

ICP-MS분석에 의한 대전공단지역의 대기중 독성금속의 농도 Concentration of Airborne Toxic Metals by ICP-MS in Taejon Industrial Complex

이진홍·윤미정·남병현
충남대학교 환경공학과

Jin-Hong Lee · Mi-Jung Yun · Byung-Hyun Nam

Department of Environmental Engineering, Chungnam National University,
Taejon 305-764, Korea

1. 서론

도시 대기중의 중금속의 농도는 낮지만 독성이 크기 때문에 이로 인한 인체 위해도는 그 밖의 유해 대기오염물질로 인한 것보다 작지가 않다. 특히, 공단지역의 경우 발암금속으로 인한 인체 위해도는 상당히 크리라 예상되지만, 공단지역을 대상으로 독성금속의 장기간 농도 분포는 국내에서 거의 조사된 바 없다. 이는 도시 대기를 대상으로 국내에서 현재까지 진행된 연구들의 최종 목적이 위해도 평가에 있지 않고, 도시 대기중 부유분진의 발생원별 특성 평가 또는 분진 오염원의 정량적인 기여도 추정 및 수용 모델의 개발에 있었기 때문이다. 따라서 본 연구는 국내에서 처음으로 대전 1, 2 공단지역을 대상으로 발암금속 6종(As, Be, Cd, Cr, Ni, 및 Pb)을 포함한 15종의 독성금속을 선정하여 검출한계와 재현성이 매우 뛰어난 유도결합 플라즈마 분광법(ICP-MS)을 이용하여 월 2주 또는 매주, 2년간 분석하고자 한다. 도시 대기중 극미량으로 존재하지만 발암 위해도가 큰 As, Cd, Cr, Ni, Pb 등의 분석을 위하여, 기존 국내 연구에서 사용된 XRF¹⁾, ICP-AES^{2,3,4)}, PIXE⁵⁾분석법 대신 검출 한계가 매우 낮은 ICP-MS분석법을 이용하여 분석하는 것은 상당히 의미있는 일이다.

2. 연구 방법 및 재료

본 연구 대상 지역은 소규모의 금속, 기계, 고무/플라스틱, 화학제품관련 업체

를 비롯하여 대규모의 비누, 화장품 등의 생산업체 등 100여개 이상의 생산업체가 밀집되어 있는 지역으로 대전시내 대기중 독성금속의 오염이 가장 심하리라 예상되는 지역이다. 대기중 부유분진은 대전시 대화동(대전 1, 2 공단내 대화동 동사무소 건물 옥상)에 설치한 high-volume air sampler (Graseby Andersen : SAUB-1H Model, USA)를 약 0.85 m³/min으로 운전하여 시료당 공기량이 약 2,400 m³가 유지되도록 포집하였다. 여지는 석영섬유여지(Quartz Microfibre Filter, Watman QM-A, 8"×10")를 사용하였고, 1997년 4월말 부터 1998년 12월까지 월 2주 또는 매주 주중에 각 여지당 48시간씩 2회에 걸쳐 포집하였다. 일반적으로 대기중 분진은 여지당 24시간 포집을 기준으로 하지만 위해도 평가의 정밀성을 고려하여 본 연구는 가급적 주중의 평균 농도를 대표하기 위하여 48시간씩 포집하였다.

High volume air sampler의 유속 변화에 따른 공기 흡입량은 시료채취 시작시와 종료시의 유량을 측정하여 보정하였고, 500시간 경과하여 motor brush를 교환할 때마다 orifice calibrator(GMW-25)를 이용하여 유속을 보정하였다. 분진을 채취한 여지는 실험실에서 건조시켜 평량하고 무게를 잰 후, 시료 분석전까지 데시케이터에 보관하였다. 1997년에는 1차적으로 총 부유분진내 독성금속 성분을 분석하였는데, 그 이유는 독성금속의 입경별 농도 분포가 질량 평균 직경(MMD: mass median diameter)은 2.5 μ m이하의 미세분진 영역이지만 금속에 따라서는 10 μ m 이상의 분진내에도 얼마간 분포하고 있기 때문이다.⁶⁾ 이 보다 더 큰 이유는 역학 조사(epidemiological study)에 근거하여 평가된 발암금속의 발암력(cancer potency)이 입경 구별없이 총 부유분진내 금속의 농도에 기초하고 있다는 점이다. 그리고 1998년에는 2차적으로 PM-10내 독성금속 성분을 분석하였고 위해도 평가 자료로 사용하였다.

시료의 전처리 방법으로 마이크로파 시료용해방법⁷⁾을 적용하였고, 기기는 충남대학교 공동실습관이 보유하고 있는 MLS-MEGA model을 이용하였다. 전처리 방법은 세척과정을 마친 각 용기에 분진 시료를 1/10로 잘라 혼합산(질산:과염소산 = 4:1)을 넣고 장치를 세팅한 후 프로그램을 입력하여 20여분 동안 산분해를 한다. 이렇게 산분해한 시료를 꺼내어 식힌 후 1% 질산 용액으로 수회 씻어 폴리에틸렌 용기에 옮기고 저울에서 적당량(본 연구의 경우 20g)으로 맞추어 ICP 분석용으로 보관한다.

산분해한 시료는 대덕연구단지 내의 한국표준과학연구소 부설, 기초과학지원센터가 보유한 유도결합 플라즈마 분광분석기(ICP-AES; SHIMAZ ICPS-IV Model) 및 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS; VG PQ II+ Model)를 이용하여 15종의

독성금속 성분을 분석한 후 대기중 농도로 환산하여 위해도 평가 자료로 사용하였다. 유도결합 플라즈마 분광법(ICP-MS)과 같은 분진 시료의 파괴적 측정방법⁸⁾은 시료의 전처리에 많은 시간과 노력이 요구되지만, 30여개 이상의 화학적 원소를 동시에 측정할 수 있으며 기기의 검출 한계가 매우 낮아 대기중 극미량으로 존재하는 독성금속의 측정이 가능하고, 측정값의 재현성 및 신뢰성 면에서 여타 측정방법과 비교해 매우 안정된 측정값을 제공하는 유용한 분석법이다.

3. 연구 결과 및 고찰

연구 대상 물질인 독성금속의 대기중 산술 평균 농도와 표준오차는 Table 1 과 Fig. 1에 나타나 있다. 약 2년 간의 농도는 인체 발암물질인 As, Cr(6), Ni(subsulfide)의 농도가 각각 산술 평균으로 5.53, 2.16, 3.46ng/m³이며 인체에 유력한 발암물질인 Be, Cd, Pb의 평균 농도는 각각 0.08, 2.35, 293.29ng/m³로 나타났다. 그리고 비발암 물질인 Mn의 평균 농도는 55.91ng/m³이다. 한편, 1997년의 총 부유분진의 계절 평균 농도는 봄, 여름, 가을, 겨울이 각각 116.2, 90.5, 136.2, 136.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 여름에 최소 농도를 보이고 겨울 및 가을에 최대 농도를 보였다. 1998년의 PM-10의 계절 평균 농도는 봄, 여름, 가을, 겨울이 각각 98.1, 76.1, 98.9, 81.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 여름에 역시 최소 농도를 보이고 가을 및 봄에 최대 농도를 보였다. 2년에 걸쳐 여름철에 총 부유분진과 PM-10의 농도가 최소인 이유는 집중적인 강우로 부유분진이 대기로부터 씻겨 내려오는(wash out) 효과 때문인 것으로 판단된다. 약 2년간의 기타 금속 성분의 산술 평균 농도는 일반적으로 대기중에 많이 존재하는 Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Si의 농도가 역시 높게 나타났는데, Al이 1,730n/m³로 최대 농도를 보였고 Mg가 435n/m³로 최소 농도를 보였다. 비발암 독성 중금속인 Ba, Co, Cu, Sb, Se, Ti, V, Zn 중에서는 Zn이 6월에 271 ng/m³로 가장 높게 나타났다.

Table 1. Two year average airborne concentration of heavy metal in Taejon industrial complex
(Unit : ng/m³)

Metal	All sites	No. of samples	Range	Arithmetic mean	Standard error
<u>Carcinogenic metals</u>					
As		70	0.10~44.81	5.53	0.77
Be		65	0.01~0.46	0.08	0.01
Cd		70	0.08~7.44	2.35	0.20
Cr(6)		68	0.23~10.26	2.16	2.49
Ni(subsulfide)		69	0.44~9.03	3.46	2.62
Pb		68	41.68~1888.17	293.29	29.78
<u>Non-carcinogenic metals</u>					
Mn		70	7.89~188.14	55.91	4.33
Ba		67	0.33~67.19	24.01	1.86
Co		58	0.14~3.85	1.54	0.11
Cu		67	9.01~102.60	45.02	2.64
Sb		70	0.31~65.49	10.32	1.34
Se		68	0.07~6.84	1.33	0.15
Ti		57	1.00~275.06	40.12	6.90
V		63	0.94~131.31	14.69	2.04
Zn		55	4.92~2709.46	271.36	49.63
Particles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		70	36.36~200.05	99.36	4.37

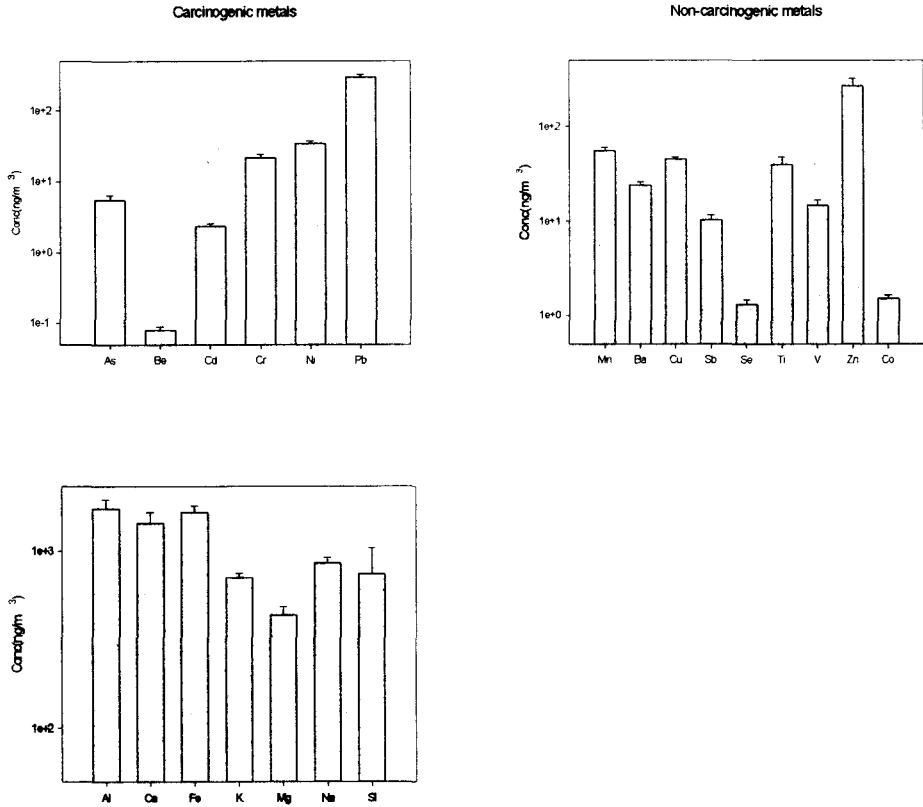


Fig. 1. Two year average airborne concentration of heavy metal in Taejeon industrial complex

4. 결론

본 연구는 대전시내 대기중 독성금속의 오염이 가장 심하리라 예상되는 대전 공단지역을 대상으로 약 2년간의 농도를 분석하였다. 인체 발암물질인 As, Cr(6), Ni(subsulfide)의 대기중 농도는 각각 산술 평균으로 5.53, 2.16, 3.46ng/m³이며 인체에 유력한 발암물질인 Be, Cd, Pb의 평균 농도는 각각 0.08, 2.35, 293.29ng/m³로 나타났다. 그리고 비발암 물질인 Mn의 평균 농도는 55.91ng/m³였다. 그리고 1997년의 총 부유분진의 계절 평균 농도는 봄, 여름, 가을, 겨울이 각각 116.2, 90.5,

136.2, 136.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 여름에 최소 농도를 보이고 겨울 및 가을에 최대 농도를 보였다. 1998년의 PM-10의 계절 평균 농도는 봄, 여름, 가을, 겨울이 각각 98.1, 76.1, 98.9, 81.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 여름에 역시 최소 농도를 보이고 가을 및 봄에 최대 농도를 보였다. 2년에 걸쳐 여름철에 총 부유분진과 PM-10의 농도가 최소인 이유는 집중적인 강우로 부유분진이 대기로부터 씻겨 내려오는(wash out) 효과 때문인 것으로 판단된다. 약 2년간의 기타 금속 성분의 산술 평균 농도는 일반적으로 대기중에 많이 존재하는 Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Si의 농도가 역시 높게 나타났는데, Al이 1,730 n/m^3 로 최대 농도를 보였고 Mg가 435 n/m^3 로 최소 농도를 보였다. 비발암 독성 중금속인 Ba, Co, Cu, Sb, Se, Ti, V, Zn 중에서는 Zn이 6월에 271 ng/m^3 로 가장 높게 나타났다.

참 고 문 헌

1. 이태정, 김동술, "X-선 형광분석법을 이용한 대기부유분진중 중금속의 농도분포에 관한 연구," 한국대기보전학회지, Vol. 8, No. 1, pp. 20~28, 1992.
2. 백성옥, 황승만, "주성분/중회귀분석을 이용한 대구 지역 대기중 부유분진의 발생원별 특성 평가," 한국대기보전학회지, Vol. 8, No. 3, pp. 179~190, 1992.
3. 손동현, 신혜숙, 정성윤, 정원태, "ICP법에 의한 도시 대기중 중금속 농도 측정: 중앙대학교를 중심으로," 한국대기보전학회지, Vol. 9, No. 3, pp. 222~229, 1993.
4. 최진수, 황승만, 백성옥, "대구지역 대기중 부유먼지에 함유된 화학성분의 입도별 분포 특성," 대한환경공학회지, Vol. 17, No. 12, pp. 1245~1259, 1995.
5. 김덕경, 최한우, 우형주, 김영석, 홍완, 김낙배, 이진홍, "PIXE분석법을 이용한 대기 분진중 함유 원소 분석," 한국대기보전학회지, Vol. 10, No. 2, pp. 90~97, 1994.
6. Schroeder, W.H., Dobson, M., Kane, D.M., Johnson, N.D., "Toxic trace elements associated with airborne particulate matter : a review," JAPCA, Vol. 37, 1267~1285, 1987.
7. Greenberg, A.E., Clesceri L.S., Eaton A.D., "Standard Method," 18th edition, American Public Health Association, p. 3.6, 1992.
8. Broekaert, J.A.C., Wopenka, B., Puxbaum, H., "Inductively coupled plasma optical emission spectrometry for the analysis of aerosol samples collected by cascade impactors," J. Anal. Chem., Vol. 54, pp. 2174~2179, 1983.