

## PG6) 실내외 공간에서의 미세먼지(PM2.5) 내 미량원소 분포 특성의 비교

### A Comparison Study of Distribution of Trace Elements in Indoor and Outdoor PM2.5

정진희 · 임종명<sup>1)</sup> · 이진홍 · 문종화<sup>1)</sup> · 정용삼<sup>1)</sup>

충남대학교 환경공학과, <sup>1)</sup>한국원자력연구원 하나로이용기술개발센터

#### 1. 서 론

일상의 대부분을 다양한 실내 공간에서 보내는 현대인의 생활 패턴과 더불어, 최근 새집증후군(sick building syndrome, SBS)을 필두로 하여 삶의 질에 대한 대중의 관심이 증가함에 따라 실내공기질(indoor air quality, IAQ)의 공중보건학적 중요성이 더욱 부각되고 있는 실정이다. 이러한 요구에 발맞추어 환경부에서는 2004년부터 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”을 시행하고 있으나, 규제 및 관리의 근간이 되어야 하는 기초조사 자료의 구축이 미흡하여 효율적인 관리가 이루어지지 않고 있다.

실내공간은 독립적으로 존재하는 단일 공간이 아닌, 해당 공간의 사용 목적이나 외부 공기, 주변의 여러 조건 등과 유기적인 연관성을 가지기 때문에 각기 다른 특성을 띄게 된다. 많은 연구자에 의해 다양한 다중이용시설의 실내공기질에 대한 연구가 계속되고 있는데, 새집증후군과 관련하여 가스상 오염물질의 연구가 활발한 데에 비해 입자상 오염물질과 관련된 연구는 상대적으로 적은 편이다. 입자상 오염물질은 동일한 질량의 입자인 경우 입경이 감소할수록 폐 깊숙이 침투할 수 있고 표면적이 급증하여 독성금속의 흡착이 용이해지기 때문에 인체에 미치는 영향이 커진다. 따라서 본 연구에서는 중성자방사화 분석법 및 CCT(Collision cell technology)-ICP-MS를 이용하여 실내 및 실외 공기 중 미세먼지(PM2.5) 내 As, Cd, Cr, Pb, Zn 등 의 독성금속을 비롯한 약 30여종의 미량원소성분을 정량분석하여 분포 특성을 규명하고자 한다.

#### 2. 연구 방법

시료는 인구의 유동을 배제할 수 있는 충남대학교 공과대학 옥상(지상 15m)에서 외부공기를, 많은 유동 인구가 시간대별로 고르게 분포하는 충남대학교 내 사무실 1개소에서 실내공기를 채취하였다. 화학적으로 매우 적은 바탕농도를 가지고, 작은 크기의 입자를 채취하는 데 효율적인 polycarbonate membrane filter( $\phi 47\text{mm}$ ,  $0.4\mu\text{m}$  pore size, Whatman)를 사용하였으며, 외부공기는 denuder air sampler(URG, 3000C model, USA)를 이용하여 16.7L/min의 유속으로, 실내공기는 mini-volume air sampler(Version 4.2, Airmetrics, USA)를 이용하여 6L/min의 유속으로 24시간동안 각 공간마다 9개의 시료를 채취하였다. 연구 기간은 계절적인 특징이 매우 뚜렷한 봄철의 황사와 여름의 장마 기간을 피할 수 있는 2007년 6월로 정하여 실시하였다. 시료 채취 후 필터는 항온( $25^\circ\text{C}$ ), 항습(50%) 상태의 저장고에서 1일간 보관한 후 전기적 하전을 중화시키기 위해  $^{210}\text{Po}$  선원을 넣어 둔 저울(Mettler, readability:  $1\mu\text{g}$ )에서 칭량한 후, 분석 전까지 데시케이터에서 보관하였다.

미량금속 원소는 분석 감도와 검출한계가 뛰어난 비파괴분석법인 기기 중성자방사화분석과 CCT-ICP-MS를 이용하였다. 중성자방사화분석은 한국원자력연구원의 연구용 원자로인 HANARO의 기송관( $\phi_{\text{th}} = 2.95 \times 10^{13} \text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ ) 조사시설을 이용하였으며, 조사된 시료의 방사능 계측은 고순도 게르마늄 반도체 검출기(EG&G ORTEC, 25% relative efficiency, 1.85 keV FWHM at 1332keV  $^{60}\text{Co}$ , Peak to compton ratio: 45 to 1)와 16K Multichannel Analyzer(Gamma Vision, EG&G, ORTEC)를 사용하였다. 모든 시료는 동일한 기하학적 조건에서 조사, 계측하여 분석오차를 최소화하였다. INAA로 분석이 불가능한 Be, Cd, Pb, Ni의 분석을 위해 71%  $\text{HNO}_3$ (semi-conductor grade)을 용매로 마이크로파를 이용하여 30분 동안 용해한 후 CCT-ICP-MS 분석을 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

연구 기간 중 미세먼지(PM2.5)의 평균 농도는 실내공기가  $19.2 \pm 5.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $10.6 \sim 24.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )이었고, 외부의 경우  $13.0 \pm 4.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $4.74 \sim 21.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )로, 실내공기가 외부보다 미세먼지 농도가 높게 나타나 ( $p < 0.05$ ), 미세입자(fine particle) 영역에 대해 Geller et al.(2002) 및 여러 연구자들이 보고한 결과와 일치하였다. 그러나 실내와 외부공기 미세먼지(PM2.5) 농도 사이에 유의한 상관관계는 성립하지 않았다. Black carbon 역시 평균 농도가  $4.86 \pm 2.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $1.90 \sim 7.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )와  $2.38 \pm 0.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $1.21 \sim 3.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )로 실내공기 중 농도가 약 1.5배 높게 측정되었다.

그림 1에 미세먼지(PM2.5) 내 미량원소성분의 농도를 제시하였다. 이들 원소는  $10^{-3} \sim 10^3$ 의 넓은 농도 분포를 보이는데, 희토류 원소인 Lu, In, Dy, Hf, Sc, Th, Cs, La, Sm 등이  $10^{-3} \sim 10^{-1} \text{ng}/\text{m}^3$ 의 낮은 범위에, V, As, Se, Mn, Cr, Zn와 같은 독성금속은  $10^{-1} \sim 10^1 \text{ng}/\text{m}^3$ , 지각 및 해염 등 자연적 오염원에서 기인하는 원소로 알려진 Al, Mg, Na, Fe, K는  $10^1 \sim 10^3 \text{ng}/\text{m}^3$ 의 영역에 분포하고 있었다. 실내와 외부공기 중의 독성금속의 산술평균 농도는 As이  $0.58 \pm 0.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과  $1.04 \pm 0.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Cr은  $10.3 \pm 2.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과  $10.79 \pm 1.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Mn은  $1.15 \pm 0.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과  $2.57 \pm 0.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Se이  $0.96 \pm 0.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과  $1.00 \pm 0.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , V은  $0.34 \pm 0.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과  $0.58 \pm 0.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Zn가  $17.63 \pm 7.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과  $31.79 \pm 13.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타내었다.

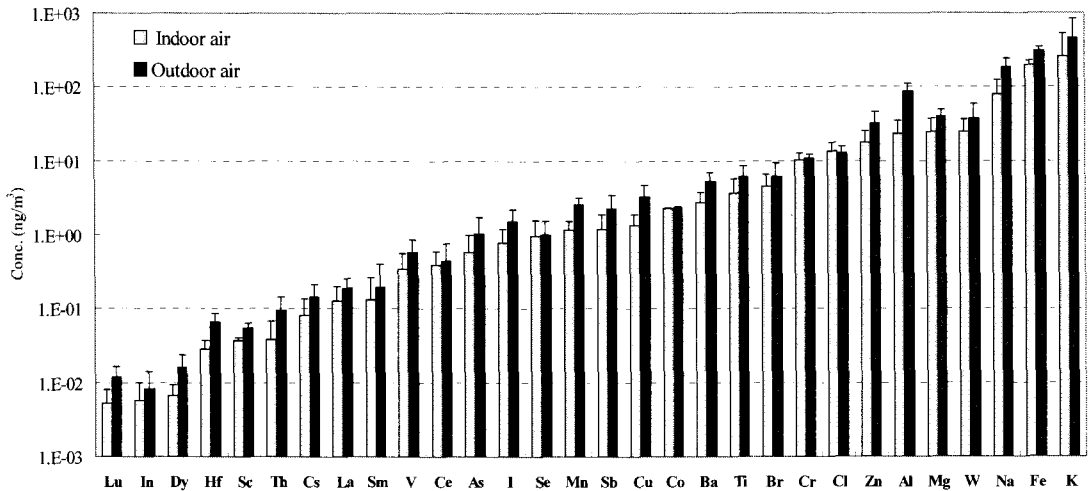


Fig. 1. Elemental concentrations of indoor/outdoor PM2.5.

### 참고 문헌

- Geller, M.D. et al. (2002) Indoor/outdoor relationship and chemical composition of fine and coarse particles in the southern California deserts, Atmospheric Environment, 36, 1099-1110.
- Kopperud R.J. et al. (2004) Outdoor versus contributions to indoor particulate matter(PM) determined by mass balance methods, JAWMA, 54, 1188-1196.
- Xinhua Wang et al. (2006) Hospital indoor PM10/PM2.5 and associated trace elements in Guangzhou, China, Science of the Total Environment, 366, 124-135.