

## PA17) 대규모 산업지역 환경대기 중 중금속 농도 분포

### Atmospheric Concentrations of Heavy Metals in Large Industrial Areas

박영화 · 전미경 · 한진석<sup>1)</sup> · 이민도<sup>1)</sup> · 백성욱

영남대학교 대학원 환경공학과, <sup>1)</sup>국립환경과학원

#### 1. 서 론

중금속 물질들의 인체 위해성에 대해서는 오래전부터 많은 연구들에 의해 널리 알려져 왔다. 또한 최근에는 well-being과 LOHAS(Lifestyles of Health and Sustainability) 문화가 확산되면서 중금속을 포함한 유해물질들에 대한 관심이 증대되고 있다. 환경 대기 중에서의 중금속 측정은 상시 측정소를 비롯한 많은 연구자들에 의해 실행되고 있는데, 본 연구에서는 일반대기보다 오염정도가 심각한 것으로 알려져 있는 대규모 국가 산업지역에서의 대기 중 중금속 농도분포를 파악하고자 하였다. 대표적 국가 산업지역인 경기도의 시화·반월 산업지역 그리고 산업지역과 거리적으로 다소 떨어진 인근주거지역을 중심으로 계절별로 중금속 측정을 실행하였다. 중금속 분석방법에는 크게 파괴법과 비파괴법이 있는데, 본 연구에서는 파괴법으로 추출산을 이용하여 microwave방법으로 추출하고, 이를 ICP-AES로 분석하였다(Sandeep et al., 2000; Valerie et al., 2003).

#### 2. 재료 및 방법

경기도에 위치한 시화·반월 산업지역에서 시화공단과 반월공단으로 나누어 공단지역으로 대표되는 두 지점과 주거지역으로 대표되는 두지점 그리고 산업지역과 거리적으로 15km이상 떨어진 곳에 대조지점으로 두지점 선정하여 중금속 측정을 하였다. 2005년 8월과 10월, 2006년 1월과 4월에 각 지점별로 12일간 연속, 동시 측정하였다. High-volume 샘플러(Tisch Environment Inc, USA)에 8"×10" 석영섬유 필터(Whatman QMA, England)를 장착하여 550~600L/min의 유량으로 24시간 연속 채취하였다.

본 연구에서는 파괴법 중 예전에 많이 사용되었던 hot-plate방법보다 회수율이 높다고 알려진 마이크로웨이브(Terminal 640 microwave, Milestone Inc., Italy)를 사용하여 중금속 물질을 추출하였다. 추출에 사용한 추출산은 HPLC급 산용액으로 미국 EPA IO-3 method에서 권장하는 희석황수(5.55% HNO<sub>3</sub>와 16.75% HCl 혼합용액)를 사용하였다(US EPA 1999). 추출산의 희석에는 초순수(18.2MΩ, USE<sup>ELGA</sup>, England)를 사용하였다. 추출된 용액에서 필터를 포함한 부유물을 제거하기 위해 미국 EPA의 IO-3 method를 준용하여 부유입자를 여과하는 대신 원심분리기를 이용하여 부유입자를 침전 시키는 방법을 택하였다. 원심분리 후 상등액을 분취하여 분석 전까지 냉장 보관 하였다.

전처리가 완료된 시료용액은 ICP-AES 즉, 유도결합플라즈마 방출 분광광도계(OPTIMA 3000, Perkin Elmer Inc., USA)를 이용하여 분석하였다. ICP-AES 분석 시 검량선을 작성하고 정량을 하기 위해 23개 물질이 혼합된 표준용액(ICP multi element standard Solution IV CertiPUR<sup>®</sup>, Merck Co., Inc, Lot No. OC467566)을 사용하였다. 측정대상 물질 중에 혼합표준용액에 포함되어 있지 않은 As, V는 개별 표준용액을 사용하였다. 검량선 작성용 표준용액의 희석 배수는 측정대상 물질들의 예상 농도범위를 추정하여 0.1, 1, 10mg/L 수준으로 초순수를 이용하여 희석, 제조하였다.

본 분석방법의 정확성을 평가하는 정도관리의 일환으로 대기 중 중금속 분석의 정도관리에 많이 사용되고 있는 NIST SRM 1648를 시료와 동일한 방법으로 전처리, 분석하여 회수율을 평가하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

2005~2006년간 시화·반월 산업지역에서 측정된 중금속 농도를 연간자료로 정리하여 표 1에 나타내었다. NIST SRM 1648을 이용한 회수율 평가에서 Cr과 Be를 제외한 다른 중금속들은 81.4~98.2% 수준으로 평가되었다. Cr의 경우에는 24.8%로 낮게 평가되었는데 다른 연구결과를 살펴봐도 회수율이

30%를 넘지 못하는 것으로 조사되었다. Cr의 경우 산을 이용한 추출방법으로는 만족스러운 추출효율을 얻을 수 없는 것으로 판단된다. Be의 경우 NIST SRM 1648에서 제시하는 인증물질에 포함되지 않은 물질이어서 회수율을 얻지 못하였다. 표 1에는 회수율을 보정하지 않은 농도값을 통계처리하여 나타내었다.

Table 1. Annual concentrations( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) of heavy metal at industrial and residential sites in Sihwa and Banwol industrial complexes.

Compound	Sihwa site				Banwol site				Pocheon & Daebudo site	
	Industrial(n=48)		Residential(n=48)		Industrial(n=48)		Residential(n=48)		Residential(n=48)	
	Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max
Cd	6.2	24.2	6.1	22.0	11.8	79.1	5.4	16.9	2.3	7.4
Co	8.9	99.1	2.3	8.5	3.2	9.8	2.8	8.4	1.3	7.4
Cr	58.3	153.9	17.2	37.2	40.9	172.1	21.8	48.1	4.8	23.2
Ni	33.0	91.7	14.4	27.4	28.8	113.5	16.0	40.9	5.1	14.1
Pb	264.4	1421.4	168.2	587.7	460.0	4086.2	153.7	566.9	49.2	183.1
Be	0.2	0.6	0.3	1.0	0.2	0.6	0.2	0.8	0.2	0.7
V	10.1	48.3	8.5	39.4	7.6	33.3	8.7	37.6	5.9	38.7
As	8.6	26.1	7.6	26.3	9.2	30.5	7.9	27.7	4.1	17.2
Fe	4475.5	19112.0	2991.7	15451.4	3719.9	14403.0	3768.8	15462.3	1453.4	13838.3
Mn	159.6	534.8	95.4	422.2	123.3	385.7	104.2	416.9	45.8	384.7
Zn	757.1	3214.9	466.2	1084.8	909.8	2280.8	466.9	1332.6	113.9	380.1

표에서 보는 바와 같이 두 공단지역 모두 대부분의 중금속 물질들이 주거지역 보다 공단지역이 높게 측정되었다. 특히 Cd, Co, Cr, Ni, Pb, As, Mn, Zn과 같이 산업활동과 관계가 있는 물질들은 주거지역보다 공단지역이 1.5배 이상 높게 측정되었다. 이는 대기 중 중금속 농도가 공단지역의 산업활동에 영향을 받는다는 것으로 평가할 수 있다. Cr, Ni, Fe, Mn과 같은 전자, 금속 산업과 관련된 물질은 시화공단이 반월공단 보다 다소 높게 측정되었다. Pb, As와 같은 연소와 관련된 중금속의 경우 시화공단보다 반월공단지역에서 좀 더 높게 측정되었다. 시화·반월공단 지점에서의 주거지역은 공단과 가까운 거리의 주거지역으로 공단과 15km이상 떨어진 포천과 대부도의 주거지역보다 더 오염된 것을 알 수 있었다. 공단인근에 위치한 주거지역 일수록 공단에서 배출되는 중금속에 더 큰 영향을 받는 것을 나타낸다고 할 수 있다. 공단 인근 주거지역이 대조지역의 주거지역과 같이 보다 청정한 대기질로 개선되기 위한 관리대책이 마련되어야 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 국립환경과학원 「시화·반월지역 유해대기오염물질 조사연구」의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- Sandeep A. Bhandari and Dulasiri Amarasiriwardena (2000) Closed-vessel microwave acid digestion for commercial maple syrup for the determination of lead and seven other trace elements by Inductively coupled plasma-mass spectrometry, *Microchemical Journal*, 64, 73-84.
- Valerie Sandroni, Clare M.M. Smith, and Aoife Donovan (2003) Microwave digestion of sediment, soils and urban particulate matter for trace metal analysis, *Talanta*, 60, 715-723.
- US EPA Compendium method IO-3.4. (1999) Determination of metals in ambient particulate matter using inductively coupled plasma(ICP) spectroscopy.