대구지역 일반주택의 축적먼지 중 미량원소성분 분석과 오염원 평가

Trace Element Analysis and Source Assessment of Household Dust in Daegu, Korea

도화석† · 송희봉 · 정연욱 · 윤호석 · 곽진희 · 한정욱 · 강혜정 · 피영규*
Hwa-Seok Do† · Hee-Bong Song · Yeoun-Wook Jung · Ho-Suk Yoon · Jin-Hee Kwak · Jeong-Uk Han
Hye-Jung Kang · Young-Gyu Phee*

대구광역시보건환경연구원 · *대구한의대학교 보건학부
Public Health and Environment Institute of Daegu Metropolitan City
**Department of Health Science, Daegu haany University*

(2009년 8월 11일 접수, 2010년 1월 4일 채택)

ABSTRACT : In order to investigate the degree of household dust contamination, 48 samples of household dust (24 from urban area and 24 from rural area) in Daegu city were collected in vacuum cleaner during January to February 2009. Samples were sieved below 100 ㎛, and 14 elements (Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, V, Zn) were analyzed using ICP after acid extraction. Results obtained from the source assessment of trace elements using enrichment factor showed that Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, and V were influenced by natural sources such as weathered rock and resuspended soil, while Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn were influenced by anthropogenic sources such as fuel combustion and waste incineration. Concentrations were remarkably higher in components from natural sources than in components from urban anthropogenic sources. Household dust in urban area was more affected by anthropogenic sources compared with that of rural area. Pollution index of heavy metals revealed that urban area was 1.8 times more contaminated with heavy metal components than rural area. The correlation analysis among trace elements indicated that components were correlated with natural sources-natural sources (Al-Mg, Al-Mn, Fe-Mn) and natural sources-anthropogenic sources (Al-V, Fe-Cr, V-Mn) in both urban area and rural area. Trace element components of rural area were more correlated than those of urban area. Houses that use oil for heating fuel had relatively higher contents of heavy metals rather than those using gas or electricity for heating fuel. Houses with children also had higher contents of heavy metals. In addition, the age of houses was found to influence the heavy metal levels in household dusts, with older houses (>10years) having higher concentrations than newer houses (<10years) and houses located near the major road (<10 m) were found to have relatively higher heavy metal levels in household dust.

Key words : *Household Dust, Trace Elements, Enrichment Factor, Pollution Indices*

요약 : 일반주택의 먼지오염실태를 연구하기 위하여 2009년 1월부터 2월까지 대구지역내의 도시지역(24곳) 및 농촌지역(24곳)의 일반주택 48가구를 대상으로 진공청소기에 포집된 먼지를 수거한 뒤 100 ㎛ 이하로 체거름하고 산추출한 후에 발암물질로 알려진 Cd과 Ni을 포함한 모두 14개 원소(Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, V, Zn)를 ICP로 분석하였다. 농축계수를 이용한 발생원을 평가한 결과, Ca, Fe, K , Mg, Mn, Na, V 성분은 암석풍화, 토양의 재비산 등과 관련된 자연적인 발생원의 영향을 받았고, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn 성분은 연료의 연소, 폐기물소각 등과 관련된 인위적인 발생원의 영향을 받고 있는 것으로 추정되었다. 미량원소성분의 농도는 자연적인 발생원성분에서 유래되는 성분이 높았고, 인위적인 발생원에서 유래되는 성분이 낮았다. 인위적인 발생원의 기여도는 도시지역(2.5%)의 먼지가 농촌지역(2.0%)의 먼지에 비해 높았다. 오염지수를 이용한 중금속성분의 오염도를 평가한 결과, 도시지역이 농촌지역에 비해 1.8배정도 높게 오염된 것으로 추정되었다. 지역별 미량원소성분간의 상관성을 분석한 결과, 농촌지역과 도시지역이 공통적으로 자연적-자연적 발생원 성분간(Al-Mg, Al-Mn, Fe-Mn), 자연적-인위적 성분간(Al-V, Fe-Cr, V-Mn)이 유의하게 양호하였다. 그리고 농촌지역이 도시지역보다 유의한 상관성이 많았다. 또한 유해 중금속성분과 영향인자간의 상관성을 분석한 결과, 난방연료로 기름을 사용하는 곳이 가스나 전기를 사용하는 곳보다, 어린이가 있는 곳이 없는 곳보다, 주택과 대도로 사이가 10 m 미만인 곳이 이상인 곳보다, 주택연수가 10년 이상인 곳이 미만인 곳보다 상대적으로 중금속을 많이 함유하고 있었다.

주제어 : 주택축적 먼지, 미량원소성분, 농축계수, 오염지수

† **Corresponding author :** E-mail : dhs2580@daegu.go.kr Tel : 053-760-1321 Fax : 053-760-1334

1. 서 론

최근 실내에서 생활하는 시간이 길어지면서 인간은 하루 중 대부분의 시간을 가정이나 사무실 등 실내에서 생활하고 있다. 실내에는 주방 및 난방연료의 연소를 비롯해 각종 건축자재, 인테리어 등 생활용품으로부터 발생되는 유해물질과 오염된 외부공기의 유입으로 인하여 인간의 건강에 심각한 피해를 입을 수 있다. 또한 세계보건기구(WHO)는 실내오염물질이 실외 오염물질에 비해 인체에 전달될 확률이 1천배 이상이나 더 높다고 경고하고 있다.[1] 실내오염물질 중 미세먼지는 중금속 및 각종 유해화학물질을 함유할 수 있어 지속적으로 노출될 경우 보건학적으로 인체에 위해를 줄 수 있다. 특히 일반주택은 특별한 환기시스템이 없고 최근 건축자재 및 건축기술의 발달로 단열효과를 높이기 위해 밀폐율을 높여 환기문제를 가중시켜 각종 오염물질의 실내축적이 용이해지고 있는 실정이다.[2,3]

따라서 일반주택의 먼지오염실태를 연구하기 위하여 2009년 1월부터 2월까지 대구지역내의 도시지역(24곳) 및 농촌지역(24곳)의 일반주택 48가구를 대상으로 진공청소기에 포집된 먼지를 수거한 뒤 100 ㎛ 이하로 체거름하고 산추출한 후에 발암물질로 알려진 Cd과 Ni을 포함한 모두 14개 원소(Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, V, Zn)를 ICP로 분석하였다. 이렇게 분석한 자료를 활용하여 일반주택의 미량원소성분의 농도분포 특성을 파악하고, 이미 연구된 대구지역의 다양한 생활환경 중 축적먼지(도로, 학교, 지하역사)와의 오염수준을 비교하고, 농축계수를 이용한 미량원소성분의 발생원 평가 및 오염지수를 이용한 중금속성분의 오염도를 평가하였다. 또한 미량원소성분간의 상관성 분석 및 실내에서 사용하는 난방이나 주방연료, 주택연수, 거주자수, 애완동물의 존재유무, 실내흡연 유무 등이 실내먼지오염에 미치는 영향도 함께 분석하였으며, 일반주택의 환경적인 요인과 축적먼지에 함유된 중금속성분간의 유의성을 분석하였다. 이 결과는 향후 쾌적한 실내주거환경을 만드는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 실험방법

2.1. 채취지점 및 기간

일반주택의 실내먼지에 함유된 중금속오염실태를 분석하기 위한 시료채취지점은 시내중심에 가까운 수성구 범어동, 북구 복현동, 동구 신천동 등 도시지역 24곳과 달성군 다사읍, 달성군 유가면, 동구 지묘동 등 농촌지역 24곳을 선정하여 총 48곳을 대상으로 하였다.(Fig. 1.) 선정된 시료채취 지점은 일반주택(아파트 제외)으로 한정하였으며 시료채취 방법은 각 가정의 일반가정용 진공청소기에 포집된 먼지로 하였다.

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

이들 총 48곳의 일반주택 먼지시료는 겨울철인 2009년 1월 5일부터 2월 15일까지 총 40일간교통량의 변화가 휴일에 비해 적은 것으로 예상되는 평일에 실시하였다. 또한 시료채취 당일의 모든 날씨는 비교적 맑고 건조한 상태(평균기온 : 3.3℃, 평균습도 : 47.2%, 주풍향 : 서북서풍, 평균풍속 : 2.1 m/sec, 강수량 : 무강수)에서 이루어졌다.[4]

2.2. 시료채취 및 분석

일반주택에서 채취한 먼지시료는 크린지퍼백(LDPE : 크린랩, 25 cm×30 cm, 한국)에 담아 밀봉한 후 실험실로 운반하였다. 이들 시료를 실온에서 1주일동안 자연 건조시킨 후 표준망체(Standard Testing Seive : 청계상공사, Aperture 100 ㎛, 한국)를 이용하여 100 ㎛ 이하로 분리해 분석용 시료로 하였으며, 수분함량은 실온에서 충분히 건조시켜 분석농도에는 보정하지 않았다. 시료분석은 테프론비이커에 전자식저울(Electronic Balance : Sartrius, LE244S, Germany)로 정확히 취한 분석용 시료 1.0 g과 2 : 2 : 2 $HCl-HNO_3-H_2O$의 혼합용액(HCl과 HNO_3은 유해금속측정용, H_2O은 크로마토그래피용) 6 mL를 넣고 초음파추출기(Ultrasonic Extractor : Elma, Transsonic 890/H, Germany)로 95℃에서 2시간 동안 추출한 용액을 방냉하고 메스플라스크에 멤브레인필터로 여과한 후 탈이온수인 증류수를 넣어 최종액량이 정확히 25 mL가 되도록 하였다.[5] 이러한 전처리 과정을 거친 시료를 유도결합플라즈마방출분광광도계(ICP : Perkin Elmer, Optima 4300 DV, USA)로 총 14개 원소(Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, V, Zn)에 대해 분석하였다.

Table 1. Enrichment factors of trace elements in household dust

Elements	Urban (n=24)	Rural (n=24)	Total (n=48)	ratio (Urban/Rural)
(Al)	*(1.0)*	*(1.0)*	*(1.0)*	*(1.0)*
Ca	12.3	7.9	10.1	1.6
Cd	**567.3**	**472.7**	**521.1**	**1.2**
Cr	**20.2**	**11.3**	**15.9**	**1.8**
Cu	**278.8**	**156.0**	**218.8**	**1.8**
Fe	4.3	4.1	4.2	1.1
K	2.3	2.0	2.2	1.2
Mg	3.6	3.1	3.3	1.2
Mn	3.7	4.0	3.9	0.9
Na	1.9	1.3	1.6	1.4
Ni	**62.9**	**26.5**	**45.1**	**2.4**
Pb	**54.4**	**25.7**	**40.2**	**2.1**
V	3.3	3.2	3.2	1.0
Zn	**130.8**	**91.2**	**111.4**	**1.4**

2.3. 자료처리

총 48개(도시 24개, 농촌 24개) 시료에 대해 ICP로 분석한 총 14개 원소의 농도자료는 각 원소별로 모두 검출한계 이상으로 나타났다. 또한 시료분석방법인 염산-질산추출법에 의한 원소성분의 농도에 대한 신뢰성 검증은 미국 국립표준시험연구소(NIST)의 표준참조물질인 Standard Reference Matter 1648(Urban Particulate Matter)을 이용하여 실제 시료와 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 백 등[6]이 연구한 대구지역 공중시설의 실내공기 중 입자상물질의 농도평가에서 회수율 평가결과와 비슷한 결과를 보였다.

그러나 본 논문에서는 원소성분의 농도계산에 있어서 이러한 회수율을 특별히 보정하지 않고 통계 · 처리하였다. 그 이유는 Table 2와 관련된 본 연구의 발생원 평가에서 낮은 회수율을 보인 Al을 기준으로 농축계수를 계산할 때 회수율을 보정한 경우와 보정하지 않은 경우, 양자 모두 동일한 경향을 보였기 때문이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 일반주택 먼지에 함유된 미량원소성분의 발생원 평가

일반주택 먼지에 함유된 미량원소성분의 발생원은 Rahn[7]에 의해 제안된 농축계수를 이용해 평가하였다. 지각물질의 원소조성과 주택먼지의 원소조성을 비교해 자연적인 발생원의 영향 혹은 인위적인 발생원의 영향을 받는 성분인가를 추정하기 위해 지각물질 중에서도 비교적 균일하고 다량으로 함유되어 있는 Al을 기준원소로 선정하였다. 지각물질의 원소조성은 Taylor와 McLennan[8]이 제시한 지각성분표를 이용하였다. 이때 지각원소성분의 농도는 Al 80,400 ㎍/g, Ca 30,000 ㎍/g, Cd 0.098 ㎍/g, Cr 35 ㎍/g, Cu 25 ㎍/g, Fe 35,000 ㎍/g, K 28,000 ㎍/g, Mg 13,300 ㎍/g, Mn 600 ㎍/g, Na 28,900 ㎍/g, Ni 20 ㎍/g, Pb 20 ㎍/g, V 60 ㎍/g 그리고 Zn 71 ㎍/g이었다. 일반주택 먼지에 대한 농축계수(E.F, Enrichment Factor)는 아래와 같은 식으로부터 계산하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

$$\text{농축계수(E.F)} = \frac{\text{측정먼지 중 원소성분의 농도/측정먼지 중 Al성분의 농도}}{\text{지각물질 중 원소성분의 농도/지각물질 중 Al성분의 농도}}$$

위 식으로부터 산출된 농축계수가 10 이하인 값을 나타내면 지각물질 조성의 변화 등 자연적인 발생원의 영향을, 그리고 10 이상인 값을 나타내면 인간의 활동 등 인위적인 발생원의 영향을 받는 성분으로 간주하였다.[9]

산출된 결과는 도시지역과 농촌지역을 평균으로 보면 Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, V 성분은 농축계수가 10 이하인 값을 보여 암석의 풍화, 토양의 재비산 등과 관련된 자연적인 발생원의 영향을 받는 것으로 추정되었다. 그리고 Cd, Cr, Cu,

Ni, Pb, Zn 성분은 농축계수가 10 이상인 값을 보여 화석연료의 연소, 폐기물의 소각 등과 관련된 인위적인 발생원의 영향을 받는 것으로 추정되었다. 이러한 결과는 Al을 기준원소로 동일한 지각성분표를 이용한 송 등[10~12]과 최 등[13,14]이 연구한 결과와 동일한 경향을 보였다. 그 결과는 본 연구와 같이 농축계수가 Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, V의 경우에는 10 이하, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn 성분은 농축계수가 10 이상으로 산출되었다. 여기서 특이한 것은 V의 경우로 석유류의 연료연소와 관련이 높은 인위적인 발생원과 관련이 있을 것으로 보았던 예상과는 달리 일반주택먼지와 지하역사먼지 및 도로먼지, 교실먼지에서도 모두 농축계수가 5 이하인 값을 보여 자연적인 발생원과 관련이 있는 물질로 추정되었다. 그러나 이러한 결과는 대구지역만의 경향인지 앞으로 그 원인규명을 위한 지속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

본 연구에서는 인위적인 발생원의 영향 성분(Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)은 도시지역이 농촌지역보다 높아(Cd 1.2배, Cr 1.8배, Cu 1.8배, Ni 2.4배, Pb 2.1배, Zn 1.4배) 도시지역의 환경오염을 가늠해 볼 수 있었다. 이는 각종 환경오염 배출원인 자동차의 증가, 밀집된 산업시설, 인구의 도시집중과 같은 오염배출원이 많기 때문에 발생되는 대기오염의 영향을 받은 것으로 사료된다.

3.2. 일반주택 먼지에 함유된 미량원소성분의 농도분포

3.2.1. 미량원소성분의 분석결과 요약

일반주택 먼지시료 48개에 대한 미량원소성분의 분석결과는 Table 2에 요약하였다. 일반주택 먼지에 함유된 미량원소성분의 전체평균농도는 분석된 총 14개 원소 중 자연적인 발생원과 관련된 성분으로 추정되는 Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na 등 7개 원소가 수천 ㎍/g 혹은 수만 ㎍/g 수준의 높은 농도를 보였다. 그러나 인위적인 발생원과 관련된 성분으로 추정되는 Cd, Cr, Pb 등과 같은 유해성이 높은 중금속성분은 수 ㎍/g에서 수십 ㎍/g 수준의 낮은 농도를 보였으나, Cu과 Zn은 수백 ㎍/g의 농도로 비교적 높았다. 특히 도시지역이 농촌지역에 비해 Cu, Zn의 농도가 각각 1.9배, 1.5배 정도 높게 나타나 도시지역의 주택먼지오염을 가늠해 볼 수 있었다. 도시지역의 경우 자연적인 발생원 성분의 농도가 97.5%(62,452.0 ㎍/g), 인위적인 발생원 성분의 농도가 2.5%(1582.5 ㎍/g)의 기여율을 보였고, 농촌지역의 경우 자연적인 발생원 성분의 농도가 98%(46474.8 ㎍/g), 인위적인 발생원 성분의 농도가 2.0%(932.52 ㎍/g)로 나타나 도시지역이 농촌지역에 비해 인위적인 발생원 성분의 기여도가 높았다. 도시지역에서 인위적인 발생원 성분의 비율이 높았던 것은 농촌지역에 비해 각종 대기오염물질에 의해 오염된 실외공기의 영향을 많이 받은 것으로 사료된다.

또한 표준편차(S.D)를 평균농도(Mean)로 나눈 값인 변동계수(C.V)는 도시지역의 경우 Al, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na 등 7개 성분이 0.5 미만의 낮은 값을 보인 반면에 Ca, Cd, Cu, Ni, Pb, V, Zn 등 7개 성분은 0.5 이상으로 높은 값을 보였다. 농촌지역의 경우는 Al, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Na, V 등 8개 성분이 0.5 미만으로 낮은 값을 보인 반면에 Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn 등 6개 성분은 0.5 이상으로 높은 값을 보였다. 도시지역의 경우 7개 성분이, 농촌지역의 경우 6개 성분이 0.5보다 높게 나타나, 미세하지만 도시지역이 농촌지역보다는 특정배출원에 대한 영향을 많이 받고 있는 것으로 사료

Table 2. Analytical result of trace elements(㎍/g) in household dust

Element	Urban(n=24)						Rural(n=24)					
	Mean	Median	S.D[1)]	C.V[2)]	Min	Max	Mean	Median	S.D[1)]	C.V[2)]	Min	Max
Al	**6507**	**6152**	**2379**	**0.37**	**3401**	**13220**	**6219**	**6264**	**1828**	**0.29**	**2934**	**12570**
Ca	**29880**	**24050**	**17069**	**0.57**	**14820**	**78910**	**18303**	**16860**	**5861**	**0.32**	**8571**	**31750**
Cd	4.5	3.5	3.1	0.69	2.0	15.0	3.6	3.0	2.7	0.74	1.0	12.0
Cr	57	50	23	0.41	25	120	31	29	11	0.37	13	57
Cu	**564**	**400**	**725**	**1.29**	**123**	**3799**	**302**	**250**	**192**	**0.64**	**54**	**817**
Fe	**12315**	**11840**	**4184**	**0.34**	**5627**	**23010**	**11227**	**10056**	**3702**	**0.33**	**7229**	**22060**
K	**5302**	**5090**	**1438**	**0.27**	**3557**	**9077**	**4362**	**4288**	**1189**	**0.27**	**2600**	**7552**
Mg	**3824**	**3385**	**1554**	**0.41**	**2395**	**8556**	**3171**	**3185**	**782**	**0.25**	**1707**	**5818**
Mn	178	156	77	0.43	69	400	188	175	106	0.57	66	588
Na	**4447**	**4547**	**1229**	**0.27**	**2018**	**7046**	**3006**	**3180**	**1086**	**0.36**	**1315**	**5706**
Ni	102	68	103	1.01	24	524	41	32	23	0.56	13	91
Pb	87	75	56	0.64	28	282	40	31	34	0.86	0	118
V	16	14	8	0.50	9	47	15	13	5	0.36	10	29
Zn	**752**	**596**	**507**	**0.67**	**215**	**2248**	**501**	**421**	**262**	**0.52**	**121**	**1399**

1) Standard Deviation, 2) Coefficient of Variation(=Standard Deviation/Mean)

된다. 전체적으로 볼 때 변동계수가 0.5보다 큰 경우는 인위적인 발생원 성분이 6종(Cd, Cu, Ni, Pb, V, Zn)으로 자연적인 발생원 성분 1종(Mn)보다 많았다.

이러한 결과는 자연적인 발생원관련 성분들의 경우 전체지점에서 특정적인 배출원의 영향이 다소 미흡하여 지점별로 뚜렷한 농도차이가 없었다. 반면에 인위적인 발생원관련 성분들은 특정지점으로부터 배출되는 오염물질 때문에 이들의 농도차이에 큰 영향을 준 것으로 사료된다. 또한 도시와 농촌지역의 미량원소성분 농도비와 농축계수 농도비가 비슷함을 알 수 있었고, 도시가 농촌보다 비교적 높은 값을 나타내었다. 중금속의 농도가 도시가 높은 경우로서는 Ni(2.5배), Pb(2.2배), Cu(1.9배), Cr(1.8배), Ca(1.6배), Zn · Na(각 1.5배), Cd(1.3배), K · Mg(각 1.2배) 등과 같은 농도비를 보였고, 도시와 농촌이 비슷한 경우의 원소로는 Mn, Al, Fe, V으로 0.9~1.1배의 농도비를 보였다. 이는 도시의 경우 농촌과는 달리 각종 산업시설과 자동차, 공사장, 상가 등에서 발생되는 중금속이 함유된 다량의 비산먼지가 주택내부로 유입돼 축적되었기 때문으로 사료된다.

3.2.2. 외국 도시지역과의 미량원소성분 농도비교

미량원소성분의 농도결정은 시료처리방법, 분석용 시료의 입자크기, 시료추출과정 그리고 시료채취지점별 배출원의 특성과 강도 등 복잡한 요인에 의해 그 결과가 서로 다르게 나타날 수도 있다.[15,16] 따라서 이러한 요인 때문에 Table 3의 다른 연구결과[17~20]와 비록 직접적인 비교가 어렵지만 간접적으로 비교해 볼 가치가 있다. 대구지역의 일반주택에 함유된 미량원소 성분의 농도수준은 각국의 도시특성에 따라 미량원소 성분별로 서로 다르게 나타났다.

대구지역 주택먼지 중 Cd의 농도는 4 ㎍/g으로 시드니[17] 4 ㎍/g과 같았고, 바레인[19] 37 ㎍/g 보다는 9배정도 낮게, 오타와[20] 6 ㎍/g 보다도 낮게 나타났다. Cr의 경우 44 ㎍/g으로 시드니의 84 ㎍/g, 오타와 87 ㎍/g, 바레인 144 ㎍/g에 비해 1.9~3.3배 낮게 나타났고, Cu의 경우 433 ㎍/g으로 신시네티[18] 510 ㎍/g에 비해 낮았지만, 시드니 147 ㎍/g, 오타와 206 ㎍/g에 비해 상대적으로 2.1~2.9배 높게 나타났다. 또한 Pb의 경우 64 ㎍/g으로 신시네티 377 ㎍/g, 바레인 360 ㎍/g, 시드니 389 ㎍/g, 오타와 406 ㎍/g 으로 상대적으로 5.6~6.3배정도 낮게 나타났다. Ni의 경우 71 ㎍/g으로 시드니 27 ㎍/g, 오타와 63 ㎍/g, 바레인 110 ㎍/g과 비교하면 오타와에 1.1배, 시드니에 2.7배 높았으나, 바레인에 비하면 1.5배 정도 낮았다. Zn의 경우 626 ㎍/g으로 오타와 717 ㎍/g, 시드니 657 ㎍/g에 비해 조금 낮았으나, 바레인 64 ㎍/g에 비해 9.8배정도 높게 나타났다. 전체적으로 볼 때 대구지역이 타 도시에 비해 높게 나타난 성분은 Cu이고, 반면에 Cr, Pb 성분은 오히려 낮게 나타났으며 그 외의 성분은 타 도시와 비슷한 수준을 보였다. 대구지역이 높게 나타난 Cu 성분은 주로 산업시설로부터 배출되는 배출가스와 자동차의 배출가스 등과 관련된 성분으로 대구지역이 타 도시에 비해 산업시설과 자동차에 의한 오염이 심각함은 알 수 있었다.[21] 또한 타 도시에 비해 낮게 검출된 Pb의 경우는 대구지역이 외국의 타 도시에 비해 매우 낮은 수준을 나타내어 주목할 만하다. 이러한 원인은 해당 도시지역에 따라 유연휘발유(leaded gasoline)의 사용량, 고체폐기물의 소각량, 실내의 페인트칠의 유무 등과 같은 Pb의 배출원에 따라 달라지며, 특히 우리나라의 경우 유연휘발유의 사용량은 1988년을 정점으로 감소추세를 나타내기 시작한 반면에 무연휘발유(unleaded gasoline)의 소비량은 급격한 증가추세에 있다.[22] 이러한 사실은 정부가 대기오염을 줄이기 위한 자동차연료를 유연휘발유에서 무연휘발유로 대체한 대기환경정책의 결과로 인해 대기 중 Pb의 농도가 크게 감소하는데 기여한 것으로 사료된다. 또한 바레인은 타 도시에 비해 Cd, Cr, Cu, Mn, Ni 등의 성분이 아주 높게 나타났는데 이는 높은 인구밀도, 심각한 교통체증, 원유생산과 관

Table 3. Mean concentrations of trace elements(㎍/g) in household dust in other cities

City (Country)	Number of Samples	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Particle size(㎛)	Digestion (Instrument)
Daegu (This study)	48	4	44	433	183	71	64	626	<100	$HCl+HNO_3$ (ICP-AES)
Sydney[17] (Australia)	82	4	84	147	76	27	389	657	<100	HNO_3 (ICP-AES)
Cincinnati[18] (USA)	37			510			377		<106	HNO_3 (ICP-AES)
Throughout[19] (Bahrain)	8	37	145			110	360	64	<30mesh	HNO_3 (AAS)
Ottawa[20] (Canada)	48	6	87	206	269	63	406	717	100~250	HNO_3+HF (ICP-MS)

련된 화재, 건조한 기후환경 등이 복합된 원인으로 사료된다.[19] 따라서 각 지역의 주택먼지 중 중금속오염도는 도시형성의 특성, 지리적 특성, 기후조건, 대기오염배출원의 특성 등에 따라 원소성분별로 상이한 차이가 있는 것으로 사료된다.

3.3. 일반주택 먼지에 함유된 중금속성분의 오염도 평가

일반주택 먼지에 함유된 유해 중금속성분의 오염정도를 평가하기 위해 우리나라 환경부[23] 에서 제시한 토양오염우려기준(A)('대'에 해당)과 토양오염대책기준(B)을 적용하였다. 이때 중금속의 토양오염우려기준(A)은 각각 Cd 1.5 ㎍/g, Cu 50 ㎍/g, Ni 40 ㎍/g, Pb 100 ㎍/g 그리고 Zn 300 ㎍/g 이고, 토양오염대책기준(B)은 각각 Cd 4 ㎍/g, Cu 125 ㎍/g, Ni 100 ㎍/g, Pb 300 ㎍/g 그리고 Zn 700 ㎍/g 었다. 일반주택 먼지에 대한 중금속의 오염지수(P.I, Pollution Index)는 아래와 같은 식으로부터 계산하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다.

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

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

그 결과 도시지역의 경우, 사람의 건강 · 재산이나 동식물의 생육에 지장을 초해할 우려가 있는 "토양오염우려기준"을 적용할 경우 24개 지점 중 24곳(100%) 모두 오염지수 1.0을 초과하였고, 우려기준을 초과하여 사람의 건강 및 재산과 동식물의 생육에 지장을 주어서 토양오염에 대한 대책이 필요로 하는 "토양오염대책기준"을 적용할 경우 24지점 중 15곳(63%)이 오염지수 1.0을 초과하였다. 농촌지역의 경우 토양오염우려기준을 적용할 경우 24지점 중 22곳(92%)가 오염지수 1.0을 초과하였고, 토양오염대책기준을 적용할 경우 24지점 중 8곳(33%)가 오염지수 1.0을 초과하였다. 또한 도시와 농촌을 구분하지 않고 토양오염우려기준을 적용할 경우 48지점 중 46곳(96%)가 오염지수 1.0을 초과하였고, 토양오염대책기준을 적용할 경우 48개 지점 중 23곳(48%)가 오염지수 1.0을 초과하였다. 또한 토양오염우려기준을 적용한 오염지수의 평균은 도시지역이 4.04로 농촌지역 2.30에 비해 약 1.8배 높게 나타났고, 토양오염대책기준을 적용한 오염지수의 평균은 도시지역이 1.60으로 농촌지역 0.91에 비해 역시 1.8배정도 높게 나타나 도시지역의 주택먼지가 농촌지역의 주택먼지에 비해 중금속으로 상당히 오염되어 있음을 알 수 있었다.

3.4. 일반주택 먼지에 함유된 미량원소성분의 상관성 분석

일반주택 먼지에 함유된 미량원소성분들과의 상관성을 분석한 결과는 Table 5와 같다. 일반주택 중 도시지역의 경우에는 자연적인 발생원 성분과 인위적인 발생원 성분간인 Al과 V간(0.58), 그리고 K과 Cd간(0.47), Fe과 Cr, Zn간(각각 0.73, 0.62), Mg과 V간(0.60), Mn과 Cr, V, Zn간(각각 0.54, 0.55, 0.48), Na과 Cu간(0.52)에 유의한 상관성($P<0.05$)을 보였다. 자연적인 발생원 성분간에는 Al과 Ca, Mg, Mn간(각각 0.62, 0.80, 0.68), Ca과 Mg간(0.70), Fe과 Mn간(0.64), Mg과 Mn간(0.53)에 유의한 상관성($P<0.05$)을 보였다. 또한 인위적인 발생원 성분간의 경우에는 Cr과 V, Zn간(각각 0.51, 0.77), Ni과 Zn간(0.59), V과 Zn(0.48)에도 유의한 상관성($P<0.05$)을 보였다. 따라서 도시지역은 전반적으로 인위적인 발생원 성분간(4개)보다는 자연적인 발생원 관련 성분간(6개)에 더 양호한 상관성을 보임을 알 수 있었다.

그리고 일반주택 중 농촌지역의 경우에는 자연적인 발생원 성분과 인위적인 발생원 성분간인 Al과 V간(0.72), 그리고 Fe과 Cr, Cu, Ni, V간(각각 0.61, 0.41, 0.65, 0.43), Mg과

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

Sampling Site		P.I > 1.0		P.I < 1.0		P.I[1]
		Number of Sample	%	Number of Sample	%	Mean±S.D[2]
Concern Level for Soil Contamination[3]	Urban(n=24)	24	100	0	0	4.04±3.23
	Rural(n=24)	22	92	2	8	2.30±1.01
	Total(n=48)	46	96	2	4	3.17±2.53
Action Level for Soil Contamination[4]	Urban(n=24)	15	63	9	37	1.60±1.29
	Rural(n=24)	8	33	16	67	0.91±0.40
	Total(n=48)	23	48	25	52	1.26±1.01

1) Pollution Index, 2) Standard Deviation,
3) 4) designated by "The Soil Environment Conservation Law" in Korea.

Table 5. Correlation coefficient among trace elements in household dust(n=24)

Urban	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	V	Zn
Al	(1.0)													
Ca	**0.62**	(1.0)												
Cd	-0.20	-0.16	(1.0)											
Cr	0.16	-0.05	0.01	(1.0)										
Cu	-0.21	-0.03	0.04	0.25	(1.0)									
Fe	0.16	-0.08	0.06	**0.73**	0.27	(1.0)								
K	-0.16	-0.17	**0.47**	-0.03	0.30	0.09	(1.0)							
Mg	**0.80**	**0.70**	-0.28	0.05	-0.11	0.04	-0.19	(1.0)						
Mn	**0.68**	0.32	-0.17	**0.54**	-0.09	**0.64**	-0.19	**0.53**	(1.0)					
Na	-0.08	-0.26	-0.02	0.38	**0.52**	0.30	0.21	-0.22	-0.04	(1.0)				
Ni	0.03	0.27	-0.05	0.34	0.18	0.28	-0.06	0.03	0.15	0.31	(1.0)			
Pb	0.14	0.08	0.24	0.15	0.01	0.34	0.28	-0.06	0.32	-0.08	0.12	(1.0)		
V	**0.58**	0.29	-0.26	**0.51**	0.08	0.27	-0.14	**0.60**	**0.55**	0.01	0.24	-0.02	(1.0)	
Zn	0.06	-0.07	0.14	**0.77**	0.28	**0.62**	0.00	-0.06	**0.48**	0.36	**0.59**	0.23	**0.48**	(1.0)
Rural	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	V	Zn
Al	(1.0)													
Ca	0.02	(1.0)												
Cd	0.25	0.09	(1.0)											
Cr	0.04	0.06	-0.04	(1.0)										
Cu	-0.10	0.24	-0.14	**0.57**	(1.0)									
Fe	0.27	-0.24	-0.13	**0.61**	**0.41**	(1.0)								
K	**0.61**	0.20	0.15	-0.02	-0.04	-0.10	(1.0)							
Mg	**0.44**	0.38	-0.04	0.22	0.35	0.20	0.25	(1.0)						
Mn	**0.94**	-0.18	0.16	0.02	-0.07	**0.42**	**0.48**	0.39	(1.0)					
Na	-0.02	0.15	-0.09	0.25	0.37	-0.01	**0.55**	0.32	-0.10	(1.0)				
Ni	-0.18	0.06	0.05	**0.67**	**0.49**	**0.65**	-0.23	-0.02	-0.13	0.13	(1.0)			
Pb	0.06	0.01	**0.42**	**0.48**	0.32	0.30	0.17	0.24	0.02	**0.42**	**0.42**	(1.0)		
V	**0.72**	-0.29	0.01	0.01	-0.12	**0.43**	0.32	0.17	**0.79**	-0.24	-0.01	-0.10	(1.0)	
Zn	0.22	0.15	-0.08	0.32	**0.67**	0.30	0.18	**0.77**	0.21	**0.48**	0.25	0.36	0.10	(1.0)

Correlation coefficients exceeding 0.40 are significant at a level of 0.05.

Zn간(0.77), Mn과 V간(0.79), Na과 Pb, Zn간(각각 0.42, 0.48)에 유의한 상관성($P<0.05$)을 보였다. 자연적인 발생원 성분간인 Al과 K, Mg, Mn간(0.61, 0.44, 0.94), Fe과 Mn간(0.42), K과 Mn, Na간(각각 0.48, 0.55)에 유의한 상관성($P<0.05$)을 보였다. 또한 인위적인 발생원 성분간인 Cd과 Pb간(0.42), Cr과 Cu, Ni, Pb간(각각 0.57, 0.67, 0.48), Cu와 Ni, Zn간(각각 0.49, 0.67), Ni과 Pb간(0.42)에도 유의한 상관성($P<0.05$)을 보였다. 그러나 농촌지역은 도시지역과는 달리 전반적으로 자연적인 발생원관련 성분간(6개)보다는 인위적인 발생원관련 성분간(7개)에 근소하지만 더 양호한 상관성을 보임을 알 수 있었다. 그러나 이러한 결과는 전체적으로 볼 때 도시 및 농촌지역의 주택먼지에서는 자연적인 발생원과 인위적인 발생원의 영향을 어느 한쪽에 치우치지 않고 골고루 받는 것으로 나타났다.

한편 도시와 농촌지역지에서 공통적으로 유의한 상관성($P<0.05$)을 보인 성분으로는 자연적-인위적발생원 성분간 3개(Al-V, Fe-Cr, Mn-V), 자연적-자연적발생원 성분간 3개(Al-Mg, Al-Mn, Fe-Mn)로 나타났다. 그리고 개별적으로 구분해 볼 때는 도시지역(총19개 : 자연-인위 9, 자연-자연 6, 인위-인위 4)보다는 농촌지역(총22개 : 자연-인위 9, 자연-자연 6, 인위-인위 7)이 미세하지만 미량원소성분간의 유의한 상관성($P<0.05$)이 많았다. 이러한 까닭은 도심의 다양한 오염원을 지닌 도시와는 달리 농촌은 단순한 오염원의 영향을 받았기 때문으로 사료된다.

3.5. 환경인자가 주택먼지에 미치는 영향 분석

일반주택 먼지시료 총 48개(도시 24곳, 농촌 24곳) 시료에 대해 ICP로 분석한 총 14개 원소 중 비교적 유해성이 큰 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb 및 Zn에 대한 시료채취지점의 환경인자에 따른 농도분포를 Table 6에 나타내었다. 영향인자를 분석하기 위한 종합적인 설문지는 주택먼지 시료채취와 동시에 현장에서 실시하였으며, 그 내용은 난방연료종류, 실내히터 사용여부, 주택연수, 페인트칠연수, 어린이유무, 도로인접유무, 흡연자유무, 애완동물유무, 카펫사용유무 등에 대해 설문조사를 실시하였다. 이 자료는 일반주택의 환경적인 영향인자가 유해 중금속농도에 미치는 영향을 파악하는데 활용하였다.

Table 6. Mean of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn concentrations(μg/g) in household dust for a number of subgroups identified from questionnaire responses

Questionnaire	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Principle component?						
Fiber (n=30)	4.3	51	497	84	76	708
Soil (n=18)	3.6	32	325	51	44	490
(F/S) ratio	1.19	**1.59***	1.53	**1.65***	**1.73***	**1.44***
Heating fuel?						
Oil (n=26)	4.8	49	392	92	69	706
Gas & Electric (n=22)	3.1	37	481	48	57	532
(O/G · E) ratio	1.55	1.32	0.81	**1.92***	**1.21***	1.33
Portable Electric heater?						
Yes (n=20)	4.8	50	435	99	77	688
No (n=28)	3.5	40	432	52	54	582
(Y/N) ratio	1.37	**1.25***	1.01	**1.90***	1.43	1.18
Children?						
Yes (n=19)	3.9	44	621	95	72	725
No (n=29)	4.1	44	310	56	58	561
(Y/N) ratio	0.95	1.00	**2.00***	1.70	1.24	1.29
Last paint < 10 years?						
Yes (n=26)	4.4	45	531	81	68	669
No (n=22)	3.6	43	317	60	59	576
(Y/N) ratio	1.22	1.05	1.68	1.35	1.15	1.16
House < 10 m from major road?						
Yes (n=13)	4.8	45	615	60	81	766
No (n=35)	3.7	43	365	76	57	574
(Y/N) ratio	1.30	1.05	1.68	0.79	1.42	1.33
House age < 10 years?						
Yes (n=12)	3.8	40	612	57	48	690
No (n=36)	4.1	45	373	76	69	605
(Y/N) ratio	0.93	0.89	1.64	0.75	0.70	1.14
Smoking?						
Yes (n=17)	4.9	42	373	60	60	589
No (n=31)	3.6	45	466	78	65	646
(Y/N) ratio	1.36	0.93	0.80	0.77	0.92	0.91
Carpet?						
Yes (n=11)	3.5	42	292	55	42	460
No (n=37)	4.2	45	475	76	70	676
(Y/N) ratio	0.83	0.95	0.61	0.72	0.60	0.68
Pets?						
Yes (n=9)	3.8	41	359	47	63	657
No (n=39)	4.1	45	450	77	64	619
(Y/N) ratio	0.93	0.91	0.80	0.61	0.98	1.06

n = number of samples.
* indicates that subgroups are significantly different at a level 0.05 by Mann-Whitney U test.

그 결과 난방연료로 기름을 사용하는 주택이 가스나 전기를 사용하는 주택보다 비교적 중금속을 많이 함유하고 있었으며, 어린이가 있는 가정이 없는 가정보다, 주택과 대도로 사이의 거리는 10 m 미만인 곳이 이상인 곳보다, 주택연수가 10년 이상인 곳이 미만인 곳보다 상대적으로 유해중금속을 많이 함유하고 있었다. 이러한 결과는 김 등[24]이 연구한 대전지역 주택 먼지의 연구결과와 동일한 결과였다. 그 원인으로는 기름연료의 연소과정에서 발생되는 검댕과 어린이가 사용하는 학용품과 장난감 등의 마모, 가까운 도로에서 유입되는 자동차 배출가스, 주택노후에 따른 시멘트와 콘크리트의 마모 등의 영향으로 오염된 먼지가 실내에 축적되었기 때문으로 사료된다. 또한 페인트칠을 한지가 10년 미만인 곳이 이상인 곳보다 유해중금속의 농도가 모두 높게 났다. 이는 페인트칠을 한지 10년 이내에 대부분이 마모되며, 그 이후에는 마모되는 양이 적기 때문으로 사료된다. 흡연자의 유무에 따른 중금속의 함량은 흡연자가 있는 곳이 많을 것이라는 예상과는 달리 Cd을 제외한 Cu, Ni, Pb, Zn이 모두 낮게 검출되었다. 이러한 연구결과는 김 등[24]이 연구한 대전지역 주택먼지의

연구결과와 동일한 결과를 보였으며, 그 원인 규명에 대해서는 좀더 지속적인 연구가 필요할 것이라고 사료된다. 또한 애완동물 및 카펫 사용유무에 따른 중금속의 농도 또한 예상과는 달리 애완동물이 있고, 카펫을 사용하는 곳이 오히려 낮게 나타났다. 이는 애완동물을 키우고 카펫을 사용하는 곳일수록 더욱 청결을 유지하고 있기 때문으로 사료된다.

또한 축적먼지에 함유된 중금속농도가 일반주택의 환경요인에 따라 통계학적으로 유의적인 차이가 있는지를 검증하기 위해 Mann-Whithey U Test[25]를 실시하였다. 그 결과 Table 6에 첨자(*)로 나타낸 바와 같이 먼지의 주성분이 섬유와 토양의 차이에서는 Cr, Ni, Pb, Zn이, 난방연료를 기름과 가스 · 전기를 사용지의 구분에서는 Ni과 Pb이, 실내에 전열기를 사용하는 지의 여부에 따라서는 Cr과 Ni이, 가정에 어린이의 유무에 따라서는 Cu가 유의수준 5%에서 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 그 외의 다른 환경적인 요인과 축적먼지에 함유된 중금속농도와의 유의성은 나타나지 않았다.

4. 결 론

2009년 1월에서 2월에 대구지역의 일반주택(아파트제외)을 대상으로 도시지역과 농촌지역으로 구분하여 각각 24곳을 선정하여 총 48곳의 시료를 채취하여 100 ㎛ 이하로 체거름하고 산추출한 후 ICP로 14개 원소를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 농축계수를 이용한 미량원소성분의 발생원을 평가한 결과 Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, V 성분은 암석풍화, 토양재비산 등과 관련된 자연적인 발생원의 영향을 받았고, 반면에 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn 성분은 연료연소, 폐기물소각 등과 관련된 인위적인 발생원의 영향을 받았다.
2) 분석된 미량원소성분의 농도는 자연적인 발생원에서 유래되는 성분이 높았고(수천~수만 ㎍/g), 반면에 인위적인 발생원에서 유래되는 성분이 낮았다(수~수백 ㎍/g). 또한 인위적인 발생원 성분의 기여도는 도시지역(2.5%)이 농촌지역(2.0%)에 비해 높았다.
3) 오염지수를 이용한 중금속성분(Cd, Cu, Ni, Pb, Zn)의 오염도를 평가한 결과, 도시지역이 농촌지역에 비해 약 1.8배 정도 중금속으로부터 오염된 것으로 추정되었다.
4) 미량원소성분간의 상관성을 분석한 결과, 도시와 농촌지역에서 공통적으로 유의한 상관성($P<0.05$)을 보인 성분으로는 자연적-인위적발생원 성분간 3개, 자연적-자연적발생원 성분간 3개로 나타났으며, 인위적-인위적발생원 성분간에는 유의한 상관성을 보인 성분이 없었다. 그리고 도시지역(항목간 19개)에 비해 농촌지역(항목간 22개)이 미량원소성분간의 유의 상관성이 다소 많았다.
5) 유해중금속(Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)과 영향인자를 평가한 결과 난방연료는 기름을 사용하는 곳이 가스나 전기를 사용하는 곳보다, 어린이가 있는 곳이 없는 곳보다, 주택과 대도로 사이의 거리는 10 m 미만인 곳이 이상인 곳보다, 주택연수는 10년 이상인 곳이 미만인 곳보다, 페인트칠을 한지 10년 미만인 곳이 이상인 곳보다 상대적으로 중금속을 많이 함유하고 있었다.
5) 축적먼지에 함유된 중금속농도가 일반주택의 환경요인에 따라 통계학적인 차이가 있는지를 검증하기 위한 Mann-Whithey U Test 결과, 먼지의 주성분이 섬유와 토양의 차이에서는 Cr, Ni, Pb, Zn이, 난방연료를 기름과 가스 · 전기를 사용지의 구분에서는 Ni과 Pb이, 실내에 전열기를 사용하는 지의 여부에 따라서는 Cr과 Ni이, 가정에 어린이의 유무에 따라서는 Cu가 유의수준 5%에서 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다.

KSEE

참고문헌

1. Maryland Pesticide Network, http://www.mdpestnet.org/resource/news/2007.htm, (2007).
2. Perry, R., and Gee, I. L., "Vehicle emissions and effects on air quality : indoors and outdoors," *Ind. Environ.*, **3**, 224~236 (1994).
3. 송희봉, 조찬래, 윤현숙, 박연준, 노기철, 최원기, 장성환, "실내공기오염 현황과 개선방안," 대구광역시보건환경연구원 환경관리기술지원사업 보고서, 127~145(2001).
4. 기상청 홈페이지 http://www.kma.go.kr/intro.html, 기후자료 (2009).
5. 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).
6. 백성옥, 송희봉, 신동찬, 홍성희, 장혁상, "대구지역 공중위생법 규제대상시설의 실내공기 중 입자상오염물질의 계절별 및 지점별 농도분포 특성," 한국대기보전학회지, **14**(3), 163~175 (1998).
7. Rahn, K. A., "Sources of trace elements in aerosols-an approach to clean air," Ph. D. Thesis, University of Michigan, Ann Arbor,

325(1971).

8. Taylor, S. R., and McLennan, S. M., "The Continental Crust : Its Composition and Evolution," Blackwell Sci. Cambridge. Mass. 46~47(1985).
9. Watson, J. G., "Transections receptor models in air resources management," An international specialty conference, San Francisco, California, 491(1988).
10. 송희봉, 이은영, 도화석, 정철수, 신동찬, 이명숙, 백윤경, 전성숙, 신원식, "대구지역 도로 먼지에 함유된 미량원소성분과 오염원 평가," 대한환경공학회지, **29**(7), 793~800 (2007).
11. 송희봉, 도화석, 이명숙, 신동찬, 윤호석, 곽진희, 정철수, 강재형, "대구지역 학교먼지에 함유된 미량원소성분 분석과 오염원 평가," 대한환경공학회지, **29**(12), 1390~1399 (2007).
12. 도화석, 송희봉, 신동찬, 곽진희, 이명숙, 윤호석, 강혜정, 피영규, "대구지역 지하철역사 공기여과필터 포집먼지에 함유된 중금속성분의 특성평가," 대한환경공학회지, **31**(1), 42~50 (2009).
13. 최진수, 황승만, 백성옥, "대구지역 대기 중 부유먼지에 함유된 화학성분의 입도별 분포 특성," 대한환경공학회지, **17**(12), 1245~1259(1995).
14. 최성우, 송형도, "대구지역 부유분진 중 미량금속성분의 발생원 특성연구," 한국대기환경경학회지, **16**(5), 469~476 (2000).
15. Ferreia-Baptista, L., and De, M. E., "Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola : A tropical urban environment," *Atmos. Environ.*, **39**(25), 4501~4512(2005).
16. Tong, S. T. Y., and Lam, K. C., "Home sweet home? A case study of household dust contamination in Hong Kong," *Sci. Total Environ.*, **256**, 115~123(2000).
17. 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).
18. Tong, S. T. Y., "Indoor and out door household dust contamination in Cincinnati, Ohio, USA," *Environ. Geochem. Health*, **20**, 123~133(1998).
19. Akhter, M. S., and Madany, I. M., "Heavy metal in street and household dust in Bahrain," *Water, Air, Soil Pollut.*, **66**, 111~119(1993).
20. Rasmussen, P. E., Subramanian, K. S., and Jessiiman, 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).
21. Adriano, D. C., "Trace Element in the Terrestrial Environment," Springer, New York, pp. 7~14(1986).
22. 환경부, 환경백서(2008).
23. 환경부, 토양환경보전법(2008).
24. 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. Geochemi. Exploration*, **64**, 409~419 (1998).
25. SPSS® Base 14.0 Applications Guide, SPSS(2006).