

IT4)

대전 1,2 공단지역의 독성 금속의 확률론적 농도 Probabilistic Concentration Estimates of Toxic Metals in Taejon 1,2 Industrial Complex

장 미숙 · 임 증명 · 구 부미 · 이 진홍
충남대학교 환경공학과

1. 서 론

본 연구는 대전 1,2 공단 지역을 대상으로 발암 금속 6종(As, Be, Cd, Cr, Ni 및 Pb)을 포함한 15종의 독성 금속을 선정하여 유도결합 플라즈마 분광법(ICP-MS)을 이용하여 3년간 분석하고 이 농도 자료에 근거하여 각 금속의 확률론적 농도를 평가하고자 한다.

2. 재료 및 방법

대기중 부유분진은 대전시 대화동(대전 1,2 공단내 대화동 동사무소 건물 옥상)에 high-volume air sampler (Graseby Andersen : SAUB-10H Model, USA)를 약 0.85 m³/min으로 운전하여 시료당 공기량이 약 1.200 m³가 유지되도록 포집하였다. 여지는 석영섬유여지(Whatman QMA, 8"×10")와 유리섬유여지(Whatman EPM 2000, 8"×10")를 사용하였고, 1997년 4월말 부터 2000년 1월까지 매주 주중에 각 여지당 48시간씩 또는 24시간씩 포집하였다.

High volume air sampler의 유속 변화에 따른 공기 흡입량을 유량 기록지를 이용하여 시료 채취 시작 부터 종료까지 연속적으로 유량을 측정하여 환산하였고, 500시간 경과하여 motor brush를 교환할 때마다 orifice calibrator(GMW-25)를 이용하여 유속을 보정하였다. 시료의 전처리 방법으로 마이크로파 시료용해 방법(Greenberg et al., 1992)을 적용하였고, 기기는 충남대학교 공동실험관이 보유한 MLS-MEGA model을 이용하였다. 산분해한 시료는 대덕연구단지 내의 기초과학지원연구소가 보유한 유도결합 플라즈마 분광 분석기(ICP-AES; SHIMAZ ICPS-IV Model), 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS; VG PQII+ Model)와 충남대학교 공동실험관이 보유한 ICP-MS (Perkins Elmer ELAN-6000 Model)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

대전 1,2 공단의 1997년 4월부터 2000년 1월까지의 독성 금속의 산술 평균 농도와 표준오차는 그림 1에 나타나 있다. 약 3년 간의 농도는 인체 발암물질인 As, Cr(6), Ni(subsulfide)의 농도가 각각 산술 평균으로 5.69, 2.24, 3.24ng/m³이며 인체에 유력한 발암물질인 Be, Cd, Pb의 평균 농도는 각각 0.08, 2.88, 243.24ng/m³로 나타났다. 그리고 비발암 물질인 Mn의 평균 농도는 52.07ng/m³이다. 비발암 독성 금속인 Co, Cu, Fe, Sb, Se, Ti, V, Zn 중에서는 Fe가 1451.67 ng/m³로 가장 높게 나타났다.

표 1은 확률론적 농도 평가치를 보여준다. 이 평가치는 대기중 농도분포를 Lognormal 분포로 가정하고 Crystal Ball (Decisioneering, version 4.0)을 이용하여 Latin Hypercube sampling방법으로 10,000번의 반복(iteration)후 산출한 것이다. 표에서 보듯이 Monte Carlo 농도 평가치는 산술평균은 비슷하지만 대체로 실측치에 비해 다소 높게 나타났고, 95th percentile 농도는 산술 평균에 비해 2.7배에서 4.0배까지 높게 나타난다. 농도의 상위 평가치가 산술 평균에 비해 높은 이유는 고농도 자료와 시료수에 주로 기인하고 따라서, 확률론적 농도 분석의 정확성을 위해 장기간의 농도분석 및 이에 따른 충분한 시료의 확보가 필요한 것으로 판단된다. 한편, 표 2는 독성 금속의 농도분포의 적합도 검정 결과인데 Lognormal 분포 형태는 7가지 화학종에, Extreme, Gamma, Exponential 분포형태에 각각 4가지, 3가지, 1가지 화학종에 적합한 것으로 나타나 대기중 독성 금속의 농도는 비대칭 분포가 타당한 것으로 사료된다.

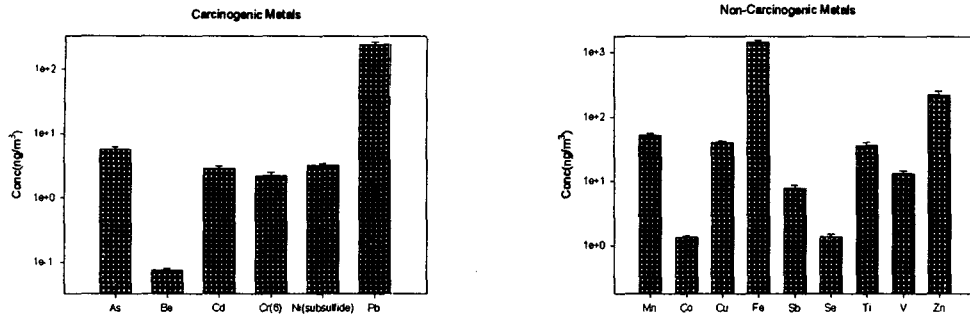


Fig. 1. 3-year average airborne concentration of heavy metal in Taejeon 1,2 industrial complex

Table 1. Concentration of toxic metals in Taejeon 1,2 industrial complex (Unit : ng/m³)

		Average	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
As	Estimates ¹⁾	6.55	0.48	0.74	1.51	3.32	7.32	14.90	22.79
	Measures	5.69	0.31	0.66	1.68	3.96	8.16	12.93	14.75
Be	Estimates	0.08	0.01	0.02	0.03	0.06	0.10	0.16	0.22
	Measures	0.08	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.16	0.19
Cd	Estimates	3.26	0.36	0.52	0.97	1.93	3.84	7.15	10.38
	Measures	2.88	0.23	0.52	1.23	1.99	4.07	7.26	7.82
Cr ¹⁾	Estimates	2.26	0.34	0.47	0.82	1.51	2.77	4.78	6.64
	Measures	2.24	0.23	0.43	0.86	1.43	2.51	5.53	7.41
Ni ¹⁾	Estimates	3.56	0.58	0.79	1.35	2.43	4.38	7.44	10.18
	Measures	3.24	0.46	0.56	1.64	2.66	4.54	6.52	7.35
Pb	Estimates	248.74	48.01	64.30	104.755	180.08	309.77	504.71	675.98
	Measures	243.24	36.35	60.33	95.15	209.52	315.27	452.68	567.95
Mn	Estimates	53.55	11.33	14.97	23.84	39.96	66.98	106.59	140.67
	Measures	52.07	9.81	15.68	27.39	42.13	62.01	108.56	127.35

1) Cr(6) 2) Ni(subsulfide) 3) Monte Carlo estimates

Table 2. Results of goodness-of-fit tests

Metal	A.M.	G.M.	Chi-square	P-value	Distribution type	No. of samples
As	5.691297	3.321426	8.1176	0.6173	Exponential	102
			9.5294	0.3899	Lognormal(4) ¹⁾	
Be	0.075453	0.055827	8.0309	0.5310	Extreme	97
			10.7526	0.2931	Lognormal(2)	
Cd	2.875299	1.925449	9.6286	0.2921	Gamma	105
			16.9429	0.0496	Lognormal(6)	
Cr(6)	2.240689	1.505561	8.8462	0.4516	Lognormal	104
Ni(subsulfide)	3.236896	2.42817	8.9429	0.3471	Gamma	105
			16.0286	0.0663	Lognormal(5)	
Pb	243.239	180.1773	9.8932	0.3592	Lognormal	103
Mn	52.06691	39.96489	12.8679	0.1687	Lognormal	106
Co	1.330955	1.052664	5.8298	0.7568	Extreme	94
			7.8723	0.5471	Lognormal(2)	
Cu	39.81276	34.39902	4.5340	0.8729	Lognormal	103
Fe	1451.67	1169.189	11.4571	0.2457	Lognormal	105
Sb	7.809413	3.694342	7.9505	0.4383	Gamma	101
			11.0396	0.2730	Lognormal(3)	
Se	1.380838	0.997404	6.4941	0.5921	Lognormal	85
Ti	35.90766	21.49066	8.8242	0.4537	Lognormal	91
V	13.2327	10.0622	8.0408	0.5300	Extreme	98
			17.3469	0.0436	Lognormal(2)	
Zn	223.5038	144.731	9.4667	0.3954	Extreme	90
			20.9333	0.0129	Lognormal(4)	

1) Chi-square test를 통해 산출된 p-value에 따른 Lognormal 분포의 적합도 순위

참 고 문 헌

남병현, 윤미정, 이진홍, 최진수, 백성욱, "확률론적 위해도 평가를 위한 대기중 농도 분포에 대한 적합도 검정," 한국대기보전학회 추계학술대회, 경북, 1998.

Charles N. Hass (1997) Importance of distribution form in characterizing inputs to Monte Carlo risk assessment, Risk Analysis, 17, 1, 107-113.

Greenberg, A.E., Clesceri L.S., Eaton A.D. (1995) Standard Method, 19th edition, American Public Health Association, 3.6.