

대구지역 축적먼지 중 미량원소성분의 시설별 및 지역별 농도분포

Characteristics of Trace Element Concentrations in Dust by Facilities and Areas in Daegu, Korea

송희봉[†] · 도화석 · 곽진희 · 김종우 · 강재형 · 피영규*

Hee-Bong Song[†] · Hwa-Seok Do · Jin-Hee Kwak · Jong-Woo Kim · Jae-Hyoung Kang · Young-Gyu Phee*

대구광역시보건환경연구원 · *대구한의대학교 보건학부

Public Health and Environment Institute of Daegu Metropolitan City

*Department of Health Science, Daeguhaany University

(2010년 2월 19일 접수, 2010년 3월 31일 채택)

ABSTRACT : Dust samples have been collected from streets, schools, subway stations and households in Daegu metropolitan city. Samples were sieved through a 100 μm mesh and the concentration of 14 elements have been determined using by ICP after acid extraction. Results showed that Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na and V were influenced by natural sources while Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn were influenced by anthropogenic sources. The measured values were remarkably higher in components from natural sources than in components from anthropogenic sources. In particular, school dust had higher levels of Ca and Pb and subway station dust had higher levels of Cu and Zn. The percentage composition of chemicals from subway stations, households, and schools were remarkably higher in components from anthropogenic sources than that from streets. It is well recognized that anthropogenic sources were affected by indoor dust. Results of pollution index of hazardous heavy metals indicated that schools, households, and subway stations were more contaminated than streets and urban areas typically had higher pollution index than rural areas. The correlation analysis among trace elements seem to suggest that there were correlations between components of soil/road dust resuspension, and components of waste incineration and fuel combustion.

Key words : Street, School, Subway Station, Household, Trace Element

요약 : 대구광역시의 도로, 학교, 지하역사, 주택 등을 대상으로 축적먼지를 채취하여 100 μm 이하로 걸러서 산추출한 후 ICP로 14개 원소를 분석하였다. 미량원소성분 중 Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, V는 자연적인 발생원의 영향을 받고, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn은 인위적인 발생원의 영향을 받고 있는 것으로 추정되었다. 미량원소성분의 농도는 자연적인 발생원 성분이 인위적인 발생원 성분보다 매우 높은 수준을 보였다. 특히 학교는 Ca과 Pb의 농도가 높았고, 지하역사는 Cu와 Zn의 농도가 높았다. 미량원소성분의 조성백분율은 실내인 지하역사주택학교가 실외인 도로보다 인위적인 발생원 성분을 많이 함유하였다. 또한 유해중금속성분의 오염도는 학교-주택-지하역사가 도로보다 높았고, 도시지역이 농촌지역보다 높은 전형적인 경향을 보였다. 미량원소성분간의 상관성은 흙먼지나 도로의 재비산먼지관련 성분간에 양호하였고, 폐기물소각이나 연료연소관련 성분간에도 양호하였다.

주제어 : 도로, 학교, 지하역사, 주택, 미량원소성분

1. 서론

강하먼지가 오랫동안 쌓여서 형성된 축적먼지의 연구는 실내 혹은 실외공간에서 배출된 입자상물질에 의한 오랜 기간동안의 영향을 평가하기 위한 방법으로서 대기 중의 부유먼지를 일정 시간동안 채취하여 평가한 방법보다도 오히려 중요한 의미를 지니고 있다고 본다. 이와 같은 축적먼지 중에 함유된 화학적 성분은 대기 중에 머무를 때나 날릴 때에 체내로 흡입되기 쉽고 각종 유해물질이 많아 어린이나 노약

자에게는 심각한 피해를 줄 수도 있다.¹⁾

본 연구의 대상지역인 대구광역시는 산으로 둘러싸인 분지로서 대기확산이 어렵고, 대기오염도는 겨울철의 주풍향이 북서풍으로서 북서부지역에 위치한 공단에서 발생된 대기오염물질들이 도심지로 유입되어 겨울에는 높아지고 여름에는 낮아지는 현상을 나타낸다.²⁾

한편 축적먼지에 관한 국외의 연구는 도로, 학교, 주택 등의 다양한 시설물을 대상으로 미량원소성분을 연구한 사례가 많다.^{3~13)} 그러나 국내의 경우는 학교를 대상으로 한 몇몇

[†]Corresponding author : E-mail : 10000gj@daegumail.net Tel : 053-760-1290 Fax : 053-760-1333

의 연구^{14~16})가 있을 뿐 도로나 지하역사, 주택을 대상으로 한 연구¹⁷)는 거의 없는 실정이다.

이러한 국내연구의 현실을 감안하여 본 논문에서는 이미 발표한 연구^{18~21})인 대구시민들이 일상적으로 이용하는 도로, 학교, 지하역사, 주택 등을 대상으로 한 시설별 축적먼지를 채취하여 분석된 미량원소성분의 자료를 바탕으로 나타난 전반적인 특징을 해석하고자 한다.

그 해석의 주된 내용은 첫째, 농축계수를 이용한 미량원소성분의 발생원을 추정하고, 둘째, 미량원소성분의 농도분포를 파악하고, 셋째, 오염지수를 이용한 중금속성분의 오염도를 평가하고, 넷째, 미량원소성분의 상관성을 분석하고, 다섯째, 각 시설별로 축적먼지 속의 유해성분을 저감할 수 있는 효율적인 관리방안을 모색하는데 있다. 따라서 이러한 연구결과는 향후 건강하고 쾌적한 대기환경조성을 위한 기초자료로 제공함과 아울러 축적먼지에 대한 환경기준설정을 위한 지침서로 활용될 가치있는 논문으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료채취

시료채취지점은 대구광역시에 위치한 도로(교차로 및 시경계도로), 학교교실(이하 ‘학교’), 지하역사(지하철1호선의 승강장), 아파트를 제외한 일반주택(이하 ‘주택’)의 시설물을 대상으로 하였다. 지역구분은 공업·상업·주거시설이 밀집한 곳을 도시로, 녹지시설이 밀집한 곳을 농촌으로 보았다.

이에 대한 시료채취기간과 시료채취지점수는 Table 1과 같고, 이외의 시료채취방법, 시료채취조건 및 시료채취지점은 시설별로 다르며 이미 발표한 연구논문^{18~21})에 각각 상세하게 기술하고 있다.

2.2. 시료분석

각 시설별 시료분석은 모두 Table 2와 같이 동일한 방법으로 하였다. 즉, 현장시료를 건조시킨 후 표준망체(Aperture 100 μm, 한국청계상공사)를 이용하여 입경 100 μm 이하로

Table 1. Sampling sites and periods in this study

Item	Street	School	Subway station	Household
Sampling period (year.month)	2006.04-05	2007.01	2008.01	2009.01-02
Sampling site	Urban	28	30	24
	Rural	12	0	24
	Total	48	45	30

Table 2. Analytical method and elements in this study

Method	Instrument	Element
Acid extraction (HCl-HNO ₃ -H ₂ O)	Inductively coupled plasma emission spectrometer (Perkin Elmer, ICP-OES Optima 4300DV, USA)	14 elements(Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, V, Zn)

분리한 분석용 시료를 질산-염산추출법²²)으로 전처리과정을 거친 후 유도결합플라즈마방출분광광도계(ICP)로 총 14개 원소를 분석하였다.^{18~21}) 특히 분석된 미량원소성분에 대해서는 산추출법에 의한 신뢰성을 검증하기 위해 미국 NIST(National Institute of Standard and Technology)의 동일한 분석조건으로 행한 백성옥 등²³)의 회수율실험 결과치와 유사한 결과를 보였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 축적먼지에 함유된 미량원소성분의 발생원 평가

대구지역 축적먼지에 함유된 미량원소성분의 발생원 평가는 Rahn²⁴)에 의해 제안된 농축계수를 이용하였다. 지각물질의 원소조성과 축적먼지의 원소조성을 비교해 그 발생원이 자연적 혹은 인위적 영향인지를 추정하기 위해 지각물질 중에서도 비교적 균일하고 다량으로 함유되어 있는 Al을 기준원소로 선정하였다. 여기서 지각물질의 원소조성은 Taylor와 McLennan²⁵)이 제시한 지각성분표를 이용하였으며, 농축계수(E.F, Enrichment Factor)를 아래와 같은 식으로부터 산출한 결과는 Table 3 및 Table 4와 같다.

$$(E.F) = \frac{\text{축적먼지 중 원소성분의 농도} / \text{축적먼지 중 Al의 농도}}{\text{지각물질 중 원소성분의 농도} / \text{지각물질 중 Al의 농도}}$$

위 식으로부터 산출된 농축계수가 1에 가까운 값일수록 그 원소의 기원은 지표원소와 동일함을 의미한다. 또한 농축계수가 10 이하인 값이면 자연적인 발생원의 영향으로 간주하고, 농축계수가 10 이상인 값이면 인위적인 발생원의 영향으로 간주하였다.²⁶)

산출된 전체평균농축계수를 보면 Cd > Cu > Zn > Pb > Ni > Cr > Ca > Mn > Fe > V > Mg > K > Na 순으로 농축정도가 높았다. 여기서 Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, V성분은 농축계수 10 이하인 값을 보여 지각물질의 조성변화(암석의 풍화, 토양의 재비산 등)와 관련된 자연적인 발생원의 영향을 받고 있었다. 그리고 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn과 같은 성분

Table 3. Enrichment factors of trace elements in dust by facilities

Element	Street (n=48)	School (n=45)	Subway station (n=30)	Household (n=48)	Total (n=171)
Al	(1.0)	(1.0)	(1.0)	(1.0)	(1.0)
Ca	8.1	11.6	5.4	10.1	8.6
Cd	671.5	650.1	812.7	521.1	673.9
Cr	35.1	17.3	20.6	15.9	23.4
Cu	101.2	140.3	518.9	218.8	240.4
Fe	9.7	3.3	3.6	4.2	5.5
K	0.5	1.8	1.8	2.2	1.5
Mg	4.1	3.8	2.5	3.3	3.5
Mn	7.1	5.5	9.5	3.9	6.7
Na	0.1	0.9	0.9	1.6	0.8
Ni	31.6	21.5	19.7	45.1	28.7
Pb	58.7	138.6	111.6	40.2	87.7
V	4.4	3.5	2.9	3.2	3.6
Zn	78.7	93.9	335.5	111.4	154.6

은 농축계수 10 이상인 값을 보여 인간의 활동(연료유의 연소, 폐기물의 소각 등)과 관련된 인위적인 발생원의 영향을 받는 것으로 추정되었다.

그러나 인위적인 발생원관련 성분으로 알려진 V(석유류의 연료연소성분)는 예상과는 달리 농축계수 10 이하로 자연적인 발생원관련 성분(농축계수 : 도로 4.4, 학교 3.5, 지하역사 2.9, 주택 3.2)으로 추정되었다. 이러한 축적먼지의 평가결과는 Al을 기준원소로 하여 본 연구와 동일하게 지각성분표를 이용한 최진수 등²⁷⁾과 최성우 등²⁸⁾의 연구사례인 대구지역 부유먼지에 함유된 원소성분의 발생원 평가에서도 V를 포함한 모든 성분이 동일한 경향을 보였다.

한편 지역별 평균농축계수는 도시지역이 농촌지역에 비해 자연적인 발생원 성분(Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, V)의 경우엔 1.1배(성분별 : 0.8~1.5배)로 약간 높았으나, 인위적인 발생원 성분(Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)은 1.9배(성분별 : 1.3~2.8배)로 뚜렷하게 높았다. 이러한 사실은 지역간에 자연적인 발생원은 비슷하게 영향을 받고 있지만 인위적인 발생원은 도시지역이 농촌지역보다 산재해 있는 각종 환경오염배출원의 영향을 상대적으로 많이 받은 결과로 사료된다.

3.2. 축적먼지에 함유된 미량원소성분의 농도분포 특성

대구지역 축적먼지에 함유된 미량원소성분의 분석결과는 Table 5 및 Table 6에 요약하였다.

전체평균농도는 Ca > Fe > Al > Mg > K > Na > Zn > Cu > Mn > Pb > Cr > Ni > V > Cd 순으로, 자연적 발생원으로 추정된 미량원소성분들이 인위적 발생원으로 추정된 미량원소성분들에 비해 높은 경향을 보였다. 그 평균농도범위의 경우엔 대체로 자연적 발생원으로 추정된 성분(Al, Ca, Fe, K, Mg 등)은 수~수십 mg/g 수준의 높은 농도를 보였고, 인위적 발생원으로 추정된 성분(Cd, Cr, Ni, Pb 등)은 수~수백 µg/g 수준의 낮은 농도를 보였다.

시설별 평균농도를 살펴보면 학교의 경우엔 Ca과 Pb농도가 도로나 주택보다 높았는데, 이는 교실에서 CaCO₃이 주성분으로 알려진 분필의 사용 혹은 콘크리트·시멘트벽면의 마모 그리고 Pb성분이 함유된 벽면페인트의 마모 혹은 각종 학생물품(학용품, 고무제품 등)의 사용이 많은 영향을 준 결과로 사료된다. 또한 지하역사의 경우는 Cu와 Zn농도가 다

Table 4. Enrichment factors of trace elements in dust by areas

Element	Street			School			Household			Total		
	Urban (n=36)	Rural (n=12)	U/R ratio	Urban (n=28)	Rural (n=17)	U/R ratio	Urban (n=24)	Rural (n=24)	U/R ratio	Urban (n=88)	Rural (n=53)	U/R ratio
Al	(1.0)	(1.0)	-	(1.0)	(1.0)	-	(1.0)	(1.0)	-	(1.0)	(1.0)	-
Ca	8.1	8.2	1.0	12.4	10.4	1.2	12.3	7.9	1.6	10.2	8.9	1.1
Cd	775.7	333.7	2.3	666.0	625.7	1.1	567.3	472.7	1.2	700.6	488.2	1.4
Cr	43.3	8.6	5.0	20.0	13.1	1.5	20.2	11.3	1.8	31.6	11.2	2.8
Cu	123.8	28.0	4.4	168.4	97.2	1.7	278.8	156.0	1.8	168.6	98.7	1.7
Fe	10.2	7.8	1.3	3.3	3.1	1.1	4.3	4.1	1.0	7.0	4.8	1.5
K	0.5	0.5	1.0	1.8	1.9	0.9	2.3	2.0	1.2	1.3	1.5	0.8
Mg	4.4	3.3	1.3	3.9	3.7	1.1	3.6	3.1	1.2	4.1	3.3	1.2
Mn	7.2	6.5	1.1	5.6	5.4	1.0	3.7	4.0	0.9	6.0	5.2	1.2
Na	0.1	0.1	1.0	1.0	0.8	1.3	1.9	1.3	1.5	0.7	0.8	0.9
Ni	39.2	6.8	5.8	24.1	17.5	1.4	62.9	26.5	2.4	39.6	17.7	2.2
Pb	68.2	27.8	2.5	141.1	134.6	1.0	54.0	25.7	2.1	87.0	65.3	1.3
V	4.5	4.2	1.1	3.5	3.3	1.1	3.3	3.2	1.0	4.0	3.5	1.1
Zn	94.0	29.0	3.2	118.6	56.0	2.1	130.8	91.2	1.4	108.8	61.0	1.8

Table 5. Mean concentration of trace elements($\mu\text{g/g}$) in dust by facilities

Element	Street (n=48)	School (n=45)	Subway station (n=30)	Household (n=48)	Total \pm S.D* (n=171)
Al	10435	8388	13661	6363	9319\pm3063
Ca	31518	36404	27747	24091	30057\pm10854
Cd	9	7	14	4	8 \pm 7
Cr	159	63	122	44	95 \pm 149
Cu	329	366	2204	433	697 \pm 865
Fe	43922	11882	21383	11771	22511\pm17401
K	1759	5352	8647	4832	4775\pm2664
Mg	7070	5311	5682	3497	5361\pm1754
Mn	550	345	969	183	466 \pm 300
Na	364	2740	4642	3726	2683\pm1896
Ni	82	45	67	71	67 \pm 89
Pb	152	289	379	64	203 \pm 177
V	34	22	29	15	25 \pm 11
Zn	725	695	4047	626	1272\pm1475

* Standard Deviation

른 곳보다 높았는데, 이는 전동차브레이크 사용에 의한 브레이크의 마모, 전동차운행에 따른 레일과의 마찰 및 전력선과의 마찰로 인한 발생량이 주요한 오염원으로 작용했다고 추정된다. 이러한 결과는 Table 3의 시설별 평균농축계수에서 Ca과 Pb의 경우엔 학교가 다른 곳보다 그리고 Cu와 Zn의 경우엔 지하역사가 다른 곳에 비해 모두 높았던 사실로도 설명된다.

그리고 지역별 평균농도는 자연적 발생원 성분(Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, V)의 경우엔 도시지역이 농촌지역보다 1.2배(성분별 : 0.9~1.6배)로 약간 높았으나, 이와는 달리

인위적 발생원 성분(Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)은 2.1배(성분별 : 1.5~3.1배)로 뚜렷하게 높았다. 이러한 결과는 Table 4의 평균농축계수에서 설명한 바와 같이 도시지역이 농촌지역보다 자연적·인위적 발생원 성분이 모두 높았던 경향을 보인 사실에서도 어느 정도 일치함을 확인할 수 있다.

한편 미량원소성분 조성을 추정된 자연적인 발생원관련 성분(Al+Ca+Fe+K+Mg+Mn+Na+V)과 인위적인 발생원관련 성분(Cd+Cr+Cu+Ni+Pb+Zn)으로 구분해 백분율을 산출한 결과는 Table 7 및 Table 8과 같다.

전체 백분율로 비교하면 자연적 발생원 성분과 인위적 발

Table 6. Mean concentration of trace elements($\mu\text{g/g}$) in dust by areas

Element	Street			School			Household			Total		
	Urban (n=36)	Rural (n=12)	U/R ratio	Urban (n=28)	Rural (n=17)	U/R ratio	Urban (n=24)	Rural (n=24)	U/R ratio	Urban (n=88)	Rural (n=53)	U/R ratio
Al	10636	9834	1.1	8152	8777	0.9	6507	6219	1.0	8720	7858	1.1*
Ca	32047	29929	1.1	37778	34141	1.1	29880	18303	1.6*	33279	26016	1.3*
Cd	10	4	2.5*	7	7	1.0	5	4	1.3	7	5	1.6*
Cr	200	37	5.4*	71	50	1.4*	57	31	1.8*	120	38	3.1*
Cu	409	86	4.8*	427	265	1.6*	564	302	1.9*	457	241	1.9*
Fe	47413	33448	1.4*	11852	11932	1.0	12315	11227	1.1	26526	16484	1.6*
K	1744	1802	1.0	5156	5674	0.9	5302	4362	1.2*	3800	4203	0.9
Mg	7660	5300	1.4*	5290	5347	1.0	3824	3171	1.2	5860	4351	1.3*
Mn	575	477	1.2	339	355	1.0	178	188	0.9	391	307	1.3*
Na	364	363	1.0	2791	2656	1.1	4447	3006	1.5*	2250	2295	1.0
Ni	104	17	6.1*	49	38	1.3*	102	41	2.5*	86	35	2.5*
Pb	181	68	2.7*	286	294	1.0	87	40	2.2*	189	128	1.5*
V	36	31	1.2	22	22	1.0	16	15	1.1	26	21	1.2*
Zn	883	252	3.5*	854	434	2.0*	752	501	1.5*	838	423	2.0*

* indicates that subgroups are significantly different at a level 0.05 by Mann-Whitney U test.

Table 7. Contribution of natural and anthropogenic sources($\mu\text{g/g}$) in dust by facilities

Sources	Street (n=48)	School (n=45)	Subway station (n=30)	Household (n=48)	Total (n=171)
Natural	95652 (98.5%)	70444 (98.0%)	82760 (92.4%)	54478 (97.8%)	303334 (96.5%)
Anthropogenic	1456 (1.5%)	1465 (2.0%)	6833 (7.6%)	1242 (2.2%)	10996 (3.5%)

Table 8. Contribution of natural and anthropogenic sources($\mu\text{g/g}$) in dust by areas

Sources	Street		School		Household		Total	
	Urban (n=36)	Rural (n=12)	Urban (n=28)	Rural (n=17)	Urban (n=24)	Rural (n=24)	Urban (n=88)	Rural (n=53)
Natural	100475 (98.3%)	81184 (99.4%)	71380 (97.7%)	68904 (98.4%)	62469 (97.6%)	46491 (98.1%)	234324 (97.9%)	196579 (98.8%)
Anthropogenic	1787 (1.7%)	464 (0.6%)	1694 (2.3%)	1088 (1.6%)	1567 (2.4%)	919 (1.9%)	5048 (2.1%)	2471 (1.2%)

생원 성분이 각각 96.5%와 3.5%를 함유해 자연적인 발생원 관련 성분이 대부분을 차지하였다. 시설별 함유율은 자연적 발생원 성분의 경우엔 도로(98.5%) > 학교(98.0%) > 주택(97.8%) > 지하역사(92.4%) 순으로, 반면에 인위적 발생원 성분의 경우는 지하역사(7.6%) > 주택(2.2%) > 학교(2.0%) > 도로(1.5%) 순으로 높았다. 이의 주된 원인은 지하역사, 주택, 학교인 경우엔 실외인 도로와는 달리 특정실내공간으로서 실외로부터의 유입된 먼지뿐만 아니라 실내자체에서 발생된 먼지에 대한 환기가 취약하여 이들 미량원소성분의 농축이 상대적으로 용이하기 때문으로 사료된다.

또한 지역별 함유율은 자연적 발생원 성분의 경우엔 농촌 지역(98.8%)이 도시지역(97.9%)에 비해 높았지만, 인위적 발생원 성분의 경우는 오히려 도시지역(2.1%)이 농촌지역(1.2%)에 비해 높았다. 이러한 원인은 논, 밭, 산 등으로부터 흙먼지의 영향을 직접적으로 많이 받는 농촌지역과는 달리 도시지역의 경우엔 도심속에서 각종 산업시설, 자동차, 건설 공사장 등 인간의 다양한 활동에 의해 많은 영향을 받은 결과로 사료된다.

3.3. 축적먼지에 함유된 유해중금속성분의 오염도 평가

축적먼지에 함유된 유해 중금속성분의 오염정도를 평가하기 위해 우리나라 환경부²⁹⁾에서 제시한 토양오염기준을 적용하였다. 이때 용지별 중금속의 토양오염우려기준(A)과 토양오염대책기준(B)은 Table 9와 같다.

축적먼지에 대한 중금속의 오염지수(P.I, Pollution Index)는 이들의 기준값을 이용하였으며, 아래와 같은 식으로부터 산출한 결과는 Table 10과 같다.

$$\text{오염지수(P.I)} = \frac{\text{Cd함량/A(B)} + \text{Cu함량/A(B)} + \text{Ni함량/A(B)} + \text{Pb함량/A(B)} + \text{Zn함량/A(B)}}{5}$$

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

시설별 초과지점을 살펴보면, 토양오염우려기준과 토양오염대책기준을 적용한 오염지수 1.0을 초과한 지점은 학교(우려 : 45곳 중 38곳인 84.4%, 대책 : 45곳 중 3곳인 6.7%) > 주택(우려 : 48곳 중 29곳인 60.4%, 대책 : 48곳 중 3곳인 6.2%) > 지하역사(우려 : 30곳 중 5곳인 16.7%, 대책 : 30곳

Table 9. Soil contamination warning and countermeasure standards in Korea

Soil contamination standard	School & Household		Street & Subway station	
	Warning(A)	Countermeasure(B)	Warning(A)	Countermeasure(B)
Cd($\mu\text{g/g}$)	4	12	60	180
Cu($\mu\text{g/g}$)	150	450	2000	6000
Ni($\mu\text{g/g}$)	100	300	500	1500
Pb($\mu\text{g/g}$)	200	600	700	2100
Zn($\mu\text{g/g}$)	300	900	2000	5000

Table 10. Pollution index of heavy metals(Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) in dust

Facilities	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⁾	
Street	Urban(n=36)	0	0	0.0	0.0	36	36	100.0	100.0	0.26±0.14	0.09±0.05
	Rural(n=12)	0	0	0.0	0.0	12	12	100.0	100.0	0.07±0.03	0.03±0.01
	Total(n=48)	0	0	0.0	0.0	48	48	100.0	100.0	0.21±0.14	0.07±0.05
School	Urban(n=28)	28	2	100.0	7.1	0	26	0.0	92.9	1.85±0.58	0.62±0.19
	Rural(n=17)	10	1	58.8	5.9	7	16	41.2	94.1	1.35±0.77	0.45±0.26
	Total(n=45)	38	3	84.4	6.7	7	42	15.6	93.3	1.66±0.70	0.55±0.23
Subway station	Urban(n=30)	5	0	16.7	0.0	25	30	83.3	100.0	0.81±0.19	0.30±0.07
	Rural(n=0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total(n=30)	5	0	16.7	0.0	25	30	83.3	100.0	0.81±0.19	0.30±0.07
Household	Urban(n=24)	18	3	75.0	12.5	6	21	25.0	87.5	1.77±1.22	0.59±0.41
	Rural(n=24)	11	0	45.8	0.0	13	24	54.2	100.0	1.04±0.44	0.35±0.15
	Total(n=48)	29	3	60.4	6.2	19	45	39.6	93.8	1.40±0.98	0.47±0.33

¹⁾ Pollution Index, ²⁾ Standard Deviation

³⁾ Soil contamination warning standard(Korea), ⁴⁾ Soil contamination countermeasure standard(Korea)

중 0곳인 0.0%) > 도로(우려 : 48곳 중 0곳인 0.0%, 대책 : 48곳 중 0곳인 0.0%) 순으로 높은 초과율을 보였다. 이러한 결과는 산출된 평균오염지수로 볼 때도 학교(우려 : 1.66, 대책 : 0.55) > 주택(우려 : 1.40, 대책 : 0.47) > 지하역사(우려 : 0.81, 대책 : 0.30) > 도로(우려 : 0.21, 대책 : 0.07) 순으로 먼지 속에 유해중금속성분의 함유량이 높음을 확인할 수 있었다. 따라서 하루 중 학교와 주택 내부에서 인간의 활동이 지하역사 내부와 도로상에서 인간의 활동에 비해 상대적으로 머무름 시간이 길기 때문에 중금속으로부터 노출 정도가 심해 유해할 수 있다고 사료된다.

한편 지역별 평균오염지수는 토양오염우려기준과 토양오염대책기준을 적용할 때 도시지역(도로 : 0.26과 0.09, 학교 : 1.85와 0.62, 주택 : 1.77과 0.59)이 농촌지역(도로 : 0.07과 0.03, 학교 : 1.35와 0.45, 주택 : 1.04와 0.35)에 비해 상대적으로 높은 값(도로 : 3.5배, 학교 : 1.4배, 주택 : 1.7배)을 보여 중금속으로부터 오염된 지역으로 추정되었다. 이는 도시지역의 경우엔 오염이 덜된 비교적 깨끗한 상태인 실외대기의 영향을 많이 받은 농촌지역과는 달리 각종 산업·교통·상업·주거시설 등에서 인간의 활발한 활동에 따른 먼지배출·오염원의 영향을 작간접적으로 많이 받은 결과로 사료된다. 즉, 대구지역 대기오염자동측정소의 미세먼지(PM₁₀) 측정평균결과(2006년~2009년)³⁰⁾에서 도시지역(중구 등 10개소 : 53 μg/m³)이 농촌지역(달성군 1개소 : 48 μg/m³)보다 높았던 사실과도 같은 맥락이다. 특히 도로는 학교나 주택에 비해 지역간에 뚜렷한 농도비를 보이는데, 이는 실내생활형태의 차이가 아닌 차량정체·차량신호대기를 포함한 교통량의

다소 등 지상환경조건에서 뚜렷한 차이를 보이는 것과 밀접한 관련이 있다고 생각된다.

3.4. 축적먼지에 함유된 미량원소성분의 상관성 분석

축적먼지에 함유된 미량원소성분들과의 상관성을 분석한 결과는 **Table 11**과 같다. 시설별 전체자료로 볼 때, 통계적으로 유의한 양의 상관(P<0.05)을 보인 성분으로는 자연적-인위적 발생원 성분간(31개) > 자연적-자연적 발생원 성분간(14개) > 인위적-인위적 발생원 성분간(12개) 순으로 양호한 상관성을 보였다.

여기에서 자연적-자연적 발생원 성분간인 Al과 Fe·K·Mg·Mn·V간, Ca과 Mg간, Fe과 V간, K와 Na간, Mg과 Fe·V간, Mn과 Fe·K·Mg·V간에 유의하여 이들이 같은 무리를 이루고 있다는 사실이다. 특히, 흙먼지 혹은 도로의 재비산먼지와 관련된 성분인 Al과 Mg·Mn간(0.63·0.82), K와 Na간(0.84)에, 그리고 V와 Al·Fe·Mg간(0.68·0.62·0.69)에도 상관성이 양호하였다. 또한 인위적-인위적 발생원 성분간인 Cd과 Cr·Cu·Ni·Pb·Zn간, Cr과 Cu·Ni·Pb·Zn간, Cu와 Pb·Zn간, Pb과 Zn간에도 유의하여 이들 역시 공통된 무리를 이루고 있음을 알 수가 있다. 특히 폐기물소각 혹은 연료연소와 관련된 성분인 Cr과 Ni간(0.83), Cu와 Zn간(0.68)에 상관성이 양호하였다. 이외에도 자연적-인위적 발생원 성분간인 Al과 Cd·Cr·Cu·Pb·Zn간, Cd과 Fe·K·Mg·Mn·Na·V간, Cr과 Fe·Mg·Mn·V간, Cu와 K·Mn·Na간, Fe과 Ni간, K와 Pb·Zn간, Mg과 Pb·Zn간, Mn과 Ni·Pb·Zn간, Na과 Pb·Zn간, V와 Ni·Pb·Zn간에 유의하였다. 이들 중에서도 특히 Fe과 Cr간(0.65), K와 Zn

Table 11. Correlation coefficient among trace elements in dust(n=171)

Total	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	V	Zn
Al	(1.0)													
Ca	0.13	(1.0)												
Cd	<u>0.38</u>	-0.01	(1.0)											
Cr	<u>0.23</u>	0.04	<u>0.19</u>	(1.0)										
Cu	<u>0.44</u>	-0.03	<u>0.22</u>	<u>0.17</u>	(1.0)									
Fe	<u>0.31</u>	0.11	<u>0.19</u>	<u>0.65</u>	0.03	(1.0)								
K	<u>0.23</u>	-0.03	<u>0.37</u>	-0.12	<u>0.55</u>	-0.47	(1.0)							
Mg	<u>0.63</u>	<u>0.41</u>	<u>0.27</u>	<u>0.22</u>	0.04	<u>0.50</u>	-0.25	(1.0)						
Mn	<u>0.82</u>	-0.01	<u>0.44</u>	<u>0.37</u>	<u>0.70</u>	<u>0.42</u>	<u>0.32</u>	<u>0.47</u>	(1.0)					
Na	-0.05	-0.12	<u>0.15</u>	-0.16	<u>0.46</u>	-0.54	<u>0.84</u>	-0.45	0.04	(1.0)				
Ni	0.03	0.07	<u>0.16</u>	<u>0.83</u>	0.14	<u>0.50</u>	-0.06	0.02	<u>0.19</u>	0.03	(1.0)			
Pb	<u>0.38</u>	0.11	<u>0.52</u>	<u>0.24</u>	<u>0.33</u>	0.09	<u>0.48</u>	<u>0.22</u>	<u>0.51</u>	<u>0.24</u>	0.12	(1.0)		
V	<u>0.68</u>	0.03	<u>0.36</u>	<u>0.38</u>	0.02	<u>0.62</u>	-0.18	<u>0.69</u>	<u>0.57</u>	-0.38	<u>0.23</u>	<u>0.30</u>	(1.0)	
Zn	<u>0.58</u>	-0.09	<u>0.55</u>	<u>0.17</u>	<u>0.68</u>	0.06	<u>0.67</u>	<u>0.16</u>	<u>0.71</u>	<u>0.50</u>	0.14	<u>0.55</u>	<u>0.31</u>	(1.0)

Correlation coefficients of underlined value are significant at a level of 0.05.

간(0.67), Mn과 Cu·Zn간(0.70·0.71)에 비교적 양호한 상관성을 보였다. 그러나 전체적으로 자연적-인위적 발생원 성분간이 공통된 무리를 이루는 성분간(자연적-자연적, 인위적-인위적)에 비해 양호한 상관성을 많이 나타내고 있으므로 일의적인 결론을 내리기는 어려우며 보다 명확한 해석을 위해서는 추가적인 연구가 필요하다고 본다.

한편 Table 12는 시설별 전체자료를 지역별로 세분화하여 미량원소성분간의 상관성 분석결과로서 세로축은 도시지역의 상관계수를, 가로축은 농촌지역의 상관계수를 나타낸다.

도시지역과 농촌지역이 공통적으로 유의한 양의 상관(P<0.05)을 보인 성분으로는 자연적-자연적 발생원 성분간(10개) > 자연적-인위적 발생원 성분간(3개) > 인위적-인위

적 발생원 성분간(2개) 순으로 양호한 상관성을 보였다.

여기에서 자연적-자연적 발생원 성분간인 Al과 Mg·Mn·V 간(도시 : 0.54·0.79·0.61, 농촌 : 0.71·0.89·0.82), Ca과 Mg 간(도시 : 0.33, 농촌 : 0.42), Fe과 Mn·V간(도시 : 0.37·0.65, 농촌 : 0.34·0.37), K와 Na간(도시 : 0.85, 농촌 : 0.73), Mg과 Mn·V간(도시 : 0.33·0.67, 농촌 : 0.75·0.63), Mn과 V간(도시 0.48, 농촌 : 0.88)에 유의한 상관성을 보였다. 또한 인위적-인위적 발생원 성분간인 Cd과 Pb간(도시 : 0.45, 농촌 : 0.68), Cu와 Zn간(도시 : 0.63, 농촌 : 0.74)에도 유의한 상관성을 보였다. 이외에 자연적-인위적 발생원 성분간인 K와 Pb·Zn간(도시 : 0.46·0.72, 농촌 : 0.49·0.38), Na과 Cu간(도시 : 0.46, 농촌 : 0.38)에도 유의한 상

Table 12. Correlation coefficient among trace elements in dust by areas(n=urban 118, rural 53)

Urban\Rural	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	V	Zn
Al	(1.0)	0.21	0.21	0.15	-0.18	0.19	-0.00	<u>0.71</u>	<u>0.89</u>	-0.45	-0.25	0.25	<u>0.82</u>	-0.14
Ca	-0.00	(1.0)	0.25	<u>0.37</u>	0.06	<u>0.45</u>	0.18	<u>0.42</u>	0.16	-0.09	-0.10	<u>0.48</u>	0.04	-0.06
Cd	<u>0.33</u>	-0.19	(1.0)	0.27	-0.13	-0.09	0.27	0.20	0.18	-0.03	<u>0.32</u>	<u>0.68</u>	0.05	-0.08
Cr	0.18	-0.06	0.12	(1.0)	0.02	0.01	<u>0.31</u>	<u>0.39</u>	0.19	0.09	0.24	<u>0.59</u>	0.09	0.09
Cu	<u>0.44</u>	-0.18	0.15	0.09	(1.0)	-0.21	0.25	0.09	-0.23	<u>0.38</u>	0.24	-0.05	-0.30	<u>0.74</u>
Fe	<u>0.27</u>	-0.09	0.17	<u>0.69</u>	-0.05	(1.0)	-0.57	0.13	<u>0.34</u>	-0.57	-0.24	-0.11	<u>0.37</u>	-0.30
K	<u>0.24</u>	-0.15	<u>0.36</u>	-0.19	<u>0.57</u>	-0.52	(1.0)	0.02	-0.20	<u>0.73</u>	0.26	<u>0.49</u>	-0.35	<u>0.38</u>
Mg	<u>0.54</u>	<u>0.33</u>	0.18	0.14	-0.14	<u>0.55</u>	-0.42	(1.0)	<u>0.75</u>	-0.27	-0.14	<u>0.42</u>	<u>0.63</u>	0.15
Mn	<u>0.79</u>	-0.19	<u>0.39</u>	<u>0.32</u>	<u>0.72</u>	<u>0.37</u>	<u>0.36</u>	<u>0.33</u>	(1.0)	-0.55	-0.21	0.21	<u>0.88</u>	-0.19
Na	-0.02	-0.19	0.14	-0.23	<u>0.46</u>	-0.60	<u>0.85</u>	-0.63	0.08	(1.0)	0.36	0.12	-0.63	0.55
Ni	-0.03	0.02	0.08	<u>0.83</u>	0.06	<u>0.54</u>	-0.13	-0.08	0.14	-0.03	(1.0)	0.26	-0.25	<u>0.29</u>
Pb	<u>0.34</u>	-0.15	<u>0.45</u>	0.18	<u>0.31</u>	0.06	<u>0.46</u>	0.03	<u>0.51</u>	<u>0.23</u>	0.04	(1.0)	0.08	0.04
V	<u>0.61</u>	-0.07	<u>0.36</u>	<u>0.38</u>	-0.06	<u>0.65</u>	-0.20	<u>0.67</u>	<u>0.48</u>	-0.39	<u>0.23</u>	<u>0.30</u>	(1.0)	-0.27
Zn	<u>0.60</u>	-0.26	<u>0.53</u>	0.08	<u>0.63</u>	-0.02	<u>0.72</u>	0.01	<u>0.71</u>	<u>0.51</u>	0.04	<u>0.57</u>	<u>0.28</u>	(1.0)

Correlation coefficients of underlined value are significant at a level of 0.05.

관성을 보였다. 이러한 지역별 결과는 시설별 전체자료 (Table 11)에서 각각의 발생원 성분간에도 공통적으로 일치하는 경향을 확인할 수 있다.

3.5. 축적먼지의 효율적인 관리를 위한 제안

축적먼지에 함유된 유해성분을 줄이기 위한 방안으로는 첫째, 도로는 대기오염의 주된 요인인 자동차배출가스를 줄이도록 하이브리드차천연가스차 등 무저공해자동차의 보급을 확대하고, 가솔린·디젤 등을 연료로 하는 자동차는 매연·여과장치 부착이나 저공해엔진으로 개조할 필요가 있다. 또한 환경행정당국은 자동차배출가스에 대한 강력한 단속과 함께 차량운행자에게 자율점검 및 공회전 방지 등 올바른 운전습관을 갖도록 계몽해야 한다. 아울러 비산먼지발생업소의 관리를 강화하고 도로변 진공청소 확대 및 살수차량 운영을 늘려야 한다. 둘째, 학교는 학생들이 유해물질이 함유되지 않은 학용품품을 사용토록 지속적인 교육과 계몽이 필요하고, 교실내의 주기적인 환기·청소, 시설개선 등을 통해 중금속오염으로부터 피해를 줄일 수 있도록 최선의 노력을 기울여야 한다. 또한 교육행정당국은 학생들이 이용하는 운동장을 토양복토보다는 무공해잔디로 대체토록 적극적인 지원이 필요하고, 환경행정당국은 유해한 페인트·물품 등에 대한 사용규제기준을 적극적으로 마련해야 한다. 셋째, 지하역사는 현재 1.5m인 환기구나 외부공기유입구의 높이(예, 지상 6m인 경우 미세먼지 약 10% 저감효과)³¹⁾를 지상에서 최대한 높이고, 철로상의 비산먼지가 실내로 유입되지 않도록 승강장의 플랫폼과 철로를 분리하는 스크린도어(예, 스크린도어 설치 후 미세먼지 약 35% 저감효과)³²⁾를 설치해야 한다. 넷째, 주택은 주택내의 난방연료, 건축자재, 생활용품 등으로부터 배출되는 각종 유해물질을 거주자가 장기간 흡입할 경우 건강에 위해하므로 창문을 열어 환기를 하면서 물걸레질을 포함한 청소를 수시로 해야 한다고 사료된다.

따라서 이와 같이 실천하기 위해선 오염물질의 배출행위자나 관리자 그리고 제품생산자, 교육자, 행정관서 등 모두가 깊은 관심을 갖고 관리·시행해야 먼지저감의 효과가 있을 것으로 생각된다.

4. 결론

대구광역시에 위치한 도로, 학교, 지하역사, 주택 등 시설별 4종류를 대상으로 축적된 먼지시료를 채취하여 100 μm 이하로 걸러서 산추출한 후 ICP로 14개 원소를 분석하여 다

음과 같은 결론을 얻었다.

1) 분석된 미량원소성분 중에서 Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, V는 지각물질의 조성변화와 관련된 자연적인 발생원의 영향을, 그리고 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn은 인간의 활동과 관련된 인위적인 발생원의 영향을 받는 것으로 추정되었다.

2) 분석된 미량원소성분의 농도는 자연적 발생원 성분(수~수십 mg/g)이 인위적 발생원 성분(수~수백 μg/g)보다 매우 높은 수준을 보였다. 특히 분필이나 학용품품을 사용하는 학교는 Ca과 Pb의 농도가 도로나 주택보다, 그리고 전동차가 운행하는 지하역사는 Cu와 Zn의 농도가 다른 곳보다 높았다.

3) 미량원소성분의 조성백분율은 자연적 발생원 성분의 경우엔 실외대기의 영향을 직접적으로 받는 도로가 학교·주택·지하역사에 비해, 그리고 인위적 발생원 성분의 경우는 실외대기와 아울러 실내자체 발생먼지의 영향을 함께 받는 지하역사·주택·학교가 도로에 비해 많이 함유하였다.

4) 유해중금속성분의 오염도는 특정실내공간인 학교·주택·지하역사가 실외공간인 도로보다 상대적으로 높았다. 지역별로는 인간의 활동이 많은 도시지역이 녹지공간이 많은 농촌지역보다 상대적으로 높았다.

5) 미량원소성분간의 상관성은 흙먼지 혹은 도로재비산과 관련된 성분간(Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na)에, 그리고 폐기물소각 혹은 연료연소와 관련된 성분간(Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)에도 양호한 상관성을 보였다.

KSEE

참고문헌

1. Fergusson, J. E. and Kim, N. D., "Trace elements in street and house dusts : sources and speciation," *Sci. Total Environ.*, **100**, 125~150(1991).
2. 대구광역시, 대구의 환경, 환경백서, pp. 101(2009).
3. Banerjee, A. D. K., "Heavy metal levels and solid phase speciation in street dust of Delhi, India," *Environ. Pollut.*, **123**(1), 95~105(2003).
4. Ramlan, M. N. and Badri, M. A., "Heavy metals in tropical city street dust and road side soils: a case of Kuala Lumpur, Malaysia," *Environ. Tech. Lett.*, **10**, 435~444(1989).
5. Schwar, M. J. R., Moorcroft, J. S., Laxen, D. P. H., Thompson, M., and Armorgie, C., "Baseline metal-in-dust concentrations in Greater London," *Sci. Total Environ.*, **68**, 25~43(1988).

6. 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).
7. De Miguel, E., Llamas, J. F., Chacon, E., Berg, T., Larssen, S., Royset, O., and Vadset, M., "Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: Unleaded petrol and urban lead," *Atmos. Environ.*, **31**(17), 2733~2740 (1997).
8. Robertson, D. J., Taylor, K. G., and Hoon, S. R., "Geochemical and mineral magnetic characterisation of urban sediment particulates, Manchester, UK," *Appl. Geochem.*, **18**(2), 269~282(2003).
9. Rasmussen, P. E., Subramanian, K. S., and Jessiman, B., "Geochemistry of house dust, soil, and street dust in the city of Ottawa, Canada," *2000 CSEG Conference*, www.cseg.ca/conference/2000/session/ss03-1.htm(2000).
10. Chattopadhyay, G., Lin, K. C. P., and Feitz, A. J., "Household dust metal levels in the Sydney metropolitan area," *Environ. Res.*, **93**, 301~307(2003).
11. Tong, S. T. Y., "Indoor and outdoor household dust contamination in Cincinnati, Ohio, USA," *Environ. Geochem.*, **20**, 123~133(1998).
12. Akhter, M. S. and Madany, I. M., "Heavy metals in street and house dust in Bahrain," *Water, Air, and Soil Pollut.*, **66**, 111~119(1993).
13. Rasmussen, P. E., Subramanian, K. S., and Jessiman, B. J., "A multi-element profile of housedust in relation to exterior dust and soil in the city of Ottawa, Canada," *Sci. Total Environ.*, **267**, 125~140(2001).
14. 이진현, 민병연, "우리나라 일부도시의 중고등학교에서 강하분진으로 형성된 축적분진에 함유된 중금속의 분포와 특성에 대한 연구," *한국환경위생학회지*, **29**(3), 21~27(2003).
15. 조규성, "전주시내 중고등학교 실내외 환경의 중금속 오염에 대한 연구," *한국환경과학회지*, **9**(6), 495~503(2000).
16. 김용환, 정덕호, 조규성, "전북 고창지역 학교 실내외 환경의 중금속 오염 특성," *한국지구과학회지*, **27**(1), 73~82(2006).
17. Kim, K. W., Myung, J. H., Ahn, J. S., and Chon, H. T., "Heavy metal contamination in dusts and stream sediments in the Taejon area, Korea, *J. Geochem. Explor.*," **64**, 409~419(1998).
18. 송희봉, 이은영, 도화석, 정철수, 신동찬, 이명숙, 백운경, 전성숙, 신원식, "대구지역 도로먼지에 함유된 미량원소성분과 오염원 평가," *대한환경공학회지*, **29**(7), 793~800(2007).
19. 송희봉, 도화석, 이명숙, 신동찬, 윤호석, 박진희, 정철수, 강재형, "대구지역 학교먼지에 함유된 미량원소성분 분석과 오염원 평가," *대한환경공학회지*, **29**(12), 1390~1399(2007).
20. 도화석, 송희봉, 신동찬, 박진희, 이명숙, 윤호석, 강해정, 피영규, "대구지역 지하철역사 공기여과필터 포집먼지에 함유된 중금속성분의 특성평가," *대한환경공학회지*, **31**(1), 42~50(2009).
21. 도화석, 송희봉, 정연욱, 윤호석, 박진희, 한정욱, 강해정, 피영규, "대구지역 일반주택의 축적먼지 중 미량원소성분 분석과 오염원 평가," *대한환경공학회지*, **32**(1), 69~78(2010).
22. 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. of Environ. Contam. and Toxicol.*, **44**, 160~170(2003).
23. 백성욱, 송희봉, 신동찬, 홍성희, 장혁상, "대구지역 공중위생법 규제대상시설의 실내공기 중입자상오염물질의 계절별 및 지점별 농도분포 특성," *한국대기보존학회지*, **14**(3), 163~175 (1998).
24. 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).
25. Taylor, S. R. and McLennan, S. M., "The Continental Crust : Its Composition and Evolution," Blackwell Sci., Cambridge, Mass, pp. 46~47(1985).
26. Watson, J. G., "Transections receptor models in air resources management," An international specialty conference, San Francisco, California, pp. 491(1988).
27. 최진수, 황승만, 백성욱, "대구지역 대기 중 부유먼지에 함유된 화학성분의 입도별 분포 특성," *대한환경공학회지*, **17**(12), 1245~1259(1995).
28. 최성우, 송형도, "대구지역 부유분진 중 미량금속성분의 발생원 특성연구," *한국대기환경학회지*, **16**(5), 469~476(2000).
29. 환경부, 토양환경보전법 시행규칙(2010).
30. 환경부 홈페이지, http://etips.me.go.kr/EP/web/etips/TP/m_statistic/TP_statistic07.jsp(2010).
31. 서울특별시, 지하생활공간 공기오염 저감방안 연구, pp. 211~212(1997).
32. 손종렬, 김성현, 김형섭, "서울 일부 지하철역사의 미세먼지 (PM2.5/10) 실태평가," *대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문요약집*(2009).