

# 공동주택 주차장의 축적먼지 중 미량원소성분 분석과 오염원 평가

## Trace element Analysis and Source Assessment of Apartment Parking Lot Dust in Daegu, Korea

배건호<sup>†</sup> · 정철수 · 박규태 · 이명숙 · 신동찬 · 김용혜 · 윤민혜 · 한영진 · 최 혁 · 백성옥<sup>\*</sup>  
Gun-Ho Bae<sup>†</sup> · Cheol-Su Jung · Kyu-Tae Park · Myoung-Sook Lee · Dong-Chan Shin  
Yong-Hye Kim · Min-Hye Yoon · Young Jin Han · Hyuek Choi · Sung-Ok Baek<sup>\*</sup>

대구광역시보건환경연구원 · \*영남대학교 환경공학과  
Public Health and Environment Institute of Daegu Metropolitan City  
\*Department of Environmental Engineering, Yeungnam University

(2011년 6월 1일 접수, 2011년 10월 26일 채택)

**Abstract :** In order to investigate the degree of apartment parking lot dust contamination, total 72 samples of parking lot dust (36 from ground parking lots and 36 from the underground parking lots) were collected in Daegu city from the end of March to the early June 2010. The dust samples were sieved below 100  $\mu\text{m}$ , and analysed by ICP for 14 elements after an acid extraction. Results obtained from the source assessment of trace element using enrichment factor showed that 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 in both the ground parking lot and the underground parking lot. And results showed that Ca were influenced by natural sources in the ground parking lot, but influenced by anthropogenic sources in the underground parking lot. The measured values were remarkably higher in components from natural sources than in components from anthropogenic sources. Underground parking lot dust was more affected by anthropogenic sources and contaminated compared with the ground parking lot dust. Pollution index of heavy metals revealed that underground parking lot dust was 5.5 times more contaminated with heavy metal components than the ground parking lot dust. The results of correlation analysis among trace elements indicated that components in the ground parking lot were more correlated than those in the underground parking lot, and especially more correlated with natural sources-natural sources. Analysis for correlations between components and influencing factors in the underground parking lot showed that concentrations of heavy metals were higher with smaller number of parking spaces and no ventilation system, and older apartments in last paint and cleaning had relatively higher contents of heavy metals than those of recently painted and cleaned.

**Key Words :** Parking Lot Dust, Trace Element, Enrichment Factor, Pollution Index

**요약 :** 공동주택 주차장의 먼지오염실태를 연구하기 위하여 2010년 3월말에서 6월초까지 대구지역 공동주택 36곳의 지상주차장(36지점)과 지하주차장(36지점)을 대상으로 채취한 총 72개의 시료를 100  $\mu\text{m}$  이하로 체거름하고 산추출한 후 ICP로 14개 원소를 분석하였다. 농축계수를 이용한 미량원소성분의 발생원 평가결과는 지상주차장과 지하주차장 모두 Fe, K, Mg, Mn, Na, V의 성분은 자연적인 발생원에 의한 영향을 받고 있는 반면에 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn의 성분은 인위적인 발생원에 의한 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 한편 Ca은 지상주차장의 경우에는 자연적인 발생원의 영향을 받았고, 지하주차장의 경우에는 인위적인 발생원의 영향을 받은 것으로 나타났다. 미량원소성분의 농도분석 결과는 자연적인 발생원과 관련된 성분이 인위적인 발생원과 관련된 성분보다 매우 높은 농도를 보였다. 인위적인 발생원성분의 기여도는 지하주차장이 지상주차장보다 높았으며, 미량원소성분의 평균농도 또한 지하주차장이 지상주차장보다 높았다. 오염지수를 이용한 중금속성분의 오염도를 평가한 결과는 지하주차장이 지상주차장보다 5.5배정도 높게 오염된 것으로 나타났다. 미량원소성분간의 상관성 분석결과는 지상주차장이 지하주차장에 비해 유의한 상관성을 나타내는 항목이 많았으며, 특히 자연적 발생원 성분간 유의한 상관성이 더욱 크게 나타났다. 또한 유해 중금속성분과 지하주차장의 영향인자간의 상관성을 분석한 결과는 주차대수(공간)가 적은 지점이 큰 지점보다, 환기장치를 가동하지 않은 지점이 가동한 지점보다, 그리고 최근 도색년도와 청소일이 오래된 지점이 상대적으로 유해 중금속을 많이 함유하고 있었다.

**주제어 :** 주차장먼지, 미량원소성분, 농축계수, 오염지수

## 1. 서론

실내공기오염은 실내공간의 오염원뿐만 아니라 실내공간(주택, 학교, 사무실, 공공건물, 병원 지하시설물, 교통수단 등)의 구조·형태 등 매우 복합적인 원인들에 의해서 야기될 수 있으며, 그 영향은 실내거주자들의 건강에 큰 영향을

미치고 있다.

특히, 먼지 중에는 인체에 유해한 중금속성분이 많이 함유되어 있으며 이들 독성물질(예를 들면 Cd, Cr<sup>+6</sup>, Ni 등 발암물질)은 입이나 코를 통해 기관지를 거쳐 인체 내에 흡입되면 심장병 또는 폐질환, 진폐증, 천식 등의 만성질환을 일으키고, 특히 호흡기질환을 앓고 있는 어린이나 노약자에게 더

욱 심각한 피해를 입힐 수 있다.<sup>1)</sup>

지하주차장의 경우 사람이 지속적으로 상주하는 것은 아니지만 자동차 배출가스라는 확실한 오염원이 존재하고 있으며 타이어의 마모와 건물 노후에 따른 페인트와 같은 도색물질의 노출 등이 인체에 직·간접적으로 영향을 미칠 것으로 판단되며 특히, 오래된 건물의 경우 특별한 환기시설이 없어 외부공기의 유·출입 제한으로 인한 오염물질의 축적률은 매우 클 것으로 사료된다.

자동차에 의해 발생하는 대기오염물질로는 연료인 휘발유, 경유 및 LPG 등 탄소화합물의 불완전 연소시 발생하는 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 입자상물질(PM)과 질소산화물(NOx), 아황산가스(SOx), 카르보닐화합물 등이 있으며, 이들 오염물질 중 HC는 휘발성유기화합물류(VOCs)를, 그리고 입자상오염물질(PM) 등은 다환방향족탄화수소류(PAHs), 탄소원소 등을 포함하고 있다.<sup>2)</sup>

또한 자동차의 성능을 향상시키거나 자동차 배출물질을 저감시키기 위해 사용되는 각종 연료 첨가제의 경우 과거 유연휘발유에 포함되어 노킹 방지제로 사용되었던 납(예: 4에틸납)을 비롯하여 망간, 아연 등 각종 중금속을 함유하고 있어 배출시 오염물질의 독성 및 환경에 미치는 영향이 매우 클 것으로 판단된다.<sup>3)</sup>

본 논문에서는 대구광역시의 공동주택을 대상으로 지역별로 도시와 농촌으로 구분하여 지상주차장과 지하주차장의 바닥에 축적된 먼지를 각각 채취하여 분석하였으며, 미량원소성분의 원자료(Raw data)를 바탕으로 산출한 농축계수를 통해 지상 및 지하주차장에 함유된 미량원소성분의 발생원을 규명하고, 미량원소성분의 농도분포 특성을 파악하였으며, 오염지수를 이용한 대구지역의 유해 중금속 오염도의 평가 및 미량원소성분간의 상관성을 분석하였다. 또한 지하주차장의 경우 주택연수, 주차대수, 환기시설, 도색년도, 최근 청소시기 및 청소횟수 등 환경적 요인이 실내먼지오염에 미치는 영향도 함께 분석하였으며, 이들 환경적인 요인과 축적먼지에 함유된 중금속성분간의 유의성도 분석하였다.

본 연구결과는 앞으로 국내의 지상 및 지하주차장먼지 연구자들에게 충분히 참고자료(특히, 대구지역의 지역배경농도)로 활용될 수 있을 것으로 기대되며 환경정책당국의 지역 대기질 환경개선을 위한 기초 자료로서도 활용가치가 높을 것으로 사료된다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 채취지점 및 기간

시료채취지점은 대구광역시에 위치한 공동주택(아파트) 36 곳을 대상으로 지상주차장(36지점)과 지하주차장(36지점)을 각각 채취지점(총 72지점)으로 하였다(Fig. 1). 또한 이들 총 36곳의 공동주택을 도시지역(18곳)과 농촌지역(18곳)으로 구분하여 지상주차장과 지하주차장에서 각각 시료를 채취하였다. 여기서 지역구분은 대구시내의 대규모 공단, 자동차 통행

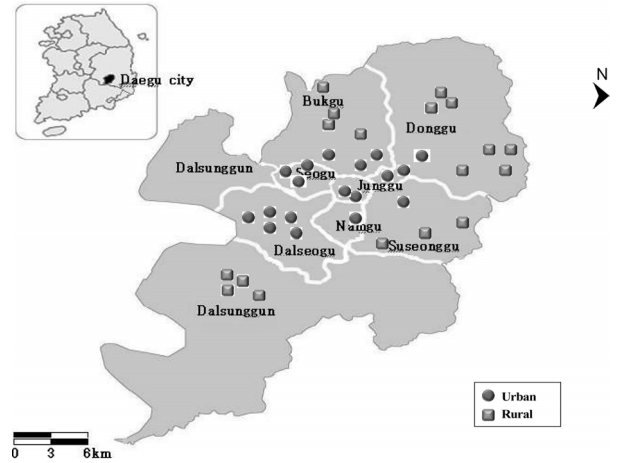


Fig. 1. Location of sampling sites in Daegu city.

과 상가건물, 주택과 아파트 등이 밀집한 곳을 도시(Urban)로, 도심 밀집지역에서 벗어난 시 외곽의 논과 밭, 임야 등의 녹지지역과 인접한 곳을 농촌(Rural)으로 보았다. 지하주차장의 경우 에폭시 도장이 되어 있지 않는 경우에는 채취지점 선정에서 제외하였으며 지상주차장의 경우에는 시멘트, 아스팔트, 보도블럭 등 다양한 지점들이 포함되었다. 영향인자를 분석하기 위한 기초 자료는 2008년 대구광역시 주택통계연감<sup>4)</sup>의 공동주택(아파트)단지현황을 참고하였으며, 자료의 정확도를 높이기 위해 종합적인 설문지를 통한 설문조사를 시료채취와 동시에 현장에서 실시하였다. 그 내용은 주택연수, 주차대수, 환기장치 가동유무, 최근 도색년도, 최근 청소일 및 청소횟수 등으로 Table 1과 같고, 이 자료는 공동주택 지하주차장의 환경적인 영향인자가 유해중금속 농도에 미치는 영향을 파악하는데 활용하였다.

총 72지점의 먼지시료는 봄철인 2010년 3월 25일부터 6월 4일까지 약 70여일의 기간 중 총 15일간 교통량의 변화가 휴일에 비해 적을 것으로 예상되는 평일에 채취하였다. 또한 시료채취당일의 날씨는 모두 비교적 맑고 건조한 상태(평균 기온: 16.2°C, 평균습도: 48.5%, 주풍향: 서북서~서풍, 평균 풍속: 2.3 m/sec, 강수량: 무강수)에서 이루어졌다.<sup>5)</sup>

### 2.2. 시료채취 및 분석

지상 및 지하주차장에 축적된 먼지시료는 플라스틱 쓰레기받기와 브러시를 이용하여 채취하였다. 지상주차장의 경우는 시멘트, 아스팔트, 보도블럭 위에 축적된 먼지를 채취하였으며 지하주차장의 경우는 에폭시 도장된 주차장 바닥과 기둥 주변 및 벽면 아래, 그리고 배수로 주변에 축적된 먼지를 채취하였다. 이렇게 여러 지점에서 무작위로 채취한 부분시료는 모아서 하나의 시료로 만든 다음 폴리에틸렌 백에 담아 밀봉한 후 실험실로 운반하였다. 이들 시료를 실온에서 2주일 동안 건조시킨 후 표준망체(Standard Testing Sieve, Aperture 100 μm, 한국청계상공사)를 이용하여 100 μm 이하로 분리해 분석용 시료로 하였으며, 수분함량은 실온에서 충분히 건조시켜 분석농도에는 보정하지 않았다. 시료분석은 시료를 전자식저울(Electronic Balance, Galaxy 200 D, Ohaus,

**Table 1.** Identification of sampling sites (Underground parking lots) in Daegu city

Sites (Urban)	Building year	Parking number	Ventilating system	Last paint	Last cleaning	Cleaning cycle (/year)	Sites (Rural)	Building year	Parking number	Ventilating system	Last paint	Last cleaning	Cleaning cycle (/year)
# 1	1996	114	Natural	2008	2010. 4	1	# 1	1997	78	Natural	2005	2009. 9	1
# 2	1995	46	Natural	2002	2009. 8	1	# 2	1995	130	Natural	2004	2009.10	2
# 3	1996	62	Natural	2006	2009.10	2	# 3	1995	128	Natural	2002	2010. 5	2
# 4	1994	69	Natural	2006	2009. 9	1	# 4	1994	75	Natural	2005	2009. 8	1
# 5	1997	137	Natural	2003	2010. 1	1	# 5	1996	52	Natural	1996	2010. 4	12
# 6	1993	79	Natural	2009	2009. 2	2	# 6	1992	35	Natural	2007	2009. 6	1
# 7	1995	84	Natural	1995	2010. 4	2	# 7	1995	70	Natural	2001	2009. 8	1
# 8	1999	59	Natural	2008	2009.10	2	# 8	1999	120	Natural	2009	2010. 4	2
# 9	2005	120	Forced	2005	2010. 3	2	# 9	1995	113	Natural	2003	2009. 9	2
# 10	2006	96	Forced	2006	2010. 2	4	# 10	1995	114	Natural	2002	2010. 4	1
# 11	2004	132	Forced	2004	2009.10	1	# 11	2004	63	Forced	2004	2010. 3	4
# 12	2002	91	Natural	2002	2009. 6	1	# 12	2003	124	Forced	2003	2009.11	1
# 13	2003	64	Natural	2003	2009. 9	1	# 13	2007	169	Forced	2007	2009.10	1
# 14	2005	220	Forced	2005	2010. 3	2	# 14	2004	67	Natural	2004	2009. 9	1
# 15	2006	218	Forced	2006	2010. 2	2	# 15	2005	79	Forced	2005	2010. 3	2
# 16	2003	65	Forced	2003	2010. 3	2	# 16	2001	65	Natural	2001	2008. 5	1
# 17	2005	90	Forced	2005	2010. 4	12	# 17	2003	220	Forced	2003	2009. 5	1
# 18	2002	41	Forced	2007	2009. 9	1	# 18	2001	108	Forced	2001	2009. 5	1

Germany)로 정확히 1.0 g씩을 취해 테프론 비이커에 담고, 여기에 2 : 2 : 2 HCl-HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O의 혼합용액(HCl과 HNO<sub>3</sub>는 일본 Junsei사의 유해금속측정용, H<sub>2</sub>O는 미국 Burdick & Jackson사의 크로마토그래피용) 6 ml씩을 넣어 초음파추출기(Ultrasonic Extractor, Transsonic 890/H, Elma, Germany)로 95 °C에서 2시간 동안 shaking해서 중금속을 추출하였다.

추출된 용액을 메스플라스크에 멤브레인필터(Filter paper, Toyo 5 A, Japan)로 여과하여 탈이온수인 증류수를 넣어 최종액량이 정확히 25 ml가 되도록 하여 기기분석용 시료로 만들었다.<sup>6)</sup>

전처리가 끝난 시료는 미량원소성분(Trace elements)의 측정을 위해서 유도결합플라즈마방출분광광도계(Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer, ICP-OES Optima 4300 DV, Perkin Elmer, USA)를 이용하여 총 14개 항목(Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, V, Zn)에 대하여 분석하였다.

### 2.3. 자료처리

총 72개의 시료에 대해 ICP로 분석한 총 14개 원소의 농도는 각 원소별로 모두 검출한계 이상으로 나타났다. 또한 시료 분석방법인 염산-질산 추출법에 의한 미량원소성분의 농도자료에 대한 신뢰성 검증은 미국 국립표준시험연구소(National Institute of Standard and Technology, NIST)의 표준참조물질(Standard Reference Material, 이하 SRM)인 SRM 1648 (Urban particulate matter standard)을 이용하여 실제시료와 동일한 방법으로 회수율 실험(Recovery Test)을 실시하였다. 그 결과, 유해성이 높은 Cu, Pb, Zn 등의 원소들은 회수율이 88.8~94.5%(상대표준편차 0.12~0.61%) 수준으로 높게 나타난 반면에 유해성이 낮은 Al, Fe, K 등의 원소들의 회수율

은 25.9~79.2%(상대표준편차 0.40~1.74%)로 상대적으로 낮게 나타났다. 이와 같은 회수율은 백성욱 등<sup>7)</sup>이 연구한 대구지역 공중시설의 실내공기 중 입자상물질의 농도평가에서의 회수율 평가결과와 비슷한 결과를 보였다.

그러나 본 논문에서는 미량원소성분의 농도계산에 있어서 회수율을 특별히 보정하지 않고 통계·처리하였다. 왜냐하면 표준참조물질(SRM)은 도시대기의 부유먼지이지만 본 논문의 실제시료는 주차장바닥에 축적된 먼지로서 그 성상이 서로 상이하다고 보았기 때문이다. 또한 낮은 회수율을 보이는 Al을 기준으로 농축계수(Enrichment Factor)를 계산할 때, 회수율을 보정해서 비교했을 때와 보정하지 않았을 때의 경향이 동일하게 나왔기 때문이다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 주차장먼지에 함유된 미량원소성분의 발생원 평가

주차장먼지에 함유된 미량원소성분의 발생원 평가는 Rahn<sup>8)</sup>에 의해 제안된 농축계수를 이용하였다. 지각물질의 원소조성과 주차장먼지의 원소조성을 비교해 자연적인 발생원의 영향을 받는 성분인지 혹은 인위적인 발생원의 영향을 받는 성분인지를 추정하기 위해 지각물질 중에서도 비교적 균일하고 다량으로 함유되어 있는 Al을 기준원소로 선정하였다. 지각물질의 원소조성은 Taylor와 McLennan<sup>9)</sup>이 제시한 지각성분표를 이용하였다. 이때 지각원소성분의 농도는 Al 80,400 µg/g, Ca 30,000 µg/g, Cd 0.098 µg/g, Cr 35 µg/g, Cu 25 µg/g, Fe 35,000 µg/g, K 28,000 µg/g, Mg 13,300 µg/g, Mn 600 µg/g, Na 28,900 µg/g, Ni 20 µg/g, Pb 20 µg/g, V 60 µg/g

그리고 Zn 71 µg/g이었다. 농축계수(Enrichment Factor, E.F)는 다음과 같은 식으로부터 계산하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

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

위 식으로부터 산출된 농축계수가 10 이하인 값을 나타내면 일반적으로 자연적인 발생원(예 : 지각물질의 조성의 변화와 연계)의 영향으로 간주하고, 10 이상일 경우는 인위적인 발생원(예 : 인간의 활동 및 자동차에 의한 영향)의 영향으로 간주하였다.<sup>10,11)</sup>

산출된 결과를 보면 지상 및 지하주차장의 농축계수는 공통적으로 Fe, K, Mg, Mn, Na, V의 성분이 10 이하인 값을 보여 암석의 풍화, 토양의 재비산 등 자연적인 발생원에 의한 영향을 받고 있는 것으로 추정되었다. 반면에 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn의 성분은 10 이상인 값을 보여 차량의 이동·주차 등에 따른 연료유, 연소, 타이어의 마모 그리고 건물의 페인트 및 도색물질 등과 관련된 인위적인 발생원의 영향을 받고 있는 것으로 추정되었다. 이는 AI을 기준원으로 최진수 등<sup>12)</sup>과 최성우 등<sup>13)</sup>이 연구한 대구지역 부유먼지에 함유된 원소성분의 발생원 평가에서의 결과와도 동일한 경향을 보였다.

한편, 토양에서 주로 배출되는 것으로 알려져 있는 Ca은 지상주차장에서는 10 이하의 값을 보였으나 지하주차장의 경우는 10 이상의 값을 보여 지상주차장에서는 자연적인 발생원의 영향을 받고 지하주차장에서는 인위적인 발생원의 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 지하주차장이라는 특정한 공간에서 콘크리트 또는 시멘트(주성분 : CaCO<sub>3</sub>)로 된 벽체의 마모 등의 인위적인 기여가 컸을 것으로 사료된다. 이는 송희봉 등<sup>14)</sup>이 연구한 대구지역 학교먼지에 함유된 미량원소성분 분석과 오염원 평가에서 나타난 결과와도 동일하였다.

또한, 석유류의 연료연소와 관련이 높은 V의 경우에는 인위적인 발생원과 관련 있을 것으로 생각했는데 예상과는 달

리 농축계수가 5 이하의 값을 보여 자연적인 발생원과 관련 있는 성분으로 추정할 수 있었다. 이러한 결과가 대구지역만의 경향인지는 앞으로 그 원인을 파악하기 위한 지속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

그리고 지상주차장과 지하주차장의 농축계수를 보면 인위적인 발생원 성분의 경우 지하주차장이 지상주차장의 경우보다 높게 나타나 오염이 좀더 심한 상태임을 알 수 있었다. 이상의 결과로 지하주차장은 지상주차장의 경우와 달리 제대로 환기가 이루어지지 않는 밀폐된 실내공간으로서 중금속의 농축이 용이하기 때문에 이에 대한 대책이 필요하다고 본다. 즉 주기적인 환기, 청소, 시설개선 등을 통해 중금속오염으로부터 피해를 줄일 수 있도록 노력을 기울여야 한다는 점이다.

그러나, 도시지역과 농촌지역의 농축계수를 보면 지상주차장과 지하주차장 모두 자연적인 발생원 성분뿐만 아니라 인위적인 발생원 성분에서도 큰 차이가 없게 나타났는데 이는 주요오염원이 다른 영향보다는 차량의 연소로 인해 기인한다는 점을 말해주는 결과로 인식된다.

### 3.2. 주차장먼지에 함유된 미량원소성분의 농도분포

#### 3.2.1. 미량원소성분의 분석결과 요약

주차장먼지에 함유된 각 미량원소성분의 분석결과는 Table 3에 요약하였다. 미량원소성분의 평균농도범위는 지상주차장과 지하주차장 모두 자연적인 발생원 성분이 인위적인 발생원 성분보다 높은 농도를 보였다. 즉, 자연적인 발생원에서 유래하는 성분(Al, Ca, Fe, K, Mg 등)은 수천 µg/g 혹은 수만 µg/g수준의 높은 농도를 보인 반면 인위적인 발생원에서 유래하는 성분(Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn 등)은 수 µg/g에서 수백 µg/g 수준의 낮은 농도를 보였다.

이들 미량원소성분의 조성을 보면 지상주차장의 경우에는 자연적인 발생원 성분과 인위적인 발생원 성분이 각각 98.5% (78,013.1 µg/g)와 1.5% (1,174.9 µg/g)를 함유하였고, 지하주차장의 경우는 자연적인 발생원 성분과 인위적인 발생원 성

Table 2. Enrichment factors of trace elements in the parking lot dust

Element	Ground parking lot			Underground parking lot		
	Urban (n=18)	Rural (n=18)	Total mean (n=36)	Urban (n=18)	Rural (n=18)	Total mean (n=36)
Al	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Ca	5.8	5.0	5.4	15.5	18.3	16.8
Cd	55.8	62.2	58.8	78.4	66.4	72.6
Cr	13.6	13.5	13.5	26.0	27.0	26.5
Cu	47.4	38.0	43.0	63.8	59.3	61.6
Fe	5.2	5.2	5.2	5.1	5.4	5.3
K	0.5	0.5	0.5	1.5	1.6	1.6
Mg	4.8	4.5	4.6	3.4	3.5	3.5
Mn	6.2	6.6	6.4	4.8	5.6	5.2
Na	0.1	0.1	0.1	0.7	0.7	0.7
Ni	11.5	11.2	11.4	14.1	14.4	14.2
Pb	42.4	51.5	46.7	115.6	135.2	125.1
V	3.2	3.4	3.3	2.7	2.6	2.7
Zn	72.7	64.9	69.0	672.9	403.8	542.2

**Table 3.** Analytical result of trace elements ( $\mu\text{g/g}$ ) in the parking lot dust (n=72)

Element	Ground parking lot (n=36)						Underground parking lot (n=36)					
	Mean	Median	S.D. <sup>a)</sup>	C.V. <sup>b)</sup>	Min	Max	Mean	Median	S.D. <sup>a)</sup>	C.V. <sup>b)</sup>	Min	Max
Al	12,405	12,290	1,901	0.15	8,356	17,020	14,126	13,610	2,188	0.15	10,540	20,680
Ca	25,017	25,540	7,578	0.30	11,310	40,590	88,664	81,890	40,762	0.46	37,880	183,600
Cd	0.9	1.0	0.4	0.45	0.0	2.0	1.3	1.0	1.2	0.94	0.0	6.0
Cr	73	71	19	0.26	29	106	163	116	98	0.60	61	463
Cu	166	153	72	0.43	62	424	271	224	228	0.84	70	1226
Fe	28,006	27,885	5,399	0.19	21,060	54,640	32,439	32,375	6,309	0.19	18,990	48,100
K	2,156	2,018	606	0.28	1,268	3,860	7,640	7,091	2,808	0.37	3,323	14,010
Mg	9,531	9,250	1,978	0.21	6,417	15,240	8,139	7,902	1,610	0.20	5,874	14,450
Mn	592	578	95	0.16	390	819	550	521	180	0.33	388	1,495
Na	276	236	119	0.43	152	793	3,392	3,019	1,756	0.52	829	8,841
Ni	35	35	8	0.23	16	57	50	40	34	0.68	23	176
Pb	144	122	62	0.43	56	323	440	225	449	1.02	78	1,888
V	30	30	6	0.20	21	56	28	27	7	0.26	16	50
Zn	756	717	251	0.33	402	1,811	6,763	3,789	10,104	1.49	612	53,530

<sup>a)</sup>Standard Deviation, <sup>b)</sup>Coefficient of Variation (= Standard Deviation/Mean)

분이 각각 95.3% (15,4978.4  $\mu\text{g/g}$ )와 4.7% (7,687.6  $\mu\text{g/g}$ )로 지하주차장이 지상주차장에 비해 인위적인 발생원의 성분을 더 많이 함유하고 있음을 알 수 있었다(비교를 위해 Ca를 자연적인 발생원성분으로 간주함). 이러한 결과는 Table 2에서 설명한 바와 같이 지하주차장이 지상주차장보다 인위적인 발생원의 영향을 많이 받는다는 사실에서도 어느 정도 확인할 수 있다. 따라서 대구지역의 주차장먼지 중 미량원소성분의 농도는 인위적인 발생원과 관련된 성분보다 자연적인 발생원과 관련된 성분들이 상대적으로 고농도를 나타내는 것으로 조사되었으며, 지하주차장이 지상주차장보다 인위적인 발생원의 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있었다.

지상주차장과 지하주차장의 전체평균농도 역시 대체적으로 지하주차장이 지상주차장에 비해 2.0배 이상(Ca 3.5배, Cr 2.2배, K 3.5배, Na 12.3배, Pb 3.1배, Zn 8.9배)으로 뚜렷하

게 높은 농도를 보였다. 이는 지상주차장의 경우엔 차량에서 배출된 오염물질이 주변의 바람 등을 통해 이동하기도 하고 주변 자연 상태의 토양 및 흙 등의 먼지와 섞여 희석되는 효과가 있지만 지하주차장의 경우엔 외부로부터 유입된 먼지와 차량에서 배출된 오염물질 그리고 건물에서 발생하는 페인트 및 도색관련 물질 등이 외부로 배출이 용이하지 않아 다량 축적된 결과로 사료된다. 그리고 일부 성분(Al, Cd, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, V)은 농도비(지하주차장/지상주차장)가 1.0배 전후(0.9~1.6배)로 큰 차이를 보이지 않았다.

### 3.2.2. 지역별 미량원소성분의 농도분포

본 논문에서는 미량원소성분의 지역별 농도분포 특성을 파악하기 위해서 지상 및 지하주차장의 측정지점을 도시와 농촌지역으로 구분하여 분석하였으며, 그 결과는 Table 4와 같

**Table 4.** Regional mean concentration of trace elements ( $\mu\text{g/g}$ ) in the parking lot dust

Element	Ground parking lot				Underground parking lot			
	Urban (n=18)		Rural (n=18)		Urban (n=18)		Rural (n=18)	
Al	13,076	± 1,988	11,734	± 1,593	14,525	± 1,878	13,728	± 2,449
Ca	28,355	± 6,921	21,679	± 6,836	83,808	± 37,299	93,519	± 44,492
Cd	0.9	± 0.5	0.9	± 0.3	1.4	± 1.5	1.1	± 0.7
Cr	78	± 15	69	± 21	164	± 106	161	± 212
Cu	193	± 89	139	± 35	288	± 248	253	± 93
Fe	29,648	± 6,461	26,363	± 3,542	32,524	± 5,592	32,353	± 7,117
K	2,434	± 697	1,879	± 329	7,546	± 2,262	7,734	± 3,331
Mg	10,362	± 2,028	8,700	± 1,573	8,254	± 1,157	8,025	± 1,993
Mn	610	± 86	575	± 103	524	± 81	577	± 243
Na	324	± 141	228	± 65	3,503	± 1,637	3,282	± 1,908
Ni	38	± 8	33	± 8	51	± 27	49	± 40
Pb	138	± 61	150	± 64	418	± 474	462	± 436
V	31	± 5	30	± 7	29	± 9	27	± 6
Zn	839	± 297	672	± 164	8,631	± 13,553	4,896	± 4,374

다. 결과를 보면 도시지역과 농촌지역의 전체 평균농도에 있어서 도시지역이 농촌지역에 비해 2배 이상으로 뚜렷하게 차이를 보인 성분은 거의 없었다. 특히, 지상주차장의 경우는 모든 성분의 농도비(도시/농촌)가 1.0배 전후(0.9~1.4배)로 도시지역이 약간 높기는 하지만 지역간에 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 지하주차장의 경우도 Zn (1.8배)을 제외한 모든 항목에서 1.0배 전후(0.9~1.3배)로 도시와 농촌 간 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 주차장의 경우 외부 오염원의 유입보다는 차량의 출입에 따른 배출오염물질과 타이어의 마모 등 차량의 운행과 관련된 오염물질이 주요 오염원임을 다시 한번 확인 시켜주는 결과로 사료된다.

**3.2.3. 대구지역 도로먼지와 미량원소성분 농도비교**

미량원소성분의 농도 결정은 시료처리방법, 분석용 시료의 입자크기, 시료추출과정 그리고 배출원의 특성과 강도 등 복잡한 요인에 의해 그 결과가 서로 다르게 나타날 수도 있기 때문에 비록 다른 연구결과와 직접적인 비교는 어렵지만 간접적으로 비교해 볼 가치는 충분하다. Table 5에 나타난 연구결과는 차량에 의한 오염이 주 원인이라 사료되는 본 논문의 주차장 먼지와 도로먼지<sup>3)</sup>를 비교한 결과로 대체적으로 지상주차장의 먼지보다는 도로먼지가, 도로먼지보다는 지하주차장의 먼지가 오염도가 높은 것으로 나타났다.

지상주차장의 경우는 5개 항목(0.7~1.0배 : Al 0.8, K 0.8, Mg 0.7, Mn 0.9 Zn 1.0)을 제외하고는 도로먼지가 지상주차장의 먼지보다 높은 수치(1.1~9.4배 : Ca 1.3, Cd 9.4, Cr 2.2, Cu 2.0, Fe 1.6, Na 1.3, Ni 2.3, Pb 1.1, V 1.1)를 나타냈다. 그리고 지하주차장의 경우엔 9개 항목(1.0~9.3배 : Al 1.4, Ca 2.8, Cr 1.0, K 4.3, Mg 1.2, Mn 1.0, Na 9.3, Pb 2.9, Zn 9.3)에서 도로먼지보다 높은 수치를 나타냈다.

이러한 결과는 매우 복합적인 원인에 의한 것으로 사료되어 지는데 도로먼지와 지상주차장의 경우는 차량의 이동량에 의한 영향이 매우 클 것으로 판단되며, 지하주차장의 경우

는 차량의 이동 뿐만 아니라 공간적 제약이 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. Ca을 예로 들면 지하주차장의 경우 가장 높은 수치를 나타내었는데 이는 벽면 시멘트/콘크리트의 마모 등 인위적인 배출원의 영향으로 사료되며, Zn의 경우도 벽면 페인트 및 타이어의 마모 등과 함께 지하주차장의 공간적 제약으로 인해 높은 수치를 나타냈을 것으로 판단된다. 또한, 자동차연료 첨가제와 관련된 오염원인 Pb의 경우도 지하주차장이 도로먼지에 비해 약 3배정도 높게 나타났다. 한편, Cd은 지상주차장과 지하주차장 모두 도로먼지에 비해 매우 낮은 수치를 나타냈는데 이는 도로먼지의 경우 시료채취 지점이 교차로인 점으로 미루어 볼 때 차량의 급정거와 출발로 인한 배출가스의 다량 배출이 오염도를 더욱 가중시켰을 것으로 판단되며, 주차장의 경우 주기적인 청소의 영향으로 낮은 수치를 나타낸 것으로 판단된다.

**3.3. 주차장먼지에 함유된 중금속성분의 오염도 평가**

주차장먼지에 함유된 유해중금속 성분의 오염도를 평가하기 위해 우리나라 환경부<sup>15)</sup>에서 제시한 토양오염우려기준과 토양오염대책기준을 적용하여 오염지수(Pollution Index, PI)를 추정해 보았다. 주차장의 경우 3지역(「지적법」에 따른 지목이 공장용지·주차장·주유소용지·도로·철도용지·제방·잡종지(2지역에 해당하는 부지 외의 모든 잡종지를 말한다)인 지역과 「국방·군사시설 사업에 관한 법률」 제2조제1항제1호부터 제5호까지에서 규정한 국방·군사시설부지)에 해당되며, 이때 토양오염우려기준(A)은 Cd 60 µg/g, Cu 2,000 µg/g, Pb 700 µg/g, Zn 2,000 µg/g, Ni 500 µg/g이었고, 토양오염대책기준(B)은 Cd 180 µg/g, Cu 6,000 µg/g, Pb 2,100 µg/g, Zn 5,000 µg/g, Ni 1,500 µg/g이었다. 이 경우 오염지수가 1.0 이하인 값을 나타내면 중금속으로부터 오염되지 않은 지역으로, 1.0 이상인 값을 나타내면 중금속으로부터 오염된 지역으로 간주하였다. 오염지수(Pollution Index, P.I)<sup>16)</sup>는 다음과 같이 계산한다.

**Table 5.** Comparison with mean concentrations of trace elements (µg/g) in street dust, Daegu city

Element	This Study		Song et al <sup>3)</sup>
	Ground parking lot (n=36)	Underground parking lot (n=36)	Street (n=48)
Al	12,405	14,126	
Ca	25,017	88,664	31,518
Cd	0.9	1.3	8.5
Cr	73	163	159
Cu	166	271	329
Fe	28,006	32,439	43,922
K	2,156	7,640	1,759
Mg	9,531	8,139	7,070
Mn	592	550	550
Na	276	3,392	364
Ni	35	50	82
Pb	144	440	152
V	30	28	34
Zn	756	6,763	725

오염지수(Pollution Index) =

$$\frac{\text{Cd함량}}{\text{A(B)}} + \frac{\text{Cu함량}}{\text{A(B)}} + \frac{\text{Ni함량}}{\text{A(B)}} + \frac{\text{Pb함량}}{\text{A(B)}} + \frac{\text{Zn함량}}{\text{A(B)}}$$

5

각 지역별 주차장먼지에 함유된 중금속 성분의 오염지수를 계산한 결과를 Table 6과 Table 7에 요약하였다. 그 결과 사람의 건강·재산이나 동식물의 생육에 지장을 초래할 우려가 있는 “토양오염우려기준”을 적용할 경우, 지상주차장의 경우는 총 36지점 중 36지점 모두 오염지수 1.0을 초과하지 않았으나, 지하주차장의 경우는 도시지역 5지점(28%)과 농촌지역 4지점(22%)인 총 9지점(25%)이 오염지수 1.0을 초과하였다. 평균오염지수를 비교해 본 결과 지하주차장이 0.33으로 지상주차장 0.06에 비해 높은 값(5.5배)을 나타내었고, 지역별로 지상주차장의 경우는 도시지역 0.06, 농촌지역 0.05로 큰 차이가 없었으나 지하주차장의 경우는 도시지역이 0.40으로 농촌지역 0.26에 비해 높게 나타났다. 또한 우려기준을 초과하여 사람의 건강 및 재산과 동식물의 생육에 지장을 주어서 토양오염에 대한 대책이 필요로 하는 “토양오염대책기준”을 적용할 경우, 지상주차장의 경우는 총 36지점 중 36지점 모두 오염지수 1.0을 초과하지 않았다. 그러나 지하주차장의 경우는 농촌지역은 18지점 모두 오염지수 1.0을 초과하지 않았지만 도시지역은 3지점(17%)이 오염지수 1.0을 초과하였다. 평균오염지수를 비교해 본 결과 지하주차장이 0.85로 지상주차장 0.15에 비해 높은 값(5.7배)을 나타내었고, 지역별로 지상주차장의 경우는 도시지역 0.16, 농촌지역 0.14로 큰 차이가 없었으나 지하주차장의 경우는 도시지역이 1.04로 농촌지역 0.67에 비해 높게 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 지하주차장이 지상주차장에 비해 중금속이 상당히 오염되어 있음을 알 수 있었다. 한편 지상주

차장의 경우는 도시지역과 농촌지역간에 오염도의 차이가 크지 않았으나 지하주차장의 경우는 도시지역이 농촌지역에 비해 평균오염지수가 더 높음을 알 수 있었고 일부 지점(3지점)은 “토양오염대책기준”을 적용할 경우에 오염지수 1.0을 초과한 것으로 보아 매우 오염이 심한 상태를 알 수 있었다. 그러나 대구지역 전체로 보면 총 36개 지하주차장 중 75%에 해당하는 27개 지점이 “토양오염우려기준”을 적용할 경우 오염지수 1.0을 초과하지 않았고, “토양오염대책기준”을 적용할 경우 오염지수 1.0을 초과한 지역도 총 36개 지하주차장 중 8%인 3개 지점에 불과하였다. 또한 지상주차장의 경우는 오염지수 1.0을 초과한 지점이 한 지점도 없었다. 그러므로 대구지역의 공동주택 주차장의 경우 지하주차장 일부 지점을 제외하고는 중금속오염으로부터 우려할 만한 수준은 아니라는 것을 알 수 있었다.

### 3.4. 주차장먼지에 함유된 미량원소성분의 상관성 분석

#### 3.4.1. 미량원소성분간의 상관관계

공동주택 주차장에 함유된 미량원소성분들과의 유의한 양의 상관성을 분석한 결과는 Table 8 및 Table 9와 같다. 지상주차장의 경우에는 자연적인 발생원 성분과 인위적인 발생원 성분간인 Al과 Ni, Zn간(각각 0.46, 0.61), Ca과 Zn간(0.41), Cu과 Mg, Mn, Na, V간(각각 0.38, 0.43, 0.35, 0.35), K과 Zn간(0.55), Mn과 Ni, Zn간(각각 0.47, 0.36) 그리고 Na과 Zn간(0.37)에 유의한 상관성(p < 0.05)을 보였다. 자연적인 발생원 성분간에는 Al과 Ca, Fe, K, Mn, Na, V간(각각 0.48, 0.38, 0.56, 0.72, 0.41, 0.56), Ca과 K, Mg, Mn, Na간(각각 0.58, 0.55, 0.34, 0.60), Fe과 Mg, Mn간(각각 0.35, 0.34), K과, Mg, Na간(각각 0.33, 0.47), Mg과 Na, V간(각

Table 6. Pollution index of heavy metals (Cd, Cu, Ni, Pb and Zn) in the parking lot dust (Concern level)

Area	PI > 1.0		PI < 1.0		PI <sup>a)</sup>	
	Number	%	Number	%	Mean ± S.D. <sup>b)</sup>	
Ground parking lot	Urban (n=18)	0	0	18	100	0.06 ± 0.02
	Rural (n=18)	0	0	18	100	0.05 ± 0.01
	<b>Total (n=36)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>0.06 ± 0.02</b>
Underground parking lot	Urban (n=18)	5	28	13	72	0.40 ± 0.56
	Rural (n=18)	4	22	14	78	0.26 ± 0.18
	<b>Total (n=36)</b>	<b>9</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	<b>75</b>	<b>0.33 ± 0.42</b>

<sup>a)</sup>Pollution Index, <sup>b)</sup>Standard Deviation

Table 7. Pollution index of heavy metals (Cd, Cu, Ni, Pb and Zn) in the parking lot dust (Action level)

Area	PI > 1.0		PI < 1.0		PI <sup>a)</sup>	
	Number	%	Number	%	Mean ± S.D. <sup>b)</sup>	
Ground parking lot	Urban (n=18)	0	0	18	100	0.16 ± 0.04
	Rural (n=18)	0	0	18	100	0.14 ± 0.04
	<b>Total (n=36)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>0.15 ± 0.04</b>
Underground parking lot	Urban (n=18)	3	17	15	83	1.04 ± 1.41
	Rural (n=18)	0	0	18	100	0.67 ± 0.46
	<b>Total (n=36)</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>33</b>	<b>92</b>	<b>0.85 ± 1.05</b>

<sup>a)</sup>Pollution Index, <sup>b)</sup>Standard Deviation

**Table 8.** Correlation coefficient among trace elements in the parking lot dust (n=72)

• Ground parking lot \ Underground parking lot

	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	V	Zn
Al	1.00	-0.08	-0.01	-0.17	-0.16	-0.01	0.25	-0.01	-0.05	0.21	0.04	-0.17	0.26	-0.21
Ca	<u>0.48</u>	1.00	-0.05	-0.27	-0.18	-0.46	<u>0.43</u>	0.17	-0.12	-0.11	-0.03	0.03	-0.49	0.07
Cd	0.32	0.13	1.00	0.24	-0.03	-0.04	0.18	-0.19	0.11	<u>0.37</u>	0.01	0.04	-0.22	0.24
Cr	0.20	0.18	0.18	1.00	<u>0.70</u>	<u>0.34</u>	-0.15	-0.04	-0.09	0.13	<u>0.49</u>	<u>0.68</u>	0.04	0.20
Cu	0.24	0.16	0.13	<u>0.35</u>	1.00	0.29	-0.25	0.01	-0.01	-0.03	<u>0.70</u>	<u>0.44</u>	0.03	-0.12
Fe	<u>0.38</u>	0.28	0.10	0.08	0.07	1.00	-0.29	-0.30	<u>0.40</u>	-0.11	0.05	<u>0.38</u>	<u>0.34</u>	-0.02
K	<u>0.56</u>	<u>0.58</u>	0.09	0.21	0.21	0.09	1.00	0.12	0.07	<u>0.59</u>	-0.22	0.07	-0.40	0.05
Mg	0.30	<u>0.55</u>	-0.14	0.01	<u>0.38</u>	<u>0.35</u>	<u>0.33</u>	1.00	-0.20	0.10	0.16	-0.16	-0.10	0.01
Mn	<u>0.72</u>	<u>0.34</u>	0.26	0.17	<u>0.43</u>	<u>0.34</u>	0.12	0.29	1.00	-0.02	-0.08	-0.08	0.22	0.07
Na	<u>0.41</u>	<u>0.60</u>	0.28	0.25	<u>0.35</u>	0.18	<u>0.47</u>	<u>0.39</u>	<u>0.37</u>	1.00	-0.05	0.18	-0.19	0.15
Ni	<u>0.46</u>	0.28	0.20	<u>0.67</u>	0.17	0.28	0.23	0.10	<u>0.47</u>	0.29	1.00	0.28	0.18	-0.13
Pb	0.15	-0.05	0.26	<u>0.70</u>	<u>0.41</u>	-0.05	-0.00	-0.05	0.26	-0.03	0.20	1.00	-0.17	0.26
V	<u>0.56</u>	0.08	-0.01	-0.03	<u>0.35</u>	0.30	0.18	<u>0.40</u>	<u>0.56</u>	0.21	0.17	0.09	1.00	-0.27
Zn	<u>0.61</u>	<u>0.41</u>	<u>0.65</u>	<u>0.36</u>	0.29	0.05	<u>0.55</u>	0.07	<u>0.36</u>	<u>0.37</u>	0.32	<u>0.35</u>	0.11	1.00

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

**Table 9.** Correlation coefficient among trace elements in the parking lot dust (n=36)

• Ground parking lot \ Underground parking lot

	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	V	Zn
urban														
Al	1.00	-0.04	-0.14	-0.33	-0.18	0.03	-0.02	0.02	0.27	0.06	0.31	-0.27	<u>0.64</u>	-0.40
Ca	0.42	1.00	-0.11	-0.25	-0.19	-0.46	0.14	0.29	-0.22	-0.32	-0.04	0.03	-0.42	0.21
Cd	<u>0.48</u>	0.19	1.00	0.38	-0.04	-0.16	0.18	-0.27	-0.45	<u>0.47</u>	-0.04	0.02	-0.28	0.21
Cr	0.26	-0.23	0.31	1.00	<u>0.75</u>	0.37	0.14	-0.50	-0.09	0.34	0.40	<u>0.86</u>	-0.25	0.32
Cu	0.10	0.03	0.04	0.24	1.00	<u>0.49</u>	-0.03	-0.43	0.09	0.08	<u>0.55</u>	<u>0.77</u>	-0.10	-0.16
Fe	0.20	0.23	0.03	-0.10	-0.19	1.00	-0.22	-0.46	<u>0.70</u>	-0.21	0.18	0.37	0.23	-0.20
K	<u>0.61</u>	<u>0.55</u>	0.13	-0.01	0.09	-0.00	1.00	0.08	-0.12	<u>0.65</u>	-0.07	0.03	-0.28	-0.00
Mg	-0.07	0.39	-0.45	-0.42	0.21	0.11	0.28	1.00	-0.05	-0.16	-0.45	-0.37	-0.01	0.02
Mn	<u>0.65</u>	0.28	0.30	0.25	0.45	0.08	0.14	-0.05	1.00	-0.34	-0.02	-0.00	<u>0.50</u>	-0.36
Na	0.25	<u>0.53</u>	0.35	0.07	0.20	0.04	0.35	0.25	0.33	1.00	0.02	0.03	-0.14	0.09
Ni	0.37	-0.02	0.26	<u>0.72</u>	-0.12	0.01	0.13	-0.44	0.19	0.11	1.00	0.38	0.38	-0.22
Pb	0.28	-0.18	0.34	<u>0.55</u>	<u>0.49</u>	-0.17	-0.02	-0.22	<u>0.47</u>	-0.08	-0.01	1.00	-0.27	0.36
V	<u>0.57</u>	0.43	-0.13	-0.03	<u>0.48</u>	0.02	<u>0.58</u>	0.40	0.47	0.31	-0.01	0.07	1.00	-0.44
Zn	<u>0.67</u>	0.30	<u>0.76</u>	0.22	0.08	-0.19	<u>0.50</u>	-0.29	0.29	0.20	0.10	0.36	0.25	1.00
rural														
Al	1.00	-0.07	0.15	-0.05	-0.19	-0.04	0.41	-0.04	-0.10	0.29	-0.12	-0.09	-0.20	-0.08
Ca	0.34	1.00	0.09	-0.29	-0.16	-0.46	<u>0.60</u>	0.14	-0.13	0.05	-0.01	0.02	-0.61	-0.14
Cd	0.10	0.08	1.00	-0.08	-0.07	0.14	0.28	-0.21	<u>0.67</u>	0.26	0.09	0.10	-0.15	0.32
Cr	0.02	0.32	0.08	1.00	<u>0.63</u>	0.32	-0.38	0.25	-0.11	-0.08	<u>0.58</u>	0.47	<u>0.52</u>	-0.15
Cu	0.17	0.04	<u>0.54</u>	<u>0.52</u>	1.00	0.11	-0.44	0.30	-0.03	-0.17	<u>0.86</u>	0.03	0.23	-0.13
Fe	<u>0.58</u>	0.06	0.31	0.15	<u>0.60</u>	1.00	-0.33	-0.24	0.37	-0.05	-0.02	0.40	<u>0.51</u>	0.39
K	0.16	0.38	0.04	0.36	-0.19	-0.33	1.00	0.14	0.11	<u>0.56</u>	-0.29	0.09	-0.58	0.23
Mg	<u>0.55</u>	<u>0.52</u>	0.40	0.19	<u>0.47</u>	<u>0.60</u>	-0.12	1.00	-0.22	0.22	0.40	-0.03	-0.23	-0.03
Mn	<u>0.82</u>	0.31	0.24	0.06	0.45	<u>0.69</u>	-0.12	<u>0.56</u>	1.00	0.08	-0.10	-0.14	0.23	<u>0.70</u>
Na	<u>0.50</u>	<u>0.58</u>	0.18	0.39	0.36	0.16	0.36	0.31	0.42	1.00	-0.10	0.32	-0.31	0.36
Ni	0.44	0.37	0.16	<u>0.60</u>	<u>0.56</u>	<u>0.58</u>	0.09	<u>0.49</u>	<u>0.65</u>	0.41	1.00	0.23	-0.00	-0.09
Pb	0.11	0.16	0.18	<u>0.90</u>	<u>0.65</u>	0.22	0.20	0.26	0.14	0.41	<u>0.48</u>	1.00	-0.02	0.09
V	<u>0.61</u>	-0.20	0.08	-0.07	0.31	<u>0.65</u>	-0.36	0.43	<u>0.60</u>	0.10	0.24	0.12	1.00	0.23
Zn	0.32	0.36	<u>0.50</u>	<u>0.51</u>	<u>0.71</u>	0.33	0.39	0.41	0.44	<u>0.54</u>	<u>0.53</u>	<u>0.54</u>	-0.10	1.00

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



각 0.39, 0.40), Mn과 Na, V간(각각 0.37, 0.56)에 유의한 상관성( $p < 0.05$ )을 보였다. 또한 인위적인 발생원 성분간에는 Cd과 Zn간(0.65), Cr과 Cu, Ni, Pb, Zn간(각각 0.35, 0.67, 0.70, 0.36), Cu과 Pb간(0.41), Pb과 Zn간(0.35)에 유의한 상관성( $p < 0.05$ )을 보였다. 따라서 지상주차장은 전반적으로 인위적인 발생원 성분간(7개)보다는 자연적인 발생원 성분간(18개)에 더 양호한 상관성을 보였음을 알 수 있었다. 그리고 지하주차장의 경우에는 자연적인 발생원 성분과 인위적인 발생원 성분간인 Cd과 Na간(0.37), Cr과 Fe간(0.34) 그리고 Fe과 Pb간(0.38)에 유의한 상관성( $p < 0.05$ )을 보였다. 자연적인 발생원 성분간에는 Ca과 K간(0.43), Fe과 Mn, V간(각각 0.40, 0.34), K과 Na간(0.59)에 유의한 상관성( $p < 0.05$ )을 보였다. 인위적인 발생원 성분간에는 Cr과 Cu, Ni, Pb간(각각 0.70, 0.49, 0.68), Cu과 Ni, Pb간(각각 0.70, 0.44)에 유의한 상관성( $p < 0.05$ )을 보였다. 지하주차장의 경우는 자연적인 발생원 성분간(4개)보다는 인위적인 발생원 성분간(5개)에 더 양호한 상관성을 보였음을 알 수 있었다. 전반적으로 지상주차장이 지하주차장보다 유의한 상관성(36개 > 12개)을 나타내는 경우가 많았으며, 특히 자연적인 발생원 성분에 있어 유의한 상관성(18개 > 4개)이 더욱 크게 나타났다. 이러한 결과는 전체적으로 볼 때 공동주택의 경우 지상주차

장이 지하주차장에 비해 자연적인 발생원의 영향을 더 많이 받고 있기 때문이라 사료된다.

한편, 지상주차장의 경우 도시와 농촌지역에서 공통적으로 유의한 상관성( $p < 0.05$ )을 보인 성분으로는 자연적-자연적발생원 성분간 3개(Al-Mn, Al-V, Ca-Na), 인위적-인위적발생원 성분간 4개(Cd-Zn, Cr-Ni, Cr-Pb, Cu-Pb)로 나타났다. 그리고 지역별로 구분해 볼 때는 도시지역(총 15개: 자연-인위 5, 자연-자연 6, 인위-인위 4)보다는 농촌지역(총 30개: 자연-인위 6, 자연-자연 12, 인위-인위 12)이 미량원소성분간의 유의한 상관성( $p < 0.05$ )이 많았다. 또한 지하주차장의 경우 도시와 농촌지역에서 공통적으로 유의한 상관성( $p < 0.05$ )을 보인 성분으로는 자연적-자연적발생원 성분간 1개(K-Na), 인위적-인위적발생원 성분간 2개(Cr-Cu, Cu-Ni)로 나타났다. 그리고 지역별로 구분해 볼 때는 도시지역(총 10개: 자연-인위 2, 자연-자연 4, 인위-인위 4)과 농촌지역(총 9개: 자연-인위 3, 자연-자연 3, 인위-인위 3)간 미량원소성분간의 유의한 상관성( $p < 0.05$ )에 차이가 거의 없었다. 이러한 원인은 지상주차장의 경우 도시지역은 도심의 다양한 오염원의 영향을 받는 반면 농촌지역은 단순한 오염원의 영향을 받았기 때문으로 사료되며, 지하주차장의 경우는 밀폐된 공간 특성상 도시와 농촌지역 모두 자동차 배출가스에 의한 영향을 많이 받은 것으로 사료된다.

**Table 10.** Mean of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn concentrations ( $\mu\text{g/g}$ ) in the underground parking lot dust for numbers of subgroups identified from questionnaire responses

Area	Cd ( $\mu\text{g/g}$ )	Cr ( $\mu\text{g/g}$ )	Cu ( $\mu\text{g/g}$ )	Ni ( $\mu\text{g/g}$ )	Pb ( $\mu\text{g/g}$ )	Zn ( $\mu\text{g/g}$ )
House age > 10years?						
yes (n=18)	1.5	160	265	51	440	6,178
No (n=18)	1.0	165	276	49	440	7,349
(Y/N) ratio	1.50	0.97	0.96	1.06	1.00	0.84
Parking number $\leq$ 90vehicles?						
yes (n=18)	1.4	181	314	59	488	7,910
No (n=18)	1.1	145	227	41	391	5,617
(Y/N) ratio	1.25	1.24	1.39	1.43	1.25	1.41
Ventilating system?						
yes (n=14)	0.9	154	216	47	379	8,821
No (n=22)	1.5	168	305	52	478	5,454
(Y/N) ratio	0.64	0.92	0.71	0.90	0.79	1.62
Last paint $\geq$ 5years?						
yes (n=19)	1.2	171	273	47	568	8,424
No (n=17)	1.3	154	268	54	297	4,907
(Y/N) ratio	0.94	1.11	1.02	0.88	1.91*	1.72
Last cleaning $\geq$ 6months?						
yes (n=21)	1.3	174	303	54	387	6,601
No (n=15)	1.1	147	225	45	514	6,990
(Y/N) ratio	1.18	1.18	1.35	1.19	0.75	0.94
Cleaning cycle $\leq$ once a year?						
yes (n=19)	1.1	176	325	51	420	4,587
No (n=17)	1.4	148	209	49	462	9,195
(Y/N) ratio	0.78	1.19	1.55	1.05	0.91	0.50

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

### 3.4.2. 환경인자가 공동주택 지하주차장 먼지에 미치는 영향 분석

공동주택 지하주차장 총 36곳(도시 18지점, 농촌 18지점)의 먼지시료에 대해 ICP로 분석한 총 14개 원소 중 비교적 유해성이 큰 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb 및 Zn에 대한 시료채취지점의 환경인자에 따른 농도분포를 Table 10에 나타내었다. 그 결과 주차대수(공간)가 90대 미만인 지점이 이상인 지점보다, 환기장치를 가동하지 않는 지점이 가동하는 지점보다, 도색년도가 5년이 지난 지점이 지나지 않은 지점보다, 최근 청소일이 6개월이 지난 지점이 6개월이 지나지 않은 지점보다 상대적으로 유해중금속을 많이 함유하고 있었다. 그 원인으로서는 자동차의 연소과정에서 배출되는 오염물질, 차량의 이동·주차 등에 따른 타이어의 마모, 주택의 노후에 따른 건물 벽면 시멘트와 페인트 등의 마모 등의 영향으로 오염된 먼지(예를 들면 Cd는 타이어의 마모, Cu는 브레이크 라이닝의 마모, Cr·Ni·Zn은 연료연소 후 남은 재, Pb는 페인트의 마모)가 실내의 더욱 열악한 환경 속에서 축적되었기 때문으로 사료된다.<sup>17)</sup>

또한 축적먼지에 함유된 중금속농도가 공동주택 지하주차장의 환경요인에 따라 통계학적으로 유의적인 차이가 있는지를 검증하기 위해 Mann-Whitney U Test<sup>18)</sup>를 실시하였다. 그 결과 Table 10에 첨자(\*)로 나타난 바와 같이 최근 도색년도의 차이에서 Pb이 유의수준 5% ( $p < 0.05$ )에서 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 그 외의 다른 환경적인 요인과 축적먼지에 함유된 중금속 농도와의 유의성은 나타나지 않았다.

## 4. 결론

2010년 3월말에서 6월초 사이에 대구광역시에 위치한 공동주택(아파트) 36곳을 대상으로 도시지역(18곳)과 농촌지역(18곳)으로 구분한 뒤 각 지역마다 지상주차장과 지하주차장의 시료 36개씩 총 72개의 시료를 채취하여 100 μm 이하로 체거름하고 산 추출한 후 ICP를 이용하여 총 14종의 원소성분(Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, V, Zn)을 측정·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 농축계수를 이용한 미량원소성분의 발생원을 평가한 결과 지상주차장과 지하주차장 모두 Fe, K, Mg, Mn, Na, V 성분은 농축계수가 10 이하로 자연적인 발생원의 영향을 받는 것으로 추정되었으며, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn 성분은 농축계수가 10 이상으로 인위적인 발생원의 영향을 받고 있는 것으로 추정되었다. 그러나 Ca는 지상주차장에서는 10 이하의 값을 보여 자연적인 발생원의 영향을, 지하주차장에서는 10 이상의 값을 나타내 인위적인 발생원의 영향을 받는 것으로 나타났다.

2) 분석된 미량원소성분의 평균농도는 지상주차장과 지하주차장 모두 자연적인 발생원에서 기인하는 성분이 높은 농

도(수천~수만 μg/g)를 보였고, 인위적인 발생원에서 기인하는 성분은 낮은 농도(수~수백 μg/g)를 보였다. 또한 인위적인 발생원 성분의 기여도는 지하주차장이 지상주차장 보다 높았으며 지하주차장의 평균농도 역시 일부 항목(Al, Cd, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, V)을 제외하고는 지상주차장에 비해 2배 이상 높은 농도를 나타내었다. 그러나 지상주차장과 지하주차장 모두 도시와 농촌지역간에는 큰 농도차이를 보이지는 않았다.

3) 중금속성분의 오염도를 평가하기 위해 오염지수를 산출한 결과 토양오염우려기준을 적용할 경우, 지하주차장이 지상주차장에 비해 높은 값을 나타내었고, 토양오염대책기준을 적용할 경우도, 지하주차장이 지상주차장에 비해 높은 값을 나타내었다. 지역별로는 지상주차장의 경우 도시와 농촌간의 차가 크지 않았지만 지하주차장의 경우는 도시가 농촌보다 약간 높게 나타났다.

4) 미량원소성분간의 유의한 양의 상관성을 분석한 결과 유의한 상관성( $p < 0.05$ )을 보인 성분으로는 지상주차장의 경우 자연적-인위적발생원 성분간 11개, 자연적-자연적발생원 성분간 18개, 인위적-인위적발생원 성분간 7개였고, 지하주차장의 경우는 자연적-인위적발생원 성분간 3개, 자연적-자연적발생원 성분간 4개, 인위적-인위적발생원 성분간 5개로 지상주차장이 지하주차장보다 유의한 상관성(36개 > 12개)을 나타내는 경우가 많았다. 지역별로는 지상주차장의 경우 농촌지역(총 30개)이 도시지역(총 15개)보다 미량원소 성분간의 유의한 상관성( $p < 0.05$ )이 많았으며, 지하주차장의 경우는 도시지역(총 10개)과 농촌지역(총 9개)간에 차이가 거의 없었다.

5) 유해중금속(Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)과 지하주차장의 영향인자를 평가한 결과 주차대수(공간)가 적은 지점이 큰 지점보다, 환기장치를 가동하지 않는 지점이 가동하는 지점보다 그리고 최근 도색년도와 최근 청소일이 더 오래된 지점이 상대적으로 유해중금속을 많이 함유하고 있었다.

6) 축적먼지에 함유된 중금속농도가 공동주택 지하주차장의 환경요인에 따라 통계학적으로 유의적인 차이가 있는지를 검증하기 위해 Mann-Whitney U Test<sup>18)</sup>를 실시한 결과, 최근 도색년도의 차이에서 Pb이 유의수준 5% ( $p < 0.05$ )에서 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 그 외의 다른 환경적인 요인과 축적먼지에 함유된 중금속 농도와의 유의성은 나타나지 않았다.

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. 자동차공해연구소, 석유품질검사소, "자동차 미규제 오염물질 배출특성 평가에 관한 연구(I)," 국립환경연구원보, **22**, 405~413(2000).

3. 송희봉, 이은영, 도화석, 정철수, 신동찬, 이명숙, 백윤경, 전성숙, 신원식, “대구지역 도로먼지에 함유된 미량원소성분과 오염원 평가,” 대한환경공학회지, **29**(7), 793~800(2007).
4. 대구광역시, 2008년 주택통계연감(2008).
5. 기상청 홈페이지, <http://www.kma.go.kr/intro.html>, 기후자료(2010).
6. Ordonez, A., Loreda, 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).
7. 백성욱, 송희봉, 신동찬, 홍성희, 장혁상, “대구지역 공중위생법 규제대상시설의 실내공기 중 입자상 오염물질의 계절별 및 지점별 농도분포 특성,” 한국대기보전학회지, **14**(3), 163~175(1998).
8. Rahn, K. A., “Source of trace elements in aerosols-an approach to clean air. Ph.D Thesis, University of Michigan,” *Ann Arbor*, 324~325(1971).
9. Taylor, S. R. and McLennan, S. M., “The Continental Crust : Its Composition and Evolution,” *Blackwell Sci., Cambridge, Mass*, 46~47(1985).
10. Rojas. C. M., Artaxo, P. and VanGrieken, R., “Aerosols in Santiago de Chile-a study using receptor modeling with XRF and single particle analysis,” *Atmos. Environ.*, **24B**, 227~241(1990).
11. 손동현, 신혜숙, 정성운, 정원태, “ICP법에 의한 도시대기 중 중금속 농도 측정,” 한국대기보전학회지, **9**(3), 222~229(1993).
12. 최진수, 황승만, 백성욱, “대구지역 대기 중 부유먼지에 함유된 화학성분의 입도별 분포 특성,” 대한환경공학회지, **17**(12), 1245~1259(1995).
13. 최성우, 송형도, “대구지역 부유분진 중 미량금속성분의 발생원 특성연구,” 한국대기환경학회지, **16**(5), 469~476(2000).
14. 송희봉, 도화석, 이명숙, 신동찬, 윤호석, 광진희, 정철수, 강재형, “대구지역 학교먼지에 함유된 미량원소성분 분석과 오염원 평가,” 대한환경공학회지, **29**(12), 1390~1399(2007).
15. 환경부, 토양환경보전법(2009).
16. Kloke, A., “Content of arsenic, cadmium, chromium, fluorine, lead, mercury and nickel in plant growth on contaminated soil,” Paper presented on United Nations-ECE Symposium, 1~180(1979).
17. 나덕재, “산업도시 대기 중 PM-10의 농도 및 중금속 성분 특성 연구,” 울산대학교 석사학위논문(1998).
18. SPSS® Base 14.0 Application Guide, SPSS(2006).