax: 053-760-1333

건을 갖추고 있다. 또한 염색공단, 3공단, 서대구공단, 성서공단 등이 북서부에 위치하고 있어 동절기에는 북서계절풍의 영향으로 이들 공단에서 발생된 대기오염물질들이 도심 속으로 이동하여 대기오염도를 심화시키는 요인이 되고 있다.⁸⁾ 강하면지가 오랫동안 쌓여서 형성된 축적면지의 분석은 주변지역에서 배출된 입자상물질에 의한 오랜 기간동안의 영향을 평가하기 위한 방법으로서 적합하다고 볼 수 있다. 학교교실 혹은 운동장을 대상으로 한 축적면지의 국내연구는 지역별로 이진현 등⁹⁾이 충남공주·인천·대전지역을, 조규성¹⁰⁾이 전북전주지역을, 김용환 등¹¹⁾이 전북고창지역을, 전효택 등¹²⁾과 변희옥 등¹³⁾이 서울지역의 학교를 중심으로 일부 수행된 바 있다. 그러나 대구지역에서 강하면지로 형성된 축적면지를 연구한 사례는 송희봉 등¹⁴⁾이 도로면지에 대해서만 연구했을 뿐 학교를 대상으로 한 경우는 아직까지 없는 실정이다.

한편 환경오염으로부터 학교를 폐적한 환경으로 유지하기 위해서는 학교를 오염시키고 있는 원인물질과 그 발생원을 규명하는 것이 무엇보다도 선행되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 대구광역시의 초·중·고등학교 총 45곳을 대상으로 2007년 1월의 건조한 날에 학교면지를 채취하여 분석한 미량원소성분의 원자료(raw data)를 바탕으로 해석하고자 한다. 연구의 주된 목적은 (1) 농축계수를 이용한 미량원소성분의 발생원을 개략적으로 규명하고, (2) 학교면지에 함유된 미량원소성분의 농도분포 특성과 함께 국내 다른 지역과의 오염수준을 비교하고, (3) 오염지수를 이용한 유해 중금속성분의 오염도를 평가하고, (4) 최종적으로 미량원소성분간의 상관성 분석 및 운동장면지가 교실면지에 미치는 영향을 평가하는데 있다. 이와 같은 연구의 결과는 향후 환경행정기관과 교육행정기관에서 학교의 환경개선을 위한 대책수립에 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2.1. 채취지점 및 기간

시료채취지점은 대구광역시에 위치한 초·중·고등학교 45곳을 대상으로 하였다(Fig. 1). 선정된 대표지점은 학교내에서 실외환경을 달리하는 토양운동장(30곳)과 잔디운동장(15곳)을 이용하는 학교로 구분하였다. 여기서 잔디운동장의 경우에는 폴리에틸렌(PE)이 주성분인 인조잔디(코오롱글로텍, 코니그린, 한국)를 갖춘 6곳(2005년 1곳, 2006년 5곳)과 천연잔디를 갖춘 9곳이었다. 토양운동장인 학교의 경우는 오염수준에 차이가 있을 것으로 예상되는 도시지역(15곳)과 농촌지역(15곳)으로 나누어 교실과 운동장에서 면지시료를 각각 채취하였다. 그러나 잔디운동장인 학교는 토양운동장인 학교에 비해 해당학교수가 부족하고 그나마 대부분 도시지역에 위치하였고, 도시지역(13곳)과 농촌지역(2곳)에서 운동장을 제외한 교실에서만 면지시료를 채취하였다. 여기서 지역구분은 대구시내의 대규모 공단, 자동차통행과 상가건물, 주택과 아파트 등이 밀집한 곳을 도시(urban)로, 시외곽의 농과 밭, 임야 등 농경지가 밀집한 곳을 농촌(rural)으로 보았다.

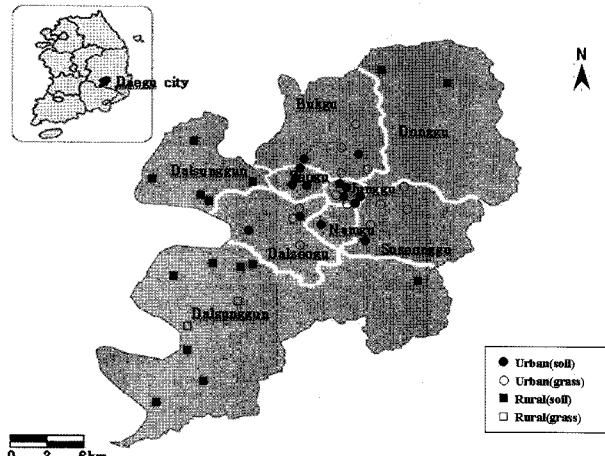


Fig. 1. Location of sampling sites in Daegu city.

이들 학교면지의 시료는 겨울철인 2007년 1월 11일부터 25일까지의 기간 중 총 8일간 교통량의 변화가 휴일에 비해 적을 것으로 예상되는 평일(11일 4곳, 16일 5곳, 17일 9곳, 18일 4곳, 19일 6곳, 23일 10곳, 24일 5곳, 25일 2곳)을 택일해 채취하였다. 또한 시료채취당일의 모든 날씨는 비교적 맑고 건조한 상태(평균기온 : 4.0°C, 평균습도 : 39.1%, 주풍향 : 서~서북서풍, 평균풍속 : 2.0 m/sec, 강수량 : 무강수)에서 이루어졌다.¹⁵⁾

2.2. 시료채취 및 분석

축적된 면지시료는 시료채취현장에서 쓰레받기와 붓을 이용하여 채취하였다. 교실 면지시료는 외부면지가 교실내로 어느 정도 영향을 줄 것으로 예상되는 운동장 중앙부분과 인접한 2층의 3개 교실에서 학생들의 손이 닿지 않는 각종 물품(칠판, 전등반사판, 계시판, 물품장, 에어콘, 멀티비전 등)의 윗부분에 쌓인 면지를 채취한 복합시료로 하였다. 운동장 면지시료는 시료의 대표성을 높이기 위해 운동장 중앙부분에서 열십자(+) 형태로 지점간 10 m 간격으로 표층에서 채취한 13개의 부분시료를 하나의 복합시료로 만들었다(Fig. 2).

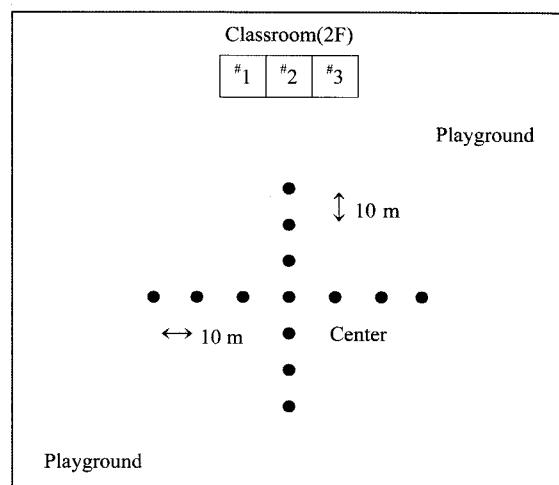


Fig. 2. Schematic diagram of sampling points in school.

이러한 복합시료를 폴리에틸렌백에 담아 밀봉한 후 실험실로 운반하였다. 이들 시료를 실온에서 자연건조시킨 후 표준망체(Standard Testing Sieve, Aperture 100 μm, 한국청계상공사)를 이용하여 100 μm 이하로 분리해 분석용시료로 하였다. 시료분석은 테프론비아이커에 전자식저울(Electronic Balance : Ohaus, Galaxy 200D, Germany)로 정확히 취한 분석용시료 1.0 g과 2:2:2 HCl-HNO₃-H₂O의 혼합용액(HCl과 HNO₃은 유해금속측정용, H₂O는 크로마토그래피용) 6 mL를 넣고, 초음파추출기(Ultrasonic Extractor : Elma, Transsonic 890/H, Germany)로 95°C에서 2시간 동안 추출한 용액을 방냉하고 메스플라스크에 멤브레인필터로 여과한 후 탈이온수인 중류수를 넣어 최종액량이 정확히 25 mL가 되도록 하였다.^{14,16} 이러한 전처리과정을 거친 시료를 유도결합플라즈마방출분광광도계(ICP : Perkin Elmer, Optima 4300DV, USA)로 총 14개 원소(Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, V, Zn)에 대해 분석하였다.

2.3. 자료처리

총 45개 학교의 총 75개 시료에 대해 ICP로 분석한 총 14개 원소의 농도자료는 원소별로 모두 검출한계 이상으로 나타났다. 또한 시료분석방법인 염산-질산추출법에 의한 원소성분의 농도자료에 대한 신뢰성 검증은 미국 국립표준시험연구소(NIST)의 표준침조물질인 SRM(urban particulate matter standard) 1648을 이용하여 실제시료와 동일한 방법으로 회수율 실험(Recovery Test)을 실시하였다. 그 결과, 유해성이 높은 Cu, Pb, Zn 등의 원소들은 회수율이 88~95%(RSD : 0.1~0.6%) 수준으로 높았던 반면에 유해성이 낮은 Al, Fe, K 등의 원소들은 회수율이 26~79%(RSD : 0.4~1.7%) 수준으로 낮았다. 이와 같은 회수율은 백성우 등¹⁷⁾이 연구한

대구지역 공중시설의 실내공기 중 입자상물질의 농도 평가에서 회수율 평가결과와 유사한 결과를 보였다. 그러나 본 논문에서는 미량원소성분의 농도계산에 있어서 이러한 회수율을 특별히 보정하지 않고 통계·처리하였다. 왜냐하면 표준침조물질(SRM)은 도시대기 중 부유먼지의 성분이지만 본 연구의 실제시료는 교실과 운동장에 축적된 먼지로서 그 성상이 서로 상이하다고 보았기 때문이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 학교먼지에 함유된 미량원소성분의 발생원 평가

학교먼지에 함유된 미량원소성분의 발생원 평가는 Rahn¹⁸⁾에 의해 제안된 농축계수를 이용하였다. 지각물질의 원소조성과 학교먼지의 원소조성을 비교해 발생원이 자연적 영향 혹은 인위적 영향인지를 판단하기 위해 지각물질 중 비교적 균일하고 다양으로 함유되어 있는 Al을 기준원소로 선정하였다. 여기서 지각물질의 원소조성은 Taylor와 McLennan¹⁹⁾이 제시한 지각성분표를 이용하였으며, 농축계수(E.F., Enrichment Factor)를 아래와 같은 식으로부터 산출한 결과는 Table 1과 같다.

$$\text{농축계수(E.F.)} = \frac{\text{측정된 원소성분의 농도}/\text{측정된 AI의 농도}}{\text{지각원소성분의 농도}/\text{지각원소 AI의 농도}}$$

위 식으로부터 산출된 농축계수가 1에 가까운 값일수록 그 원소의 기원은 지표원소와 동일함을 의미한다. 또한 농축계수가 10 이하인 값이면 자연적인 발생원(예 : 지각물질의 조성변화)의 영향으로 간주하고, 농축계수가 10 이상인 값이면 인위적인 발생원(예 : 인간의 활동)의 영향으로 간주하였다.²⁰⁾

Table 1. Enrichment factor of trace elements in school dust

Element	Classroom _{soil} ¹⁾			Playground _{soil} ²⁾			Classroom _{grass} ³⁾		
	Urban (n=15)	Rural (n=15)	Total (n=30)	Urban (n=15)	Rural (n=15)	Total (n=30)	Urban (n=13)	Rural (n=2)	Total (n=15)
(Al)	(1.0)	(1.0)	(1.0)	(1.0)	(1.0)	(1.0)	(1.0)	(1.0)	(1.0)
Ca	10.3	10.6	10.5	3.8	3.7	3.8	15.5	8.8	14.4
Cd	561.9	635.3	598.3	42.7	41.9	42.3	814.9	551.9	774.4
Cr	19.9	13.3	16.6	4.1	3.7	3.9	20.1	12.2	18.9
Cu	145.5	98.4	122.2	5.6	4.1	4.9	201.1	87.7	183.7
Fe	3.3	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.4	3.2	3.4
K	1.6	1.9	1.7	0.8	0.9	0.9	2.2	1.8	2.1
Mg	3.6	3.7	3.7	2.9	3.0	3.0	4.4	3.6	4.3
Mn	5.8	5.5	5.6	5.7	5.6	5.7	5.3	4.9	5.2
Na	0.8	0.9	0.8	0.2	0.2	0.2	1.2	0.8	1.2
Ni	19.5	17.9	18.7	2.3	2.0	2.2	30.6	14.3	28.1
Pb	152.9	138.4	145.7	5.2	4.2	4.7	124.2	105.8	121.4
V	3.9	3.3	3.6	5.7	5.2	5.5	3.1	3.2	3.1
Zn	114.4	55.8	85.3	6.5	5.3	5.9	124.6	57.6	114.3

¹⁾ Classroom using playground soil, ²⁾ Playground soil, ³⁾ Classroom using playground grass

교실과 운동장의 농축계수는 공통적으로 Fe, K, Mg, Mn, Na, V과 같은 성분이 농축계수 10 이하인 값을 보여 암석의 풍화, 토사의 재비산 등과 관련된 자연적인 발생원의 영향을 받는 것으로 추정되었다. 특히 운동장의 경우에는 Cd을 제외한 Ca, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn과 같은 성분 역시 농축계수가 10 이하인 값을 보여 자연적인 발생원의 영향과 관련이 있었다. 이는 운동장에 각종 암석의 풍화작용에 의해 생성된 마사토(磨沙土)를 복토하여 주변오염원의 영향이 매우 미미했기 때문으로 사료된다. 이와는 반대로 교실의 경우에는 Ca, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn과 같은 성분이 농축계수가 10 이상인 값을 보여 연료유의 연소, 폐기물의 소각 등과 관련된 인위적인 발생원의 영향을 받는 것으로 추정되었다. 이들 중 토양에서 주로 배출되는 것으로 알려져 있는 Ca은 교실이라는 특정한 공간에서 분필(주성분 : CaCO_3)의 사용이나 콘크리트/시멘트(주성분 : CaCO_3) 벽면으로부터의 배출 등 인위적인 기여가 컸다고 볼 때 흥미롭다 할 수 있다. 또한 Cd, Cr, Pb, Zn 등은 교실내의 학용물품(예 : 크레파스, 공책스프링)의 사용, 고무제품(예 : 신발류, 지우개)의 사용, 도료(예 : 페인트, 잉크)의 사용 등과도 매우 밀접한 관련이 있을 것으로 사료된다. 특이하게도 Cd의 경우는 다른 측정성분과는 달리 운동장(토양 : 평균 42.3)과 교실(토양 : 평균 598.3, 잔디 : 평균 774.4) 모두 가장 높은 값을 보였다는 점이다. 이는 Cd 농축이 가장 심하게 이루어진 상태로 다른 성분과는 달리 인위적인 배출원으로부터 발생기여도가 가장 큼을 의미한다. 학교 교실먼지의 평가결과는 AI를 기준원소로 본 연구와 동일한 지각성분표를 이용하여 송희봉 등¹⁴⁾과 최성우 등²¹⁾이 최근 연구한 대구지역 도로먼지와 부유먼지에 함유된 원소성분의 발생원 평가에서 Ca을 제외하고는 모두 동일한 경향을 보였다. 한편 도시지역과 농촌지역의 농축계수는 자연적인 발생원 성분의 경우엔 지역간에 차이가 거의 없었지만, 인위적인 발생원 성분은 도시지역이 농촌지역보다 높게 나타나 도시지역에서 농축정도가 보다 심각한 상태임을 알 수 있었다. 이상의 결과로부터 학교교실은 실외와 다르게 환기가 제대로 이루어지지 않고 있는 밀폐된 실내공간으로서 중금속의 농축이 용이하기 때문에 이에 대한 적절한 대책이 필요하다고 본다. 즉 학생들의 건강을 보호하기 위해서는 유해물질의 미함유 제품사용, 주기적인 환기·청소, 시설개선 등을 통해 중금속오염으로부터 피해를 줄일 수 있도록 최선의 노력을 기울여야 한다는 점이다.

3.2. 학교먼지에 함유된 미량원소성분의 농도분포

3.2.1. 미량원소성분의 분석결과

대구지역 학교먼지에 함유된 미량원소성분의 분석결과는 Table 2에 요약하였다. 미량원소성분의 평균농도범위는 교실과 운동장, 도시지역과 농촌지역과는 무관하게 자연적인 발생원 성분이 인위적인 발생원 성분보다 높은 농도를 보였다. 즉 자연적인 발생원에서 유래하는 성분(Al, Ca, Fe, K, Mg 등)은 수 mg/g 혹은 수십 mg/g 수준의 높은 농도를 보였다. 그러나 인위적인 발생원에서 유래하는 성분(Cd, Cr, Cu, Ni,

Pb, V, Zn 등)은 수 $\mu\text{g}/\text{g}$ 에서 수백 $\mu\text{g}/\text{g}$ 수준의 낮은 농도를 보였다. 이를 미량원소의 조성을 백분율로 보면, 교실의 경우엔 자연적인 발생원 성분과 인위적인 발생원 성분이 각각 97.9%(토양 69526 $\mu\text{g}/\text{g}$, 잔디 72214 $\mu\text{g}/\text{g}$)와 2.1%(토양 1463.5 $\mu\text{g}/\text{g}$, 잔디 1531 $\mu\text{g}/\text{g}$)를 함유하였다. 반면에 운동장은 자연적인 발생원 성분과 인위적인 발생원 성분이 각각 99.7%(53,817 $\mu\text{g}/\text{g}$)와 0.3%(163.6 $\mu\text{g}/\text{g}$)로 교실에 비해 자연적인 발생원과 관련된 성분을 더 많이 함유하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Table 1에서 설명된 바와 같이 운동장이 교실보다 자연적인 발생원의 영향을 많이 받는다는 사실에서도 어느 정도 확인할 수 있다.

한편 교실(토양)과 운동장(토양)의 전체평균농도는 대체적으로 교실이 운동장에 비해 2배 이상(Ca 2.2배, Cd 10.8배, Cr 3.2배, Cu 19.8배, K 1.6배, Na 3.6배, Ni 6.8배, Pb 24.8배, Zn 11.2배)으로 뚜렷하게 높은 농도를 보였다. 이는 운동장의 경우엔 외부로부터 유입된 자연상태의 토양을 그대로 복토한 것이지만 교실은 실외먼지(대기먼지와 운동장먼지)의 유입과 함께 학생들의 실내활동에 의한 다양한 성상의 오염물질이 다량으로 배출되어 축적된 결과로 사료된다. 그리고 일부 성분(Al, Fe, Mg, Mn)은 농도비(교실/운동장)가 1.0배 전후(0.8~1.0배)로 교실과 운동장간에 큰 차이를 보이지 않았으나, V(석유류의 연료연소 성분)의 경우는 운동장이 교실보다 오히려 2배 정도 높은 농도를 보였다. 도시지역과 농촌지역의 전체평균농도는 도시지역이 농촌지역에 비해 2배 이상으로 뚜렷하게 차이를 보인 성분은 거의 없었다. 특히 운동장(토양)의 경우에는 모든 성분의 농도비(도시/농촌)가 1.0배 전후(0.8~1.3배)로 지역간에 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 토양운동장과 잔디운동장을 이용하는 교실은 일부 유해성분의 경우 도시지역이 농촌지역보다 높은 농도(Cr 1.5배와 1.4배, Cu 1.5배와 1.9배, Ni 1.1배와 1.8배, Zn 2.1배와 1.8배)를 보였다. 이는 도시지역의 경우엔 녹지공간으로 둘러싸인 농촌지역과는 달리 학교주변의 산업시설, 상가시설, 주거시설, 교통시설 등으로부터 발생되는 다량의 입자상물질이 교실내로 유입되어 축적된 결과로 사료된다. 또한 토양운동장과 잔디운동장을 이용하는 교실의 전체평균농도는 이들 두 교실의 농도비가 2배 이상으로 뚜렷한 차이를 보인 성분은 거의 없었다. 즉 Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Zn과 같은 성분의 경우에는 농도비(토양교실/잔디교실)가 1.0배 전후(0.8~1.3배)를 보였다. 이는 미량원소성분의 오염양상이 잔디로 덮인 운동장의 학교라 할지라도 교실내에는 토양으로 덮인 운동장과 같다고 볼 수 있다. 즉 학교교실은 운동장의 형태(토양 혹은 잔디)와는 관계없이 실내에서 먼지오염이 동일하게 일어나고 있음을 의미한다. 그러나 유해성분인 Pb과 V은 토양운동장을 이용하는 교실이 잔디운동장을 이용하는 교실보다 각각 1.4배 정도 높은 농도를 보였다. 따라서 학생들이 이용하는 운동장은 가급적이면 토양복토보다는 잔디로 대체함이 이러한 유해물질로부터 약간이나마 벗어날 수 있을 것으로 기대된다.

Table 2. Analytical result of trace elements($\mu\text{g/g}$) in school dust

School	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	V	Zn	
Classroom ¹⁾	Mean	8955	34419	6.1	78	405	12755	4884	5336	386	2452	43	341	26	905
	Urban S.D ⁵⁾	1588	7783	3.1	64	171	1843	1427	487	98	830	18	282	8	649
	(n=15) Min	6529	19300	1.7	30	171	10980	2607	4566	256	1119	16	101	15	477
	Max	12430	45030	12.3	269	858	17970	7313	6758	614	3888	78	1213	43	3083
Classroom _{soil} ¹⁾	Mean	8807	34960	6.8	51	270	11934	5727	5390	360	2688	39	303	22	434
	Rural S.D	1308	8270	5.0	30	470	1444	1347	643	93	968	36	170	6	262
	(n=15) Min	6955	17060	1.7	27	47	9172	3605	4590	215	875	15	106	11	189
	Max	10850	49130	20.0	143	1949	14540	8743	7099	555	4489	165	652	32	1219
Playground _{soil} ²⁾	Mean	8881	34690	6.5	64	337	12344	5305	5363	373	2570	41	322	24	669
	Total S.D	1431	7895	4.1	51	354	1679	1429	561	95	894	28	229	7	542
	(n=30) Min	6529	17060	1.7	27	47	9172	2607	4566	215	875	15	101	11	189
	Max	12430	49130	20.0	269	1949	17970	8743	7099	614	4489	165	1213	43	3083
Playground _{soil} ²⁾	Mean	11652	16602	0.6	21	20	16238	3251	5600	495	654	7	15	50	67
	Urban S.D	4267	8361	0.1	8	17	1585	1562	1245	194	586	3	7	13	24
	(n=15) Min	5519	8599	0.4	12	10	13630	1411	3665	224	128	3	8	32	38
	Max	21530	37300	0.8	44	80	19210	5980	7925	897	2212	14	32	75	134
Playground _{soil} ²⁾	Mean	11356	15643	0.6	18	15	15685	3574	5631	477	779	6	12	44	53
	Rural S.D	3185	8756	0.1	15	8	1622	1756	1280	141	1812	6	11	12	15
	(n=15) Min	5117	4382	0.5	7	5	11710	1505	3407	286	118	2	5	25	32
	Max	18010	34670	0.9	66	31	17720	9024	8520	726	7309	24	45	65	78
Playground _{soil} ²⁾	Mean	11504	16123	0.6	20	17	15961	3413	5616	486	716	6	13	47	60
	Total S.D	3702	8426	0.1	12	14	1601	1641	1241	167	1325	5	9	13	21
	(n=30) Min	5117	4382	0.4	7	5	11710	1411	3407	224	118	2	5	25	32
	Max	21530	37300	0.9	66	80	19210	9024	8520	897	7309	24	45	75	134
Classroom _{grass} ³⁾	Mean	7226	41654	7.2	63	452	10810	5469	5237	284	3181	55	223	17	795
	Urban S.D	1173	9038	7.5	29	347	1309	1437	810	94	902	53	115	4	293
	(n=13) Max	9168	56600	30.8	125	1529	12540	9509	6782	451	5596	228	506	26	1359
	Max	9168	56600	30.8	125	1529	12540	9509	6782	451	5596	228	506	26	1359
Classroom _{grass} ³⁾	Mean	8548	28000	5.8	46	233	11920	5282	5026	315	2419	31	225	21	435
	Rural S.D	1006	3903	2.2	9	61	99	1736	270	29	404	5	38	1	77
	(n=2) Min	7837	25240	4.2	39	190	11850	4054	4835	294	2133	27	198	20	380
	Max	9259	30760	7.3	52	276	11990	6509	5217	335	2705	34	252	21	489
Playground _{grass} ⁴⁾	Mean	7402	39833	7.0	61	423	10958	5444	5209	288	3080	52	224	17	747
	Total S.D	1211	9705	7.0	27	330	1273	1411	757	88	884	49	107	4	300
	(n=15) Min	5756	25240	3.3	34	190	8559	3863	4069	94	2133	25	130	11	366
	Max	9259	56600	30.8	125	1529	12540	9509	6782	451	5596	228	506	26	1359
Playground _{grass} ⁴⁾ No Sampling															

¹⁾ Classroom using playground soil, ²⁾ Playground soil, ³⁾ Classroom using playground grass, ⁴⁾ Playground grass, ⁵⁾ Standard Deviation

3.2.2. 국내 도시와의 미량원소성분 농도비교

미량원소성분의 농도결정은 시료수, 시료추출과정, 분석용 시료의 입자크기, 시료처리방법 그리고 시료채취지점, 배출원의 특성과 강도 등 복잡한 요인에 의해 그 결과가 상이하게 나타날 수도 있다.²²⁾

따라서 이러한 요인으로 인해 비록 Table 3의 다른 연구결과^{9~12)}와는 직접적인 비교가 어렵지만 간접적으로는 비교해 볼 가치가 있다고 생각된다.

대구지역의 학교먼지에 함유된 미량원소성분의 수준은 대체로 우리나라의 다른 지역보다 운동장의 경우엔 낮게(예 : Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn은 3.2~7.9배) 보였지만, 교실은 높게(예 : Cd, Cu, Mn, Pb, Zn은 1.2~1.7배) 보였다. 교실의 경우에는 대구가 전주를 제외한 대전, 고창, 인천, 공주보다 높게 나타났고, 운동장은 대구의 비교대상도시인 서울, 전주, 고창보다 모두 낮게 나타났다. 또한 비교대상도시 중 전주와 고창의 경우는 대구와 마찬가지로 교실과 운동장에서 동시

Table 3. Mean concentration of trace elements($\mu\text{g/g}$) in school dust in other cities, Korea

City	Sample size	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Particle size(μm)	Digestion
Daegu	Class ¹⁾	45	6.6	63	366	345	45	289	695	
	Play ²⁾	30	0.6	20	17	486	6	13	60	<100 HCl + HNO ₃
	Street ³⁾	48	9	159	329	550	82	152	725	
Daejeon	Class	31	6.30	-	81.9	-	-	171.5	403.4	- HCl
Gochang	Class	19	4.6	71	124	176	38	291	350	<100 HNO ₃ + HClO ₄ + HCl
Play	10	1.4	34	26	146	15	98	106		
Incheon	Class	16	5.65	-	176.2	-	-	138.7	919.8	- HCl
Jeonju	Class	56	6.3	107	715	231	71	268	866	
	Play	17	3.0	94	87	245	42	107	364	<100 HNO ₃ + HClO ₄ + HCl
Kongju	Class	13	2.05	-	54.5	-	-	94.1	453.0	- HCl
Seoul	Play	16	0.20	-	20.8	-	-	31.2	82.1	<180 HNO ₃ + HClO ₄

¹⁾ Classroom dust, ²⁾ Playground soil, ³⁾ Street dust

에 먼지시료를 채취해 분석한 사례이다. 이들 3개 지역은 모두 교실이 운동장보다 높은 농도((Mn 제외)를 보였고, 특히 대구(3.2~22.2배)의 경우는 전주(1.1~8.2배)나 고창(2.1~4.8배)에 비해 훨씬 높은 농도비(교실/운동장)를 보였다. 이상의 결과로 보면 대구지역은 다른 지역에 비해 운동장의 경우엔 오염정도가 양호하였지만 교실은 매우 심각하게 오염된 상태임을 알 수 있으므로 이에 대한 적절한 대책이 요구된다. 한편 송희봉 등¹⁴⁾이 연구한 대구지역 도로먼지에 함유된 미량원소성분과 비교하면 교실에 축적된 먼지는 대체로 도로상에 축적된 먼지보다 낮은 농도를 보였다. 즉 도로먼지는 교실먼지에 비해 높은 농도비(Cd 1.4배, Cr 2.5배, Mn 1.6배, Ni 1.8배)를 보여 더욱 오염되어 있음을 알 수 있었다. 그러나 Pb의 경우는 특이하게도 교실먼지가 도로먼지에 비해 1.9배 정도 높은 놓도로 나타났다는 사실이다. 이러한 결과는 Pb 오염의 원인이 실외대기오염보다는 실내의 폐인트로 칠해진 벽면과 물품(예 : 책상, 의자, 가구, 완구, 물품보관함, 장신구, 학용품, 신발, 분필) 등으로부터 발생의 기여가 크게 작용했기 때문으로 사료된다. 또한 학교교실의 Pb

(평균 289 $\mu\text{g/g}$)은 Adgate 등²³⁾이 연구한 미국 New Jersey 216곳의 주택(양탄자 470 $\mu\text{g/g}$, 문턱 600 $\mu\text{g/g}$, 마루 490 $\mu\text{g/g}$)보다도 낮은 농도를 보였다. 따라서 오랫동안 교실에 머무르는 학생들에게 다량의 Pb 노출로 인해 혈액에 쌓이게 되면 주의력결핍, 과잉행동장애, 지능저하 등의 문제를 일으킬 가능성이 높으므로 환경행정기관은 향후 폐인트 등에 대해 사용규제기준을 마련할 필요성이 있다고 생각된다.

3.3. 학교먼지에 함유된 중금속성분의 오염도 평가

학교먼지에 함유된 유해 중금속성분의 오염정도를 평가하기 위해 우리나라 환경부²⁴⁾가 제시한 토양오염기준('학교용지'해당)을 적용하였다. 이때 중금속의 토양오염우려기준(A)은 Cd 1.5 $\mu\text{g/g}$, Cu 50 $\mu\text{g/g}$, Ni 40 $\mu\text{g/g}$, Pb 100 $\mu\text{g/g}$, Zn 300 $\mu\text{g/g}$ 이었고, 토양오염대책기준(B)은 Cd 4 $\mu\text{g/g}$, Cu 125 $\mu\text{g/g}$, Ni 100 $\mu\text{g/g}$, Pb 300 $\mu\text{g/g}$, Zn 700 $\mu\text{g/g}$ 이었다. 학교먼지에 대한 중금속의 오염지수(P.I., Pollution Index)는 위에서 제시한 기준값을 이용하였으며 아래와 같은 식으로부터 산출한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Pollution index of heavy metals(Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) in school dust

School	P.I > 1.0				P.I < 1.0				P.I ¹⁾		
	Number		%		Number		%		Mean±S.D. ²⁾		
	A	B	A	B	A	B	A	B	A ³⁾	B ⁴⁾	
Classroom _{soil} ⁵⁾	Urban(n=15)	15	14	100	93	0	1	0	7	3.94±1.07	1.53±0.41
	Rural(n=15)	15	7	100	47	0	8	0	53	3.08±2.10	1.18±0.84
	Total(n=30)	30	21	100	70	0	9	0	30	3.51±1.70	1.35±0.67
Playground _{soil} ⁶⁾	Urban(n=15)	0	0	0	0	15	15	100	100	0.27±0.08	0.10±0.03
	Rural(n=15)	0	0	0	0	15	15	100	100	0.22±0.07	0.09±0.03
	Total(n=30)	0	0	0	0	30	30	100	100	0.25±0.03	0.10±0.03
Classroom _{grass} ⁷⁾	Urban(n=13)	13	13	100	100	0	0	0	0	4.02±1.65	1.57±0.65
	Rural(n=2)	2	1	100	50	0	1	0	50	2.59±0.69	1.00±0.26
	Total(n=15)	15	14	100	93	0	1	0	7	3.83±1.62	1.49±0.64

¹⁾ Pollution Index, ²⁾ Standard Deviation, ³⁾ Soil pollution worry standard(Korea), ⁴⁾ Soil pollution countermeasure standard(Korea)⁵⁾ Classroom using playground soil, ⁶⁾ Playground soil, ⁷⁾ Classroom using playground grass

$$\text{오염지수} = \frac{\text{Cd함량}/\text{A(B)} + \text{Cu함량}/\text{A(B)} + \text{Ni함량}/\text{A(B)} + \text{Pb함량}/\text{A(B)} + \text{Zn함량}/\text{A(B)}}{(\text{P.I})}$$

5

위 식으로부터 산출된 오염지수가 1.0 이하인 값을 나타내면 중금속으로부터 오염되지 않은 지역으로 간주하고, 오염지수가 1.0 이상인 값을 나타내면 중금속으로부터 오염된 지역으로 간주하였다.

교실은 토양오염우려기준과 토양오염대책기준을 적용한 오염지수 1.0을 초과한 지점이 총 45곳 중 45곳(100%)과 35곳(78%)으로 나타나 교실이 심하게 오염되어 있음을 알 수 있었다. 그러나 토양운동장의 경우는 도시지역과 농촌지역의 총 30곳 중 한군데도 오염지수 1.0을 초과하지 않아(우려 : 평균 0.25, 대책 : 평균 0.10) 인위적인 중금속오염이 거의 없는 수준이었다. 교실의 평균오염지수는 토양오염우려기준과 토양오염대책기준을 적용할 때 도시지역(잔디교실 : 4.02

와 1.57, 토양교실 : 3.94와 1.53)이 농촌지역(잔디교실 : 2.59와 1.00, 토양교실 : 3.08과 1.18)에 비해 높은 값(잔디교실 : 각각 1.6배, 토양교실 : 각각 1.3배)을 보여 중금속으로부터 오염된 지역으로 추정할 수 있었다. 이는 연료연소 혹은 폐기물소각 등과 관련된 성분(Cd, Cu, Ni, Pb, Zn)이 도시지역에 위치한 각종 산업시설, 상가시설, 주거시설, 차량통행 등으로부터 발생한 외부먼지의 실내유입과 교실구조물, 학생들의 실내활동 등으로부터 발생한 내부먼지가 큰 영향을 주기 때문으로 여겨진다. 외부먼지는 대구지역 대기오염자동측정소의 미세먼지(PM_{10}) 측정결과(평균 : 2007년 1월)인 도시지역(중구 등 10개소 : $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이 농촌지역(달성군 1개소 : $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 높다는 사실에서 어느 정도 확인된다.²⁵⁾ 그러나 토양운동장의 평균오염지수는 도시지역(우려 : 0.27, 대책 : 0.10)이 농촌지역(우려 : 0.22, 대책 : 0.09)에 비해 약간 높은 값(우려 : 1.2배, 대책 : 1.1배)을 보였으나 교실보다는 지역간 큰 차이가 없었다. 이러한 사실은 인위적인 발생원에

Table 5. Correlation coefficient among trace elements in school dust using playground soil(n=30)

Classroom	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	V	Zn
Al	(1.0)													
Ca	-0.13	(1.0)												
Cd	0.00	-0.12	(1.0)											
Cr	-0.08	-0.07	0.15	(1.0)										
Cu	0.00	0.32	-0.22	-0.02	(1.0)									
Fe	0.67	-0.57	0.07	0.09	-0.20	(1.0)								
K	0.04	0.61	0.07	-0.06	0.08	-0.44	(1.0)							
Mg	0.20	0.43	-0.42	-0.27	0.67	-0.06	0.14	(1.0)						
Mn	0.78	-0.24	0.04	0.02	-0.11	0.78	-0.12	0.08	(1.0)					
Na	-0.36	0.53	-0.04	-0.02	0.17	-0.54	0.70	0.06	-0.29	(1.0)				
Ni	-0.03	0.03	0.54	0.22	-0.02	0.08	0.17	-0.23	0.15	0.16	(1.0)			
Pb	-0.18	-0.14	0.51	0.79	-0.11	0.02	0.03	-0.32	-0.07	0.02	0.30	(1.0)		
V	0.60	-0.57	-0.05	0.05	-0.21	0.91	-0.38	-0.06	0.68	-0.46	0.06	0.00	(1.0)	
Zn	0.08	0.11	-0.18	0.06	0.41	-0.08	0.08	0.20	-0.12	0.11	-0.06	-0.04	-0.07	(1.0)
Playground	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	V	Zn
Al	(1.0)													
Ca	-0.12	(1.0)												
Cd	-0.23	0.33	(1.0)											
Cr	0.35	0.12	-0.19	(1.0)										
Cu	0.59	-0.03	0.06	0.21	(1.0)									
Fe	0.82	-0.42	-0.29	0.30	0.36	(1.0)								
K	0.39	0.11	-0.10	0.26	0.09	0.27	(1.0)							
Mg	0.75	0.19	-0.18	0.32	0.53	0.51	0.60	(1.0)						
Mn	0.85	-0.21	-0.20	0.24	0.43	0.79	0.34	0.53	(1.0)					
Na	-0.23	0.19	-0.12	-0.07	-0.05	-0.40	-0.03	-0.07	-0.15	(1.0)				
Ni	0.32	0.10	-0.14	0.97	0.23	0.30	0.26	0.30	0.26	-0.10	(1.0)			
Pb	0.02	-0.06	0.25	0.18	0.06	0.11	-0.02	-0.13	0.12	-0.10	0.23	(1.0)		
V	0.84	-0.12	-0.25	0.44	0.38	0.84	0.47	0.63	0.65	-0.18	0.38	0.01	(1.0)	
Zn	0.44	-0.28	0.05	0.08	0.28	0.56	0.27	0.26	0.45	-0.11	0.11	0.49	0.51	(1.0)

Correlation coefficients exceeding 0.30 are significant at a level of 0.05.

서 기인한 원소(Cd, Cu, Ni, Pb, Zn)의 농축계수와 농도값의 경우, 도시지역이 농촌지역보다 대부분 높았다는 결과(Table 1과 Table 2)와도 같은 맥락에서 설명된다. 한편 토양운동장과 잔디운동장을 이용하는 교실은 토양오염우려기준과 토양오염대책기준을 적용한 오염지수 1.0을 초과한 경우, 토양운동장을 이용하는 교실(초과지점 : 30곳/30곳, 21곳/30곳)과 잔디운동장을 이용하는 교실(초과지점 : 15곳/15곳, 14곳/15곳)에서 기준초과율(토양교실 : 100%와 70%, 잔디교실 : 100%와 93%)과 평균오염지수(토양교실 : 3.51과 1.35, 잔디교실 : 3.83과 1.49)가 큰 차이를 보이지는 않았다.

3.4. 학교먼지에 함유된 미량원소성분의 상관성 분석

토양운동장을 이용하는 학교먼지에 함유된 미량원소성분들의 상관성을 분석한 결과는 상관계수로서 Table 5와 같다. 공통적으로 교실과 운동장은 자연적인 발생원 성분간인 Al과 Fe, Mn간(교실 : 0.67과 0.78, 운동장 : 0.82와 0.85) 그

리고 Fe과 Mn간(교실 : 0.78, 운동장 : 0.79)에 유의한 상관성($P<0.05$)을 보였다. 또한 인위적인 발생원과 자연적인 발생원 성분인 V과 Al, Fe, Mn간(교실 : 0.60과 0.91, 0.68, 운동장 : 0.84와 0.84, 0.65) 그리고 Cu와 Mg간(교실 : 0.67, 운동장 : 0.53)에도 유의한 상관성($P<0.05$)을 보였다.

전반적으로 교실은 자연적인 발생원 성분인 Ca과 K, Mg, Na간(0.61, 0.43, 0.53), K과 Na간(0.70), 인위적인 발생원 성분인 Cd과 Ni, Pb간(0.54, 0.51), Cr과 Pb간(0.79), Cu와 Zn간(0.41), Ni과 Pb간(0.30), 그리고 자연적인 발생원과 인위적인 발생원 성분인 Ca과 Cu간(0.32)에 유의한 상관성($P<0.05$)을 보였다. 또한 운동장의 경우는 자연적인 발생원 성분인 Al과 K, Mg간(0.39, 0.75), Fe과 Mg간(0.51), K과 Mg, Mn간(0.60, 0.34), Mg과 Mn간(0.53), 인위적인 발생원 성분인 Cr과 Ni, V간(0.97, 0.44), Cu와 V간(0.38), Ni과 V간(0.38), Pb과 Zn간(0.49), V과 Zn간(0.51), 그리고 자연적인 발생원과 인위적인 발생원 성분인 Al과 Cr, Cu, Ni, Zn간

Table 6. Correlation coefficient among trace elements in school dust using playground soil(n=15)

Urban \ Rural	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	V	Zn	
Classroom	Al	(1.0)	-0.41	0.01	-0.18	-0.01	0.68	0.02	0.09	0.70	-0.44	-0.14	-0.07	0.59	-0.12
	Ca	0.11	(1.0)	-0.08	0.59	0.40	-0.69	0.59	0.35	-0.48	0.55	0.08	0.24	-0.79	0.47
	Cd	0.00	-0.22	(1.0)	0.12	-0.20	-0.05	0.06	-0.37	0.01	-0.21	0.53	0.77	-0.16	-0.21
	Cr	-0.07	-0.39	0.28	(1.0)	-0.14	-0.43	0.58	-0.21	-0.35	0.21	0.08	0.52	-0.43	-0.07
	Cu	-0.03	0.28	-0.29	-0.07	(1.0)	-0.28	0.18	0.72	-0.16	0.20	-0.02	-0.21	-0.30	0.86
	Fe	0.67	-0.50	0.29	0.19	-0.38	(1.0)	-0.42	-0.01	0.82	-0.53	-0.16	-0.07	0.89	-0.26
	K	0.09	0.67	0.04	-0.22	0.13	-0.39	(1.0)	0.09	-0.30	0.57	0.22	0.34	-0.41	0.38
	Mg	0.34	0.54	-0.54	-0.36	0.72	-0.10	0.19	(1.0)	0.05	0.05	-0.27	-0.19	-0.06	0.67
	Mn	0.85	0.00	0.14	0.13	-0.17	0.76	0.11	0.14	(1.0)	-0.38	-0.02	-0.13	0.64	-0.30
	Na	-0.29	0.50	0.25	-0.09	0.28	-0.55	0.84	0.07	-0.16	(1.0)	0.11	-0.02	-0.42	0.35
	Ni	0.13	-0.06	0.60	0.44	-0.13	0.42	0.18	-0.11	0.45	0.33	(1.0)	0.39	-0.14	0.03
	Pb	-0.24	-0.39	0.40	0.89	-0.10	0.03	-0.11	-0.47	-0.06	0.07	0.30	(1.0)	-0.17	-0.03
	V	0.63	-0.44	0.13	0.11	-0.40	0.91	-0.26	-0.05	0.71	-0.48	0.33	0.04	(1.0)	-0.31
	Zn	0.12	0.03	-0.18	-0.06	0.20	-0.23	0.23	0.08	-0.18	0.16	-0.27	-0.10	-0.21	(1.0)
Urban \ Rural	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	V	Zn	
Playground	Al	(1.0)	0.03	-0.03	0.45	0.18	0.76	0.32	0.56	0.88	-0.55	0.46	0.29	0.79	0.64
	Ca	-0.24	(1.0)	0.22	-0.09	0.12	-0.41	0.01	0.37	-0.12	0.26	-0.10	-0.05	-0.14	-0.26
	Cd	-0.39	0.43	(1.0)	-0.35	0.28	-0.25	-0.01	-0.09	0.18	0.03	-0.27	0.24	-0.37	0.39
	Cr	0.29	0.54	0.05	(1.0)	0.15	0.42	0.18	0.25	0.38	-0.15	0.99	0.21	0.48	0.15
	Cu	0.76	-0.13	-0.08	0.34	(1.0)	-0.06	0.23	0.49	0.19	-0.10	0.28	0.44	-0.27	0.29
	Fe	0.90	-0.46	-0.40	0.08	0.57	(1.0)	0.14	0.23	0.77	-0.67	0.44	0.17	0.78	0.56
	K	0.47	0.25	-0.18	0.48	0.06	0.47	(1.0)	0.60	0.14	-0.17	0.20	-0.09	0.44	0.39
	Mg	0.90	0.00	-0.27	0.52	0.63	0.83	0.60	(1.0)	0.33	-0.24	0.27	-0.09	0.33	0.20
	Mn	0.83	-0.29	-0.50	0.11	0.52	0.84	0.53	0.70	(1.0)	-0.39	0.42	0.44	0.64	0.79
	Na	0.34	0.05	-0.60	0.41	0.00	0.29	0.43	0.46	0.29	(1.0)	-0.17	-0.16	-0.40	-0.35
	Ni	0.21	0.59	0.06	0.92	0.28	0.00	0.50	0.45	0.09	0.42	(1.0)	0.29	0.43	0.23
	Pb	-0.29	-0.11	0.22	0.05	-0.27	-0.07	0.14	-0.18	-0.24	0.16	-0.03	(1.0)	-0.01	0.39
	V	0.90	-0.14	-0.23	0.42	0.65	0.89	0.59	0.95	0.66	0.36	0.35	-0.07	(1.0)	0.50
	Zn	0.36	-0.38	-0.23	-0.05	0.21	0.55	0.29	0.34	0.31	0.29	-0.10	0.61	0.47	(1.0)

Correlation coefficients exceeding 0.41 are significant at a level of 0.05.

Table 7. Correlation coefficient between classroom and playground dust using playground soil

Area	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	V	Zn
Urban(n=15)	0.25	-0.06	-0.19	0.38	0.73*	0.08	-0.16	0.49*	-0.14	0.50*	0.27	0.16	0.37	-0.30
Rural(n=15)	0.13	0.00	-0.06	-0.16	0.53*	0.20	0.18	-0.04	-0.23	0.13	-0.12	0.03	0.25	0.65*
Total(n=30)	0.20	-0.03	-0.04	0.12	0.46*	0.17	0.05	0.18	-0.17	0.39*	-0.04	0.10	0.36*	0.06

* : Correlation coefficient is significant at the 0.05 level.

(0.35, 0.59, 0.32, 0.44), Ca과 Cd간(0.33), Cu와 Fe, Mn간 (0.36, 0.43), Fe과 Cr, Ni, Zn간(0.30, 0.30, 0.56), K과 V간 (0.47), Mg과 Cr, Ni, V간(0.32, 0.30, 0.63), Mn과 Zn간 (0.45)에 유의한 상관성($P < 0.05$)을 보였다. 이와 같은 결과로 보면 운동장의 경우는 교실보다도 미량원소성분간에 양호한 양의 상관성(운동장 : 34개, 교실 : 17개)을 많이 보인 특징을 알 수 있었다. 이는 운동장의 경우엔 암석이 풍화되어 형성된 자연상태의 흙으로만 복토하여 주변에서 날아와 가라앉은 오염물질이 토양의 본질엔 큰 영향을 주지 않았기 때문으로 사료된다. 그러나 교실의 경우에는 실내자체의 구조물, 학생들의 활동에 따른 오염물질의 배출 등 다양한 오염원으로부터 노출되어 복합적인 영향을 받아 상대적으로 상관성이 낮아진 결과로 사료된다. Table 6은 Table 5의 교실과 운동장을 도시지역과 농촌지역으로 세분화하여 상관성을 분석한 결과로서, 세로축은 도시지역의 상관계수를 나타내고 가로축은 농촌지역의 상관계수를 나타낸다.

이러한 결과로부터도 Table 5의 결과처럼 도시지역과 농촌지역은 모두 운동장이 교실보다 미량원소성분간의 상관성이 양호하였다(운동장 : 도시 36개, 농촌 24개, 교실 : 도시 15개, 농촌 18개). 또한 공통적으로 유의한 상관성을 보인 성분(Al과 Fe, Mn간, Fe과 Mn간, V과 Al, Fe, Mn간, Cu와 Mg간)도 도시지역과 농촌지역에서 동일함을 알 수 있었다. 한편 학교에서 교실면지가 운동장면지의 영향을 어느 정도 받는지를 평가하기 위해 미량원소성분간의 상관성을 분석한 결과는 상관계수로서 Table 7과 같다. 교실면지와 운동장면지간에는 Cu, Na, V 등의 일부 성분만이 유의적으로 양호한 상관성($P < 0.05$)을 보였으나 전반적으로 보면 상관성이 양호하지는 않았다.

이는 운동장면지의 경우엔 미량원소성분이 자연적인 발생원에서 유래한 성분(Table 1), 도시지역과 농촌지역간에 비슷한 농도분포(Table 2), 인위적인 중금속오염이 거의 없는 수준(Table 4), 미량원소성분간의 양호한 상관성(Table 5) 등의 드러난 결과로부터 면지성상이 거의 동일하다고 볼 수 있다. 따라서 실외의 비슷한 성상으로 이루어진 운동장면지가 상대적으로 오염도가 높은 교실면지에 미치는 영향은 매우 미미하기 때문에 상관성이 양호하지 않은 것으로 사료된다. 결과적으로 교실면지에 함유된 미량원소성분은 운동장면지에 함유된 미량원소성분의 영향을 크게 받지 않음을 알 수 있었다.

4. 결 론

2007년 1월 대구광역시에 위치한 초·중·고등학교 총 45

곳을 대상으로 교실과 운동장에 축적된 학교면지를 채취하여 100 μm 이하로 체거름하고 산추출한 후 ICP로 14개 원소를 분석하였다.

1) 농축계수를 이용한 미량원소성분의 발생원을 평가한 결과, 운동장은 자연적인 발생원의 영향을 많이 받고 있는 반면에 교실은 인위적인 발생원의 영향을 많이 받고 있는 것으로 추정되었다.

2) 분석된 미량원소성분의 농도는 자연적인 발생원 성분이 높은 농도를 보인 반면에 인위적인 발생원 성분은 낮은 농도를 보였다. 또한 교실은 운동장보다 뚜렷하게 높은 농도를 보였으나 도시지역과 농촌지역간 그리고 토양운동장과 잔디운동장을 이용하는 교실간은 대체로 농도차이가 없었다.

3) 대구지역 학교면지의 수준은 국내의 다른 지역보다 운동장이 낮은 농도를 보였으나 교실은 높은 농도를 보였다. 또한 대구지역의 교실에 축적된 면지는 도로상에 축적된 면지보다 미량원소성분을 적게 함유하고 있었다.

4) 오염지수를 이용한 중금속성분의 오염도를 평가한 결과, 운동장은 중금속오염이 거의 없는 수준을 보였으나 교실은 중금속오염이 높은 수준을 보였다. 또한 운동장은 도시지역과 농촌지역간 큰 차이가 없었으나 교실은 도시지역이 농촌지역보다 중금속오염이 약간 높았다.

5) 미량원소성분간의 상관성을 분석한 결과, 운동장은 교실보다 미량원소성분간에 양호한 상관성을 많이 보였다. 또한 교실면지에 함유된 미량원소성분은 운동장면지에 함유된 미량원소성분의 영향을 크게 받지 않았다.

참 고 문 헌

1. KBS 홈페이지, http://www.kbs.co.kr/1tv/sisa/environ/vod/1345017_1151.html(2005).
2. 중앙일보 홈페이지, http://blog.joins.com/media/folderListSlide.asp?uid=envirepo&folder=2&list_id=6442_800(2006).
3. 중앙일보 홈페이지, http://www.joongang.ca/bbs/board.php?bo_table=T1007&wr_id=704&page=4(2007).
4. SBS 홈페이지, http://news.sbs.co.kr/section_news/news_read.jsp?news_id=N1000299657(2007).
5. 중앙일보 홈페이지, http://article.joins.com/article/article.asp?total_id=2861974(2007).
6. SBS 홈페이지, http://news.sbs.co.kr/section_news/news_read.jsp?news_id=N1000308327(2007).
7. Fergusson, J. E. and Kim, N. D., "Trace elements in street and house dusts : sources and speciation," *Sci.*

- of the Total Environ.*, **100**, 125~150(1991).
8. 대구광역시, 환경백서(2007).
 9. 이진현, 민병연, “우리나라 일부도시의 중·고등학교에서 강하분진으로 형성된 축적분진에 함유된 중금속의 분포와 특성에 대한 연구,” *한국환경위생학회지*, **29**(3), 21~27(2003).
 10. 조규성, “전주시내 중고등학교 실내·외 환경의 중금속 오염에 대한 연구,” *한국환경과학회지*, **9**(6), 495~503(2000).
 11. 김용환, 정덕호, 조규성, “전북 고창지역 학교 실내외 환경의 중금속 오염 특성,” *한국지구과학회지*, **27**(1), 73~82(2006).
 12. 전효택, 최완주, “도시 및 산업환경 분진 및 토양중의 중금속 원소들의 분산에 관한 지구화학적 연구,” *대한광산지질학회*, **25**(3), 317~336(1992).
 13. 변희옥, 김규한, 전효택, “서울시 영등포구와 구로구에 소재한 중학교 운동장의 토양과 옥외 분진의 중금속 오염,” *한국지구과학회지*, **17**(2), 192~204(1996).
 14. 송희봉, 이은영, 도화석, 정철수, 신동찬, 이명숙, 백윤경, 전성숙, 신원식, “대구지역 도로먼지에 함유된 미량원소 성분과 오염원 평가,” *대한환경공학회지*, **29**(7), 793~800(2007).
 15. 기상청 홈페이지, <http://www.kma.go.kr/intro.html>(2007).
 16. Ordonez, A., Loredo, J., De Miguel, E., and Charlesworth, S., “Distribution of heavy metals in street dust and soils of an industrial city in Northern Spain,” *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **44**, 160~170(2003).
 17. 백성옥, 송희봉, 신동찬, 흥성희, 장혁상, “대구지역 공중 위생법 규제대상시설의 실내공기 중 입자상 오염물질의 계절별 및 지점별 농도분포 특성,” *한국대기보건학회지*, **14**(3), 163~175(1998).
 18. Rahn, K. A., “Sources of trace elements in aerosols—an approach to clean air,” Ph. D. Thesis, University of Michigan, Ann Arbor, pp. 325(1971).
 19. Taylor, S. R. and McLennan, S. M., “The Continental Crust : Its Composition and Evolution,” *Blackwell Sci.*, Cambridge, Mass, pp. 46~47(1985).
 20. Watson, J. G., “Transections receptor models in air resources management,” An international specialty conference, San Francisco, California, pp. 491(1988).
 21. 최성우, 송형도, “대구지역 부유분진 중 미량금속성분의 발생원 특성연구,” *한국대기환경학회지*, **16**(5), 469~476(2000).
 22. Ferreira-Baptista, L. and De Miguel, E., “Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola : A tropical urban environment,” *Atmos. Environ.*, **39**(25), 4501~4512(2005).
 23. Adgate, J. L., Weisel, C., Wang, Y., Rhoads, G. G., and Lioy, P. J., “Lead in House Dust : Relationships between Exposure Metrics,” *Environ. Res.*, **70**, 134~147(1995).
 24. 환경부, 토양환경보전법(2007).
 25. 환경부 홈페이지, http://me.go.kr/kor/info/info_10_03.jsp(2007).