

## PB4) 울산의 산업지역 내 토양 중 중금속농도 분석

### Analysis of Heavy Metal in Soil on Industry Area of Ulsan

김정기 · 이병규 · 김수홍<sup>1)</sup> · 문종익<sup>2)</sup>

울산대학교 건설 환경공학부, <sup>1)</sup>(주) SGR Tech, <sup>2)</sup>동의공업대학 환경과학연구소

#### 1. 서 론

울산은 1970년대부터 산업도시화가 이루어져 우리나라의 국가경제를 주도하여왔다. 지난 30여 년 동안 개발위주의 발전을 이루어왔다. 그 결과 온산의 비철금속공단, 석유화학단지, 조선 및 기계자동차공단 등에서의 원료, 공정, 처리과정에서 대기로 배출된 중금속의 침적과 토양 중으로 직접적인 유출된 중금속에 의한 토양 오염이 심각하게 이루어 졌다. 토양이 중금속으로 오염되었을 경우 토양중의 공극에서 공기의 흐름이나 지하수 등의 매개체를 통하여 이동하여 생태계로 재 유입되어 생태계 및 인체에도 심각한 악영향을 미칠 수 있게 된다. 따라서 울산의 산업지역내의 토양에 오염된 중금속을 지속적이고, 효율적으로 관리하기 위해서는 이 지역의 Data Base 구축이 절대적으로 필요한 실정이다. 본 연구는 울산의 산업지역 중 석유화학단지, 용연공단, 여천공단을 중심으로 각 공단의 토양중의 중금속의 농도를 분석하여보았다.

#### 2. 연구 방법

본 연구의 대상지역은 중금속의 오염가능성이 높은 울산의 석유화학단지, 용연공단, 여천공단을 중심으로 각 공단을 격자형으로 나누어 각 해당 지점 당 1개 지점을 선정하여 표토시료(0~1m)를 채취하여 표토시료를 다시 3단계(0~20cm, 20~50cm, 50~100cm)로 구분하여 왕수추출법으로 중금속을 전량 추출하였다. 분석은 ICP-MS를 사용하였다. 표토시료에 대한 분석결과를 바탕으로 오염이 심하게 이루어진 지역을 대상으로 심토시료(1~5m)를 채취하여 4단계(1~2m, 2~3m, 3~4m, 4~5m)로 구분하여 표토시료와 동일하게 분석을 실시하였다. ICP-MS로 분석된 결과에 Enrichment Factor를 대입하여 해당시료의 중금속의 오염도에 대한 개연성을 평가하였다. Enrichment Factor의 적용기준은 Bowen이 1979년 발표한 전 지구적인 지각의 평균 농도 값을 사용하였고, Reference Metal은 Sc(스칸듐)을 사용하였다. Sc를 사용한 이유는 Sc가 인위적인 오염에 의해 배출되지 않는 금속이기 때문이다. 본 연구에서 분석한 표토시료는 석유화학단지 19지점 57점, 용연공단 16지점 48점, 여천공단 19지점 57점 총 162점이고 심토시료는 석유화학단지 10지점 26점, 용연공단 10지점 29점, 여천공단 10지점 33점 총 88지점을 대상으로 연구를 진행하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

표 1, 2, 3은 석유화학공단, 용연공단, 여천공단의 중금속오염이 심한지점을 대상으로 오염 중금속의 농도와 Enrichment Factor를 나타낸 것이다.

Table 1. 석유화학공단의 As, Cd, Zn, Hg에 오염된 지점의 중금속농도와 EFs.

POINT	깊이(cm)	As		Cd		Zn		Hg	
		EFs	농도( $\mu\text{g/g}$ )	EFs	농도( $\mu\text{g/g}$ )	EFs	농도( $\mu\text{g/g}$ )	EFs	농도( $\mu\text{g/g}$ )
UL-2	0-20	9.76	17.10	31.87	3.26	1.99	52.35	3.88	0.068
	20-50	45.52	94.30	27.11	3.28	1.41	43.79	4.63	0.096
	50-100	1.70	2.45	37.95	3.20	0.68	14.62	1.67	0.024
UL-3	0-20	7.85	16.50	27.52	3.37	2.91	91.70	3.57	0.075
	20-50	5.33	16.00	18.57	3.25	1.04	46.58	1.25	0.037
	50-100	32.64	92.80	19.75	3.28	0.95	40.72	1.24	0.035
UL-19	0-20	83.44	175.00	0.00	0.00	2.12	66.79	10.64	0.223
	20-50	46.06	104.00	0.00	0.00	0.92	31.13	1.92	0.043
	50-100	8.19	15.60	0.00	0.00	1.23	35.01	3.93	0.075

Table 2. 용연공단의 As, Cd, Zn, Hg에 오염된 지점의 중금속농도와 EFs.

POINT	깊이(cm)	As		Cd		Zn		Hg	
		EFs	농도(μg/g)	EFs	농도(μg/g)	EFs	농도(μg/g)	EFs	농도(μg/g)
YY03	0-20	19.16	24.30	78.95	5.84	40.07	762.40	20.18	0.256
	20-50	13.87	29.30	5.96	0.73	15.88	503.20	4.21	0.089
	50-100	13.18	32.90	5.94	0.87	9.46	354.36	1.80	0.045
YY05	0-20	3.35	12.90	5.81	1.31	6.37	368.56	11.70	0.451
	20-50	13.58	16.60	21.97	1.57	11.22	205.72	30.59	0.374
	50-100	6.15	11.00	3.90	0.41	4.42	118.52	6.38	0.114
YY19	0-20	48.62	85.30	7.95	0.81	5.91	155.50	5.67	0.099
	20-50	27.54	42.70	40.21	3.64	5.45	126.70	11.17	0.173
	50-100	10.62	27.00	23.55	3.49	1.79	68.24	2.04	0.052

Table 3. 여천공단의 As, Cd, Zn, Hg에 오염된 지점의 중금속농도와 EFs.

POINT	깊이(cm)	As		Cd		Zn		Hg	
		EFs	농도(μg/g)	EFs	농도(μg/g)	EFs	농도(μg/g)	EFs	농도(μg/g)
YC04	0-20	112.53	123.00	13.30	0.85	24.96	409.20	17.47	0.191
	20-50	9.69	15.70	2.41	0.23	4.04	98.04	7.29	0.118
	50-100	8.89	16.80	1.97	0.22	3.13	88.64	0.74	0.014
YC17	0-20	19.75	25.00	31.43	2.32	19.40	368.50	22.35	0.283
	20-50	7.82	16.30	4.23	0.52	2.53	79.28	10.35	0.216
	50-100	6.95	13.80	1.38	0.16	1.54	45.76	16.14	0.321
YC23	0-20	75.43	124.40	1.98	0.19	3.70	91.45	17.33	0.286
	20-50	41.02	108.00	0.73	0.11	1.85	72.89	12.92	0.340
	50-100	59.25	142.40	1.57	0.22	4.67	168.20	6.96	0.167

위의 표를 분석하여 보면 As에 대한 오염도가 석유화학단지, 여천공단, Cd은 용연공단과 석유화학공단, Zn, Hg은 용연, 여천공단에서 특히 이루어진 것으로 분석이 되었다. 농도뿐 아니라 Enrichment Factor를 적용해 보았을 때 인위적인 오염의 개연성이 높다고 판단되는 10이상의 수치를 여러 번 기록하고 있기 때문에 이 지역에서의 오염은 대기로의 오염물질 배출, 물, 토양 유출과 같은 인위적인 활동의 산물에 대한 결과라고 사료된다. 위에서 나타낸 As, Cd, Zn, Hg 뿐만 아니라 위의 결과로 나타내지 못한 다른 중금속들도 오염이 심하게 이루어진 상태를 알 수 있었다. 이러한 결과로 울산의 산업지역 내의 중금속에 대한 오염도는 인위적인 오염이 주로 이루어졌으며, 오염의 정도 또한 심각하게 이루어졌기에 이 지역들에 대한 추후의 정밀한 분석과 오염 발생원의 추적, 발생원의 유지관리가 절실히 필요하다고 판단된다. 추후 왕수추출법과 공정시험법과의 분석농도비교를 통한 상관관계를 분석하여 울산지역의 중금속농도분석의 신뢰도를 높이고, 각 지역에서의 Leaching Test를 통하여 토양층의 중금속의 이동 경로와 특성을 파악해 보고, 울산의 조선 및 기계·자동차공단에 대한 분석을 추가로 실시할 예정이다.

### 참 고 문 헌

- Tessier et al. (1979) Sequential Extraction Procedure for the Speciation of particulate Trace Metals, Analytical Chemistry, Vol. 51 No7 June, p.884~851.
- Bowen (1979) Environmental Chemistry, Academic press new York
- 전효택 외 3인 (1998) 환경지질학, 서울대학교 출판부, p.112~116.
- 정명채 (1999) 휴/폐광 금은광산 주변의 토양오염조사와 복구시스템 연구, Econ, Environ. Geol Vol32. NO.1, p 73~82.
- 최병순 (1999) 토양오염개론, 동화기술, p.130~142.