

실내 대기환경과 중금속농도의 분포특성에 관한 연구 - 학교 환경의 중금속농도 -

박 종 길 · 장 난 심 · 박 흥 재 · 박 문 기* · 황 용 식 · 정 지 영
인제대학교 환경학과 · 경산대학교 환경과학과
(1997년 7월 5일 접수)

A Study on the Characteristics of Heavy Metal Concentration and Indoor Atmospheric Environments ; Heavy Metal Concentration in School Environments

Jong-Kil Park, Nan-Sim Jang, Heung-Jai Park, Moon-Ki Park*,
Yong-Shik Hwang, and Ji-Yeung Jung
Dept. of Environmental Science, Inje University, Kimhae 621-749, Korea
**Dept. of Environmental Science, Kyungsan University, Kyungsan, Kyungpook 712-240, Korea*
(Manuscript received 5 July 1997)

This paper aims to describe the indoor-outdoor air quality in school environment through the analyses of heavy metal concentration by Inductively Coupled Plasma(ICP), which were observed at some school environment, such as traffic area, industrial area, seme-industrial area, and residence area.

The results are as follows :

- (1) Regardless indoor and outdoor, the area with the highest concentration of heavy metal is industrial area followed by traffic area, residence area and semi-industrial area in descending order of magnitude. And the heavy metal concentration of indoor is higher than that of outdoor.
- (2) The main heavy metal components with more high level concentration of indoor than those of outdoor are Zn, Al, Ca and these heavy metal concentrations are higher in class than in corridor and outdoor.

Key words : Indoor-outdoor air quality, school environment, heavy metal

1. 서 론

산업의 발달과 함께 자연의 자정능력 한계를 넘어선 오염은 인간의 생존을 위협하는 심각한 사회문제로 대두되기에 이르렀다. 대기는 인간을 포함한 생물이 살아가기 위해 반드시 있어야 하는 필수 요소이며, 인간의 건강한 삶을 영위하기 위해 대기를 깨끗이 보존하는 것이 무

엇보다 중요하다. 지금까지 대기에 대한 관심은 주로 실외대기, 즉 건물의 바깥쪽에 있는 대기에 편중되어 있었다. 그러나 대도시 및 중소공업 도시등 대기 오염이 문제되는 지역에서의 생활은 하루 24시간 중 80% 이상을 실내 공간 (학교, 병원, 사무실, 지하철, 지하상가 등) 에서 생활하고 있어 다양한 직업을 가

진 도시인은 개인에 따라 다소 차이가 있지만, 실외 대기 오염의 영향보다는 하루중 많은 시간을 보내는 실내 대기 오염의 영향을 더 많이 받는다.

실내 대기 오염은 취사, 난방을 위한 화석 연료의 연소뿐만 아니라, 실내 장식, 가구 등의 다양한 오염원을 갖는다. 학교 환경을 포함한 대부분의 실내 대기 오염은 일반적으로 건물내의 공기 질과 외부 공기의 유입 상태 및 질, 실내 거주자(학생)들이 이용할 수 있는 공기의 체적과 특히 실내·외의 기상조건에 좌우된다고 할 수 있을 것이다(김유근 외, 1995). 이경숙 등(1993)은 대형 빌딩의 사무실 근무자들의 실내 공기에 대한 평가에서 100 m² 당 10명 이상의 근로자가 있는 사무실의 경우 필요한 공기는 깨끗한 공기를 강제 환기방식에 의해 외부로부터 취하는 경우가 많았으며, 특히 더운 오후나 날씨가 흐린 경우 실내 대기질에 대한 불만도가 높아 기상조건이나 환기방식과 환기율에 따라 실내 대기질이 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

구미 선진국에서는 1970년 이후 실내 대기 오염에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나(Paul and Joan, 1987; Gammage and Kaye, 1985; Marttila et. al., 1994), 우리나라에서는 실내 대기 오염의 중요성에 대한 인식이 부족하여 수영장이나 지하 상가와 같은 소규모 작업장 등을 제외하고는 부유분진에 의한 실내 대기 오염에 관한 연구는 거의 없는 실정이다(조완근과 황영미, 1994; 한돈희, 1991; 김영란, 1988).

따라서 본 연구에서는 비교적 실내에 중금속의 오염원이 없다고 볼 수 있는 도시 지역내 학교환경을 선정하여 주변 환경에 의한 학교 환경의 실내·외 중금속 농도와 지역별 분포 특성을 알아보려고 실내·외에서의 부유분진을 포함한 후 중금속 성분에 의한 실내·외 오염을 비교 연구하였다.

2. 관측 개요 및 분석 방법

2.1 관측 개요

학교 환경의 실내·외 대기중의 중금속 농도와 지역별 분포의 특징을 알아보기 위하여 선정한 관측 지점은 Fig. 1 과 같이 부산의 공업지역인 장림 공단과 학장 공단내의 장림 초

등학교(Industrial area I, IA-I)와 학장 초등학교(Industrial area II, IA-II)를 선정하였으며, 준공업지역(Semi-industrial area, Semi-IA)으로는 삼락동에 있는 삼락 초등학교를, 교통량이 많은 지역(Traffic area, TA)으로는 영주터널 근처의 서여자 고등학교, 주택가로는 만덕동에 있는 백양 중학교(Residence area, RA)를 각각 선택하여 1층 복도 중간지점과 학교 뒤뜰에서 관측하였으며, 특히 실내 장소변화에 따른 오염의 경향을 조사하기 위해서 공업지역 내에 위치하는 학장 초등학교의 1, 2, 3층의 복도와, 교실 그리고 뒤뜰의 두 곳을 추가로 선정하였다.

실내·외 대기중의 중금속 농도를 측정하기 위하여 사용한 관측기기는 미국 Gillian사의 Personal Air Sampler(PAS 로 약술)를 사용하였으며, 포집에 사용한 필터는 미국 Millipore Corporation사의 membrane filter(diameter 37 mm, pore size는 0.8 μm)를 사용하였고, 학생들의 수업시간, 휴식시간과 같은 실내 학교 생활을 고려한 상황에서 중금속 농도를 알아보기 위해 1994년 4월 30일부터 5월 28일까지 매주 토요일 오전 10시 30분부터 12시까지

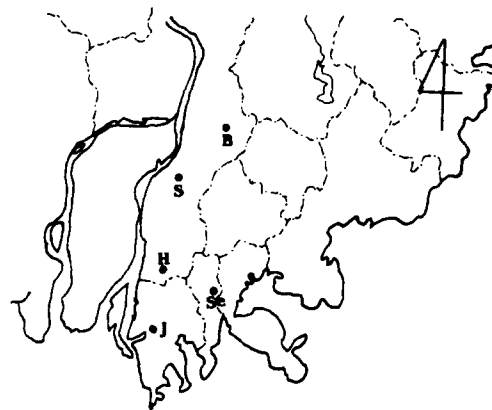


Fig. 1. The locations of air sampling sites. The letter J, H means Jangrim and Hakjang elementary school for an industrial area, S means Sam-lak elementary school for a semi-industrial area, Se means Seo girl high school for a traffic area, and B means Baekyang middle school for a residence area.

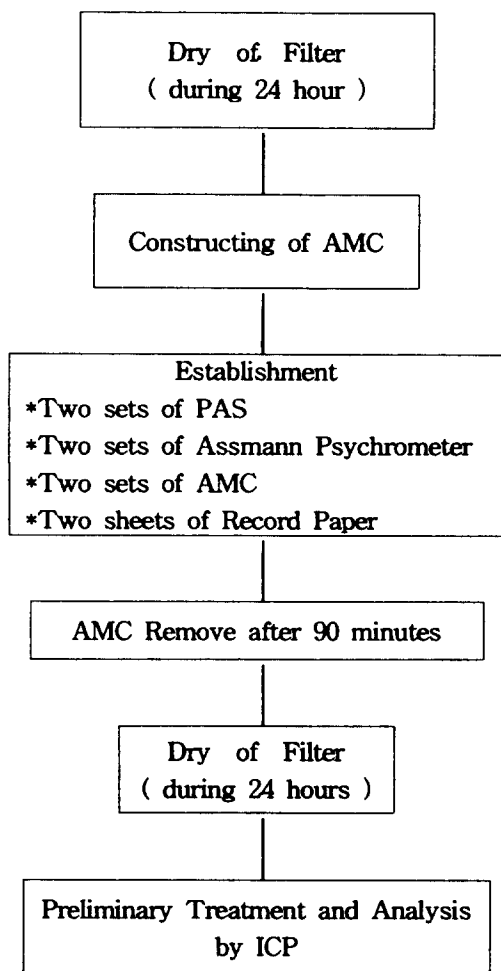


Fig. 2. The process of suspended particles sampling and chemical analysis.

지 공기 흡입 속도를 2 l/min으로 90분간 흡입하였다. 필터는 포집 1일 전 24시간 건조기에서 건조를 행한 후 무게를 달았으며, Air Monitoring Cassette(AMC)를 조립할 때 AMC바닥에 membrane filter가 찢어지지 않도록 membrane pad를 놓았고 기밀유지를 위해 뚜껑을 para film으로 밀봉하였다. 실내에서 부유 분진을 포집할 때는 근처의 모든 창문을 닫은 상태로 하였으며 그 과정은 Fig. 2와 같다.

2.2 분석 방법

포집된 시료는 Fig. 3과 같은 전처리 과정을

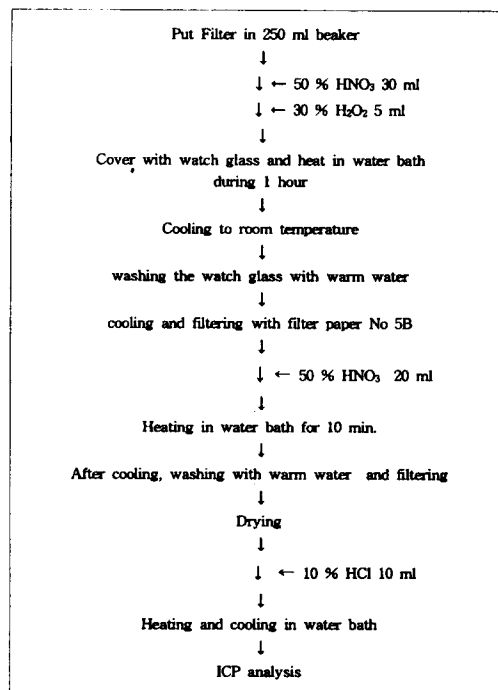


Fig. 3. The preliminary treatment of chemical analysis by ICP.

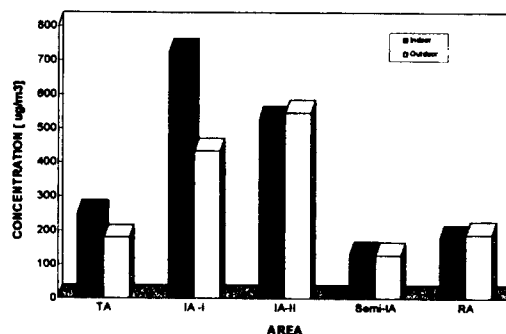


Fig. 4. Indoor and outdoor average concentration of total particulate matter with area during the observed period.

거쳐 Inductively Coupled Plasma(ICP)로 분석하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 지역별 중금속 농도

측정기간 중의 포집된 분진의 평균 농도는 Fig. 4와 같으며 농도가 가장 높은 지역은 공업지역 I 이었으며 그 다음이 공업지역 II, 교통량

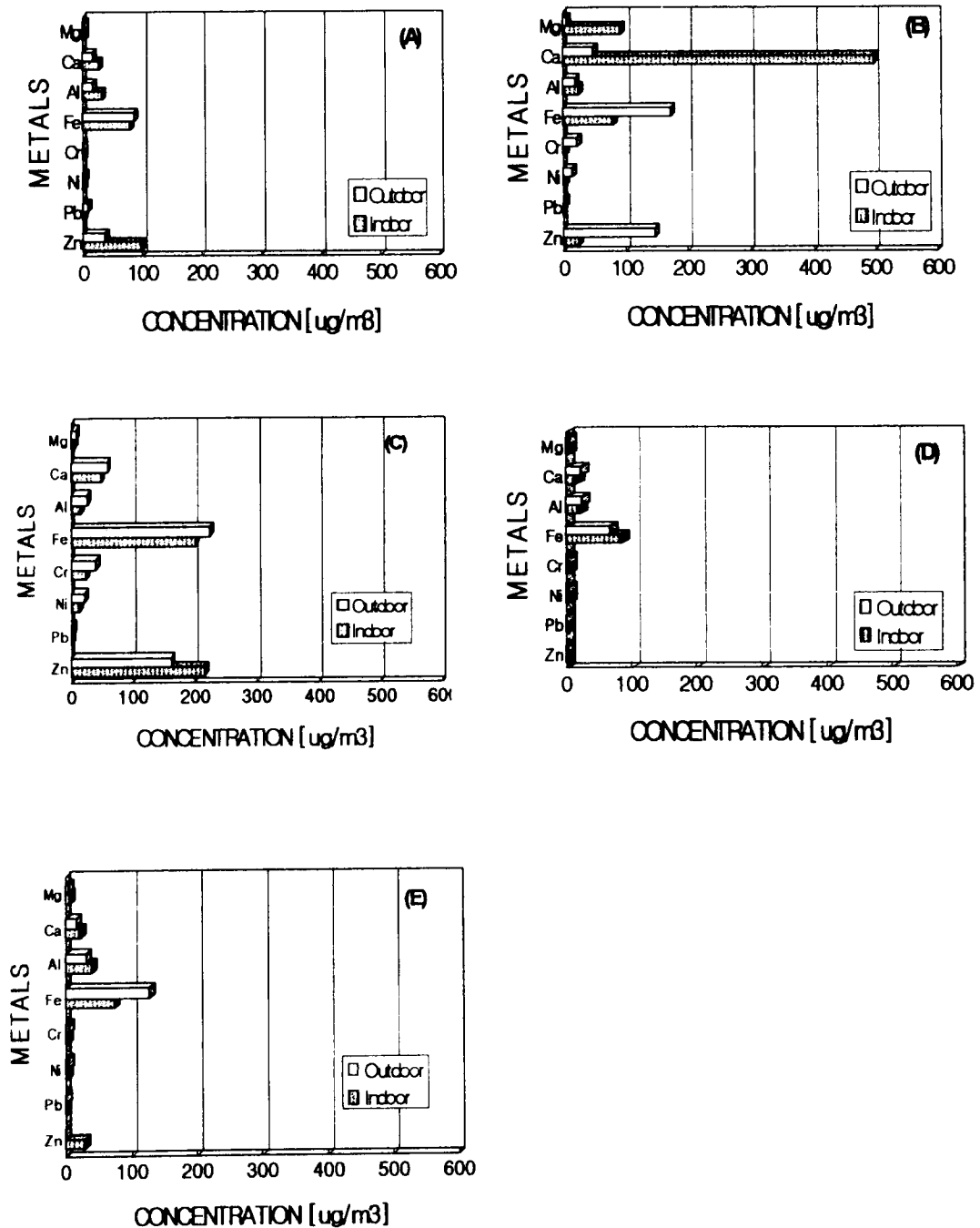


Fig. 5. Indoor-outdoor concentration of heavy metals observed at traffic area(A), industrial area I (B), industrial area II(C), semi-industrial area(D), and residence area(E).

이 많은 지역, 거주지역, 준공업지역의 순으로 나타나 공업지역이 높은 농도를 보인 반면, 준

공업지역은 교통량이 많은 지역이나 주거지역에 비해 낮게 나타났다. 이는 준공업지역내의

실내 대기환경과 중금속농도의 분포특성에 관한 연구

공장들은 몇 년전부터 다른 곳으로 이전하거나, 업무중단 등으로 인한 공동화 현상으로 주거지역에 비해서도 농도가 적게 나타난 것으로 생각된다. 교통량이 많은 지역은 공업지역과 같이 많은 농도를 나타내지는 않았지만, 화석연료의 연소에 의해 발생하는 분진과 차량 이동에서 발생하는 난류 등에 의해 분진이 다소 많이 포집된 것으로 생각된다. 또한 실내의 분진 농도가 실외의 경우보다 높거나 비슷하게 나타났으며 대체로 실외의 농도보다 실내의 농도가 더 높았음을 알 수 있었다.

Fig. 5는 각 지역에서 검출된 중금속 성분의 농도를 나타낸 것으로 Fe, Al, Ca, Mg, Zn, Pb, Ni, Cr의 8개 성분이 검출되었으며, Fe, Zn, Ca는 모든 지역에서 다소 높은 농도를 나타내었으며 지역에 따라 Al, Mg가 다소 높게 나타나기도 하였다. 그리고 극미량으로도 인체에 매우 유해한 Pb, Ni, Cr 등은 거의 검출되지 않거나 상대적으로 미량으로 나타났다.

교통량이 많은 지역의 경우 Fe과 Zn이 고농도로, 그리고 Al, Ca도 비교적 많은 농도로 검출되었다. 또한 Pb의 농도는 미량이지만 다른 지역에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 장림공업지역인 공업지역 I에서는 Ca가 다른 지역에 비해 아주 높은 농도를 나타내었으며, Fe, Zn, Mg 등이 다소 높은 농도를 나타내었다. 이는 특별히 이 지역에 Ca 성분을 발생시키는 오염원이 많았다기 보다는 실외 공기에서는 오히려 Fe이나 Zn에 비해 농도가 적었으나 실내에서 많이 검출된 것으로 보아 학생들의 활동이 다른 지역에 비해 상대적으로 많았던 것으로 생각된다. 공업지역 II에서는 다른 지역에 비해 Fe과 Zn이 뚜렷하게 높은 농도를 나타내었으며, 그 다음이 Ca이었다. 또한 미량이지만 다른 지역에서 거의 검출되

지 않은 Cr, Ni이 검출되었다. 이 지역은 부산의 대표적인 주물 공단으로 주철이나 아연 공장이 많기 때문으로 생각된다. 준공업지역은 많은 공장의 이전으로 중금속의 농도가 현저히 줄어들고 있으며, 주거지역과 비슷한 수준의 농도를 나타내었으며 Fe, Al, Ca 등이 비교적 높은 농도를 나타내었으나, Pb, Ni, Cr 등은 거의 검출되지 않았다.

3.2 실·내외 중금속의 농도비

Table 1은 각 지역별 실내와 실외 대기에서의 분진속의 중금속 농도를 알아보기 위하여 실내와 실외의 농도비를 나타낸 것이다. 지역과 중금속 종류에 따라 실내외의 농도비가 다르지만, Zn, Al, Ca와 같은 것은 대체로 실내에서의 농도가 실외 대기보다 높게 나타난 지역이 많다. 본 연구의 조건과 유사하게 대학의 건물에서 창문과 문을 모두 닫은 상태에서 측정되어진 Alonza *et al.*(1979)의 실내외의 농도비는 각각 Ca-0.10, Fe-0.24, Zn-0.41, Pb-0.42인 반면, 본 연구의 경우 Pb를 제외하고는 지역별로 모두 아주 높게 나타났다. 특히, Alonza *et al.*(1979)의 실험은 교통량이 많거나 공장이 위치하는 곳이 아니라, 숲 등으로 둘러 싸인 대학의 건물내에서 측정한 것이므로 우리의 주거지역과 비교한 경우에도 Pb를 제외한 모든 중금속의 농도비가 높게 나타나, Andersen(1972)의 연구 결과인 실내외의 농도가 실외의 농도의 40-95%의 수준 이상이 되므로 우리의 학교 환경이 얼마나 많은 유해 중금속이 포함된 분진에 노출되어 있는가를 알 수 있으며, Thompson *et al.*(1972)이 지적하였듯이 우리의 학교 환경을 포함한 대도시의 실내 대기질이 실외대기에서의 차량이나 사람의 통행량에 따라 크게 영향을 받아 창문이나 문 틈사이로 실외 대기

Table 1. Indoor-outdoor relationship for elements in particulate matter observed at each site. The symbol(-) means that the element is not detected at indoor and outdoor and the symbol(*) means that the element only detected at outdoor

Site	Number of runs	I/O							
		Zn	Pb	Ni	Cr	Fe	Al	Ca	Mg
Traffic area	4	2.57	0.33	0.47	0.64	0.93	1.82	1.63	0.95
Industrial area I	4	0.17	0.00	0.17	0.10	0.46	1.30	10.28	16.23
Industrial area II	4	1.34	0.34	0.64	0.60	0.89	0.61	0.83	0.72
Semi-Industrial area	4	-	-	0.70	0.64	1.25	0.85	0.67	0.73
Residence area	4	*	0.00	0.82	0.59	0.58	1.29	1.45	1.64

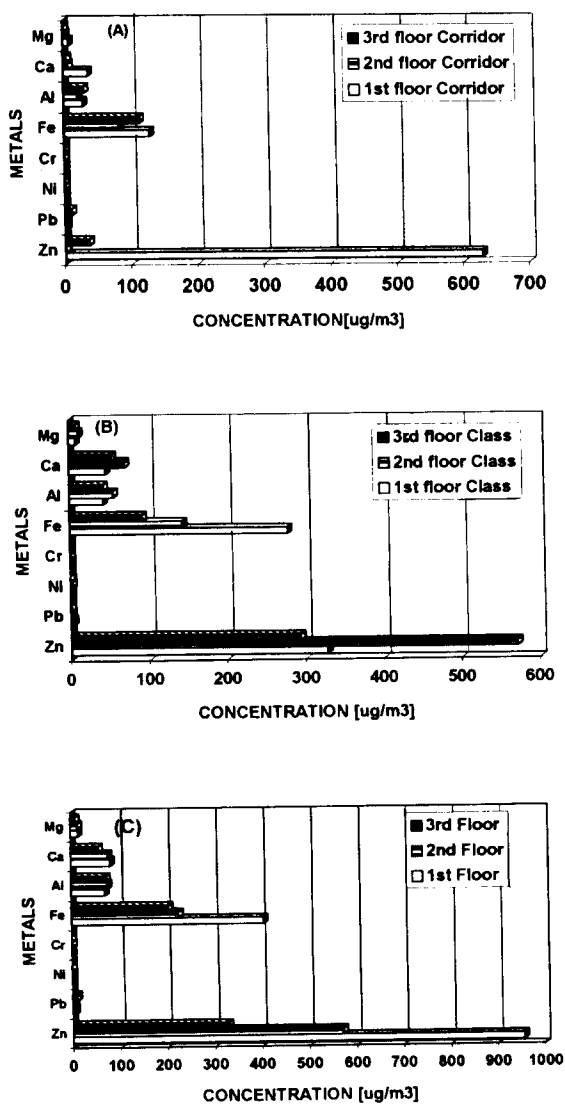


Fig. 6. Indoor-outdoor concentration of heavy metals observed at each floor corridor(A), Class(B), and indoor area(C) in the industrial area II.

오염 물질의 침투에 의한 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다.

따라서 우리의 학교환경의 실내 대기질이 더 높은 농도를 갖는 중금속은 Zn, Al, Ca이며, 교사와 학생들의 건강을 위해서는 창문을 열어 환기시키는 직접 환기보다는 필터를 사

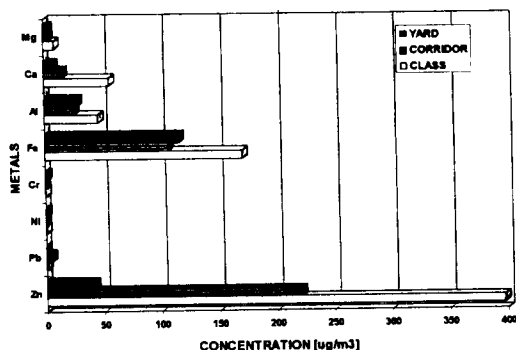


Fig. 7. Indoor-outdoor concentration of heavy metals observed at each site in the industrial area II.

용한 간접 환기 시스템의 도입이 절실하다고 생각된다.

3.3 실·내의 중금속 농도의 경향

오염원에서 배출된 오염물질이 이동, 확산되어 인근의 학교환경에 미치는 영향과 학교환경 내에서의 오염물의 침적, 확산과 같은 거동을 알아보기 위하여 공업지역 II에 위치한 학교환경의 각 층별 교실과 복도 그리고 실외에 해당하는 학교 뒤뜰 2곳을 선택하여 따로 분진을 포집하고 분석하였다.

그 결과 중금속은 앞의 경우와 같이 8가지 항목(Fig. 6)이었으며, Zn, Fe, Al, Ca 순으로 농도가 높았고, Pb, Ni, Cr 은 미량이거나 거의 검출되지 않았다. 교실과 복도에서 가장 많이 검출된 것은 Zn 이었으며 그 다음이 Fe이었다. Zn 은 1층복도에서 가장 농도가 높았으며 교실에서는 2층에서 가장 높아 층별로 다소 차이를 나타내었으나, 교실과 복도 모두 실내임을 감안할 때 Fig. 6(C) 에서 보듯이 대체로 1층이 가장 농도가 높았고 그 다음이 2층, 3층 순으로 나타나 실내 공기의 경우도 상부로 갈수록 안정해지며 지표의 영향을 덜 받는 것을 알 수 있었다.

Fig. 7 은 교실과 복도 그리고 실외인 학교 뒤뜰에서의 농도를 비교한 것으로 주요 중금속은 앞에서도 언급하였듯이 Zn, Fe, Al, Ca 순으로 높은 농도를 보였다. 그리고 교실에서 가장 높은 농도를 나타내었고 그 다음은 원소마다 조금 차이는 있지만 대체로 복도, 실외 순으로 나타나, 일반적으로 예상하는 것과 다르게

실내에서의 오염이 실외보다 크게 낮지 않고 같거나 오히려 더 높은 경향을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Yocom (1982)이 실외와 실외에서 오염물의 침전 (sedimentation), 확산(diffusion) 그리고 응고 (coagulation)과정이 다르다고 지적하였듯이, 창이나 문 틈사이로 실외의 공기가 침투해 들어온 중금속 성분들이 바깥으로 빠져나가지 못하고 실내의 벽과 바닥에 계속 응축 또는 침전되었다가 재부유하므로써 실외보다 오히려 높은 농도를 나타낸 것이며, 학교의 경우 실내 · 외의 청소가 일주일에 적어도 2회 이상이 실시된다는 것을 감안하면 매우 높은 수치인 것으로 판단된다.

따라서 학교환경에서의 중금속 농도는 교실이 가장 높고 복도, 실외의 순이었으며 층별로는 1층이 가장 높고 2층, 3층 순이었다. 그리고 고가의 환기 시스템이 없으면서 많은 사람이 집단적으로 생활하고 있는 학교에서 특별한 환기시스템이 꼭 필요하고 실내 청소를 자주 하는 것이 바람직하다. 또한 실내 청소의 경우에서도 비질에 의한 청소보다는 물을 사용해서 바닥 등에 축적된 분진을 제거하는 것이 바람직하고 가능하다면 진공청소와 같은 근원적으로 분진을 제거하는 방법이 추천된다고 할 수 있다.

3.4 분진 중 중금속의 발생원

학교환경에서 나타난 주요 중금속(Zn, Fe, Al, Ca)의 발생원을 지역의 환경을 고려하여 고찰하였다. 분진내의 모든 금속은 단체상태의 금속으로 존재하지 않고 전체 자유에너지 (Free Energy)을 낮추기 위해 산화물, 황화물, 불화물, 질화물 등의 화합물상태로 존재한다. Fig. 5(C), 6, 7의 공단지역 II은 학장공단으로 흔히 부산의 대표적인 주물공단으로 잘 알려져 있다. 부산의 주물공단에서는 통상 주철(철에 다량의 탄소가 함유된 철합금), 알루미늄합금, 아연 또는 아연합금, 동합금의 주물이 많이 행해지고 있다. 주물의 방법은 주물의 온도가 크게 결정하는 주철의 경우는 액체금속의 온도가 1000 ℃ 이상의 고온이고 대형의 제품이 많으므로 통상 주형틀(액체금속을 주입하여 주물을 만들기 위한 틀)의 재질로 모래를 사용하고 있다. 액체주철을 주형 틀에 주입할 때

액체주철과 주형 틀에서 굉장히 많은 양의 분진이 발생하므로 이와 같이 모래를 주형으로 사용하는 주물공장은 대표적인 분진 발생 공장이다. 따라서 Fig. 5(C), 6, 7 에서의 Fe는 주물공단의 주철공장에서 발생하는 분진이 발생원인 것으로 판단된다. 그러나 Fig. 5 가운데 (C)를 제외한 다른 지역내의 Fe는 주물공장이 주요 발생원이라기 보다는 현재 우리 주위에서의 거의 모든 건축재료나 일용제품, 생산설비가 철합금인 것을 고려하면, 이들 Fe는 이러한 것들에서 발생한다고 보는 것이 더 합당하다. 왜냐하면 모든 금속이 그렇듯이 반응속도의 차이는 있으나 대기중에서는 반드시 산화하며 이러한 대부분의 산화물이 취성(脆性)이 강하므로 약간의 충격 등에 의해서도 쉽게 부서져 분진을 발생시킨다. 따라서 이러한 금속의 전체적인 양이 많으면 분진이 많이 발생할 수 밖에 없고 이러한 이유로 Fig. 5에서와 같이 지역에 관계없이 Fe는 상당량이 검출되기 때문이다.

아연의 경우는 용융점이 419.6 ℃로 금속들 중에서는 상당히 낮은 편이다. 따라서 아연 주물을 뜰 경우 모래 주형대신에 용융점이 높은 철합금으로 된 금속주형틀을 사용한 Die casting방법이 사용된다. Die casting방법은 모래 주형에서 재현할 수 없는 섬세한 부분까지 주물이 가능하므로 일반적으로 자동차용 악세서리, 완구, 일반생활용품 등에서 많이 사용되어진다. Die casting을 이용하면 이러한 잇점 외에 분진의 발생을 억제할 수 있다는 다른 큰 장점이 있으므로 대기환경의 관점에서는 우수한 작업과정이다. 그러나 Die casting에서 주물재료로 아연을 사용할 경우 고려해야 할 또 다른 요인이 있다. 아연의 경우 용융점(419.6 ℃)이 낮으면서 비등점(907 ℃) 또한 낮아 대기 중으로 휘발이 잘 된다는 것이다. 용융점이 각각 231, 327, 630, 271 ℃ 이면서 비등점이 2270, 1740, 1750, 1560 ℃로 아연에 비해 약 1000 ℃이상 높은 Sn, Pb, Sb, Bi의 원소와 비교해보면 아연이 대기 중으로 얼마나 휘발이 잘 되는 가를 짐작할 수 있다. 따라서 아연의 Die casting작업 중에는 기체아연의 발생이 심하게 일어나게 되며 이러한 기체가 대기 중에서 응축(condensation)되면 산화되면서 고체분진으로 변하게 된다. 이렇게 응축된 금속분진은 매우 미세하므로 포집에 세심한 주의가

필요하다. 부산 주물공단지역에서의 아연의 농도가 높은 것은 이러한 이유인 것으로 분석되며 주물공장이 없는 준공업지역이나 공업 지역 I, 주거 지역 등에서 아연의 평균농도가 매우 낮은 것과 비교해 보면 이것은 확실하다.

알루미늄 역시 통상 Die casting을 사용한다. 그러나 알루미늄은 용융점이 660 °C이나 비등점이 2647 °C로 대기 중으로의 휘발은 거의 일어나지 않는다. 따라서 Fig. 5에서의 알루미늄은 주물공장에서 발생하였다고 보기는 어렵다. 알루미늄은 우리 나라에서는 생산되지 않고 전량 수입에 의존하지만 그 소비량은 철 다음이고 공업용, 일상생활용품(건축자재, 주방 기기, 자동차, 가전제품 등) 등 거의 모든 분야에 사용된다. 따라서 이러한 물건들에서 발생하는 분진이 알루미늄의 주 발생원인 것으로 판단되며, 이것 역시 지역에 관계없이 거의 일정한 양이 검출되는 것으로부터도 잘 알 수 있다.

칼슘은 시멘트 등의 건축자재와 분필이 그 주요 발생원이다. 따라서 건물의 내부에서가 외부보다 더 많이 검출되고 또한 건물의 내, 외장피도 관계가 있다. 이것은 뜰에서는 검출되지 않으나 교실에서 많이 검출되는 것으로도 잘 알 수 있다.

이와 같이 Ca의 실내 농도가 높은 것은 내부오염원이 있는 것으로 추정되어 설명이 가능하지만 실내에서 특별한 오염원이 존재하지 않으나 실내에서 오염이 더 큰 중금속들은 단지 실내에서는 실외로부터 유입된 중금속 분진이 어떤 형태이던 실내에 축적된다고 말할 수 있다.

4. 결 론

부산의 교통량이 많은 지역, 공업지역, 준공업지역, 주거지역에 있는 학교의 실내·외 중금속 오염정도를 대기내의 분진을 채취하여 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 지역별로 보면 대기 중 중금속오염의 경향은 실내·외 관계없이 공업지역, 교통량이 많은 지역, 주거 지역 그리고 준공업지역의 순이었으나, 지역에 관계없이 실내에서의 중금속 농도가 실외보다 적어도 같거나 높아 실내 대기 환경에서의 오염이 심각함을 알 수 있었다.

(2) 부산지역 대기오염의 주 중금속성분은

Fe, Zn, Al, Ca의 순이었으나 공단지역내에서는 Fe보다 Zn이 더 높았다.

(3) 부산지역의 학교 환경에서 실내에서 더 높은 농도를 나타낸 주요 중금속 성분은 Zn, Al, Ca이었으며, 교실에서 가장 중금속의 농도가 높았으며 복도, 실외의 순이었고, 층별로는 1층이 가장 높았고 2층, 3층 순이었다.

(4) 아연에 의한 오염은 아연의 휘발에 기인하는 것으로 추정되고, 철 및 알루미늄은 일용품에서 그리고 칼슘은 콘크리트 건물 및 내부에서의 마모와 분필에 기인하는 것으로 판단된다.

따라서 고가의 환기 시스템이 없으면서 많은 사람이 집단적으로 생활하고 있는 학교같은 곳에는 특별한 환기시스템이 꼭 필요하고 실내 청소를 자주 하는 것이 바람직하며 실내 환경에 관한 실내외 대기질의 관계, 실내 대기질의 예측 모델링, 실내 대기질의 청정기법 등에 관한 연구가 앞으로 계속 이루어져 실내 생활이 많아지는 도시 실내 대기질에 대한 준비를 하여야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 1994년도 재단법인 인제연구장학재단의 연구보조비에 의한 것임

참 고 문 헌

- 김영란, 1988, 실내공기중 중금속오염에 관한 연구, 경희대학교 대학원 석사논문.
- 김유근, 문승의, 박종길, 이상준, 이종근, 1995, 환경과 공해, 형설출판사, 제5판, 300~310.
- 이경숙, 조영채, 이동배, 1993, 대전시 대형빌딩 사무실 근무자들의 실내공기에 대한 주관적 평가와 자극 증상, 충남대학교 환경연구보고, 11, 85~98
- 조완근, 황영미, 1994, 국내 한 도시의 실내 수영장 공기 및 수영장 인근의 실외 공기에서의 클로로포름, 한국환경과학회지, 3(3), 253~262.
- 한돈희, 1991, 부산시 지하상가와 그 지상공기 중 호흡성분진 및 중금속에 관한 비교연구, 인제논총, 7(1), 405
- Alonza, J., B. L. Cohen, H. Rudolph, H. N. Jow and J. O. Frohlinger, 1979, Indoor-

실내 대기환경과 중금속농도의 분포특성에 관한 연구

- outdoor relationships for airborne particulate matter of outdoor origin, Atmospheric Environment, 13, 55~60.
- Andersen, I., 1972, Relationship between outdoor and indoor air pollution, Atmospheric Environment, 6, 275~278.
- Gammage, B and S. V. Kaye, 1985, Indoor Air and Human Health, Lewis Pub.,
- Marttila, O., T. Haahtela, I. Silakoski, H. Vattinen. and O. Suominen, 1994, The South Karelia air Pollution Study: Relationship of Outdoor and Indoor Concentrations of Malodorous Sulfur Compounds released by Pulp Mills, J. Air & Waste Manage. Assoc. 44, 1093~1096.
- Paul, J. L. and M. D. Joan, 1987, Toxic Pollution, Lewis Pub., 169~192.
- Thompson, C. R., E. G. Hensel and G. Kats, 1973, Outdoor-indoor levels of six air pollutants, J. Air Pollution Control Association, 23, 881~886.
- Yocom, J. E., 1982, Indoor-outdoor air quality relationships - A Critical Review, J. Air Pollution Control Association, 32(5), 500~520.