

# 공주 폐기물매립지 주변 토양 및 지하수환경의 오염특성

박성원<sup>1)</sup>, 이평구<sup>1)</sup>, 이진수<sup>1)</sup>, 김연기<sup>1)</sup>, 지세정<sup>1)</sup>, 이대하<sup>1)</sup>

## 1. 서론

최근 쓰레기 매립지로 인한 주변의 환경오염 문제가 많은 관심을 모으고 있다. 현재 생활 및 산업 폐기물의 과반수 이상이 매립 처리되고 있으나 대부분이 차수시설이 갖추어져 있지 않은 불량매립지이며, 이로부터 발생하는 침출수는 토양 및 지하수로 침투되어 주변환경을 오염시키고 있다. 오염된 토양 및 지하수를 복원시키는 것은 상당한 시간과 노력이 요구되므로 이러한 매립지의 특성을 면밀하게 분석하여 적절한 대책을 수립하는 것이 무엇보다 시급하다. 1997년 2월 현재 사용 종료된 매립지는 898개소이며, 그 중 약 10%인 88개소만이 침출수를 자체처리하고, 82%인 741개소는 처리되지 않는 불량 매립지인 것으로 조사되었다(국회환경포럼, 1999).

연구지역인 금홍동매립지는 서측의 정안천 및 북측의 중산천 사이에 위치하며, 본역의 넓은 부분은 현재 논과 밭으로 경작중에 있다. 1983년부터 1999년까지 생활쓰레기를 매립해 왔으며 현재 복원계획에 의한 정비사업이 진행중이다. 이번 연구에서는 지구화학적연구를 통한 매립장 및 주변 토양 및 지하수의 중금속/유기물 오염특성을 밝히고자 한다.

## 2. 연구방법

시료채취는 매립장을 중심으로 침출수에 의한 오염영향이 예상되는 주변의 지표수, 침출수, 지하수 및 토양을 대상으로 하였다. 물시료는 계절적 변화 양상을 고려하여 건기인 2000년 4월, 우기인 8월과 9월의 세차례에 걸쳐 총 31지점에서 채취 하였으며, 그외 휘발성유기물질(Volatile Organic Compound: VOC) 분석용으로 14개 시료가 채취되었다. 토양시료는 매립장의 중간복토재와 하부 점토(논)에 대해 포크레인과 대형 오거(auger) 시추기를 이용하여 매립장 상부 8지점에서 심도별로 채취되었다. 이외, 매립장 주위 논과 밭의 토양시료, 주변 하천의 표사시료 및 배경값 설정을 위한 시료 채취가 이뤄졌다. 또한, 물시료는 채수 즉시 현장에서 온도, pH, EC 및 Alkalinity 등을 측정하였으며, 0.45  $\mu\text{m}$  멤브레인 필터로 여과후, 음이온 분석용 시료는 진공 튜브(15ml)에 냉장 보관하였고, 양이온 분석용 시료는 100ml 폴리에틸렌 병에 넣고 질산 처리후 상온 보관하였다. 안정동위원소 측정용 물시료는 진공 튜브(15ml)에 채취하여 냉장 보관하였다. 한편 VOC 분석용시료는 HCl을 보존제로, 40ml 유리용기를 사용하여 Zero Head Space를 유지하도록 채수하여 냉장 보관하였다. 한편 토양시료는 산용액으로 세척한 고밀도 폴리에틸렌병에 담아 아이스박스에 보관 이동하였다.

실험실에서 2mm 체로 습식으로 여과한 뒤 50°C에서 2일 동안 건조 후 agate mortar로 분쇄한 시료를 대상으로 중금속 함량을 분석하였다.

물시료 중의 양이온은 Join-Yvon사의 ICP-AES인 Geoplasma(Model BJY-70), 음이온은 Ion Chromatography(Dionex)로 분석하였다. 수소 및 산소 안정동위원소비는 가스-질량분석기(Finnigan MAT-252)로 측정하였으며, VOC분석은 기체크로마토그래프(HP, 5890)와 질량 분석기(HP, MSD 5971)를 사용하였다. 토양시료 분석은 전함량분석, 연속추출분석 및 토양환경보전법에 따른 분석이 수행되었다. 토양내 중금속함량의 분석은 ICP-AES (Perkin- Elmer Optima 3000XL)를, 양이온은 Join-Yvon사의 Geoplasma(BJY-70)를 이용 정량분석 하였으며, 음이온은 Ion Chromatography (Dionex)로 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 1) 지하수/지표수/침출수 오염

금홍동매립지는 주로 공주시의 생활쓰레기가 매립된 원계로 중금속오염은 높지 않으나 매립장을 중심으로 주변의 침출수, 지하수 등을 비교하면, Fe, Mn 및 Cr, Cd, Co, Ni, Pb 등의 함량이 매립장 중앙부에 개설된 관측정 시료에서 가장 높고 주위로 가면서 낮아지는 경향을 뚜렷이 보여주고 있으며, 그외 Cl, Na, EC, COD, DOC 등에서도 침출수의 확산에 따른 함량 변화를 잘 보여주고 있다. 한편, 주변 시료중에서 특히 G7, G6위치 지하수시료에서 특징적으로 높은 함량을 보여주고 있는데, 이는 본 역의 지하수유동 방향 및 매립장에서의 시추작업에 의해 확인된 하부 차수재(논토양) 경계면 기울기 등을 고려할 때 침출수의 확산결과로 예측되며, 이는 본 연구와 동시에 실시된 물리탐사자료 해석과도 일치하는 결과로 G7, G6 방향으로의 침출수 이동을 예측할 수 있다.

또한 매립지에서의 유기물오염 현황 및 확산을 조사하기 위해 침출수 시료등을 채취하여 VOCs 61성분에 대한 분석을 실시한 결과, 11개 시료 중 7개 시료에서 VOCs가 하나 이상 검출되었으며, 61개 성분 중 검출된 성분은 벤젠, 톨루엔, MTBE 및 solvent류 등 총 10개 성분이다. 매립지 중앙에 설치된 관측공(T2-1) 시료가 가장 많은 성분이 검출됐으며, 특히 가솔린의 주성분인 톨루엔이 가장 많은 지점에서 검출되었다. 한편 T2-1과 G2-11 시료에서 각각 8.3, 0.1ppb의 MTBE가 검출되었다. 가솔린 산화제로 쓰이는 MTBE는 최근 지하수오염의 주요 원인물질로 밝혀지고 있으며, 미국의 경우 지하수 시료중 27%에서 검출된 것으로 보고되었으며, 국내 휘발유에도 6-8%의 MTBE가 함유되어 있는 것으로 알려졌다. MTBE는 높은 용해도로 인해 오염확산 속도가 빠르고 광범위하여 심부 지하수로의 확산 가능성이 높은 것으로 알려졌다. 이상의 결과로 볼 때 본 매립지역에서의 VOC 오염확산이 진행되고 있음을 예측할 수 있다.

매립지 남측에 개설된 관측정 중 매립지와 가장 가까이 위치하여 매립지로 부터의 오염물 이동 가능성이 큰 공(M1)에 대해 산소 안정동위원소, EC, NO<sub>3</sub> 및 Cl<sup>-</sup>의 수직적 변화를 보기 위한 수위별 시료채취가 이뤄졌다. Fig. 1은 분석 결과에 대한 산소안정동위원소비 값과 EC, NO<sub>3</sub>, Cl<sup>-</sup>과의 관계를 보여준다. 결과에 의하면, 심도가 깊어짐에 따라 산소안정동위원소비 값은 각각 -8.26‰~-9.02‰로 동위원소가 가벼워지는 특성을 보여준다. 한편, 산소 안정동위원소비 값과 EC, NO<sub>3</sub>, Cl<sup>-</sup>은 수위가 깊어짐에 따라 거의 같은 변화 양상을 보여주고 있으며, 이는 안정동위원소 비값의 오염 지시인자로서의 역할 가능성을 지시는 결과이다.

#### 2) 토양오염

공주매립지의 복토재와 차수재(논 점토)에서 채취한 시료의 중금속 및 미량원소의 전함량 분석과 토양환경보전법의 전처리 방법으로 분석한 결과 일부시료에서 아연함량이 높은 것을 제외하면, 어떤 중금속 함량도 환경적인 측면에서 문제가 되지 않았다.

매립장에서 채취한 시료의 경우, fraction I에서 양이온으로 치환되는 As, Co, Mn, Ni, 함량 비율이 오염되지 않은 토양보다 감소하며, 유기물 혹은 황화광물과 수반된 As, Cu, Ni 및 Pb 함량비율은 증가되었다. 이 결과는, 매립지에서 채취한 시료에서는 오염되지 않은 토양에서보다 fraction I의 역할이 감소하는 반면에 fraction IV의 역할이 매우 중요하게 변화된다는 것을 지시한다. 또한 미량원소의 상대적인 이동도는 Cd와 Sr이 가장 크며, Al이 가장 안정한 상태로 존재하는 것으로 추정된다. Cu와 Pb의 이동도가 Zn보다 큰 것은 Cu와 Pb의 상당량이 유기물과 수반되기 때문으로, 이것은 오염되지 않은 토양에 비해 매립지에서 채취한 시료에서는 쓰레기의 분해과정에서 발생한 여러 종류의 유기물과 금속이온이 착이온을 형성하여 안정된 상태로 존재하는 것을 지시한다.

매립장 중간복토재와 차수재(논점토) 및 주변토양에 대한 중금속 오염평가를 위해 geoaccumulation indices(Igeo)와 enrichment factor(EF)를 이용하였다. Igeo 값을 검토한 결과 (Table1), 매립지에서 가장 오염된 원소는 Cd와 Cu이며, 각각 평균 4.0과 3.0으로 Strongly polluted와 Moderately/Strongly polluted에 해당된다. EF를 검토한 결과(Table 2) 가장 오염정도가 심한 원소는 Cu로 EF 값이 평균 16.9이고, Ni의 평균 EF 값은 2.8, Zn의 평균 EF 값은 2.4, Cr의 평균 EF값은 2.1 이었다. 이들 원소는 매립지 주변 오염되지 않은 토양보다 2배 이상 오염되었다는 것을 지시한다. 이로써, 매립지 주위의 논과 밭은 매립지의 침출수의 범람에 기인되어 Cu, Cr과 Ni 오염이 주변 농경지 보다 최소 2배 이상인 것으로 추정되며, Igeo와 거의 일치한다. 매립장 복토재와 차수재에서 채취된 시료와 침출수의 범람으로 오염된 밭과 논에서 채취한 시료는 오염되지 않은 배경시료보다 Cu, Ni, Cr의 농집현상이 매우 뚜렷하게 관찰되었고, 이는 매립장 침출수에 의한 오염인 것으로 판단된다.

#### 4. 참고문헌

1. 국회환경포럼, 1999, 토양환경문제 워크샵, p. 101.
2. Dixon K.K., 1992, Preliminary assessment(PA) report for the old Norman landfill, Oklahoma State Department of Health, Oklahoma City.
3. Tessier, A., Campell, P.G.C. and Bisson, M. (1979) Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. Anal. Chem., v. 51, p. 844-851.

#### 5. 사사

본 연구는 한국지질자원연구원 기관고유사업의 지원으로 수행되었다.

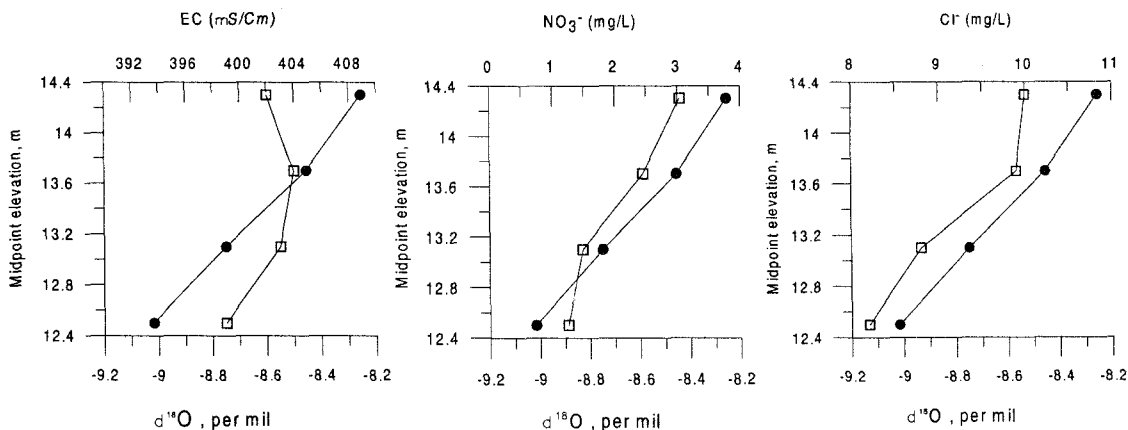


Fig. 1.  $\delta^{18}\text{O}$  versus  $\text{EC}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  profiles for water sample from the monitoring-well (●:  $\delta^{18}\text{O}$ , □:  $\text{EC}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ).

Table 1. Calculated indices of geoaccumulation for trace metals.

Element	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
<i>Samples from landfill (22)</i>									
mean	0.3	0.3	4.0	0.5	1.2	3.0	1.5	0.6	0.9
max	1.2	1.6	6.5	1.2	2.6	6.4	2.6	2.7	4.0
min	-0.9	-0.7	0.6	-0.1	0.0	0.4	-0.1	-0.9	-0.2
sd	0.6	0.7	1.6	0.4	0.6	1.6	0.8	0.7	0.9
<i>Samples from farmland (5)</i>									
mean	0.2	0.3	3.0	0.4	1.4	1.6	1.2	0.2	0.0
max	1.0	0.7	5.7	1.0	2.4	2.7	2.2	0.7	0.5
min	-0.8	-0.5	1.6	-0.8	-0.4	-1.4	-0.8	-1.0	-1.1
sd	0.6	0.5	1.9	0.8	1.3	1.7	1.3	0.7	0.6

( ): number of samples.

Table 2. Calculated enrichment factor for trace metals.

Element	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
<i>Samples from landfill (22)</i>									
mean	1.3	1.4	0.0	1.2	2.1	16.9	2.8	1.5	2.4
max	3.9	3.0	0.0	2.0	3.6	128.5	6.5	6.0	15.5
min	0.5	0.7	0.0	0.6	0.8	0.8	0.6	0.5	0.6
sd	1.0	0.7	0.0	0.4	0.9	29.3	1.8	1.2	3.2
<i>Samples from farmland (5)</i>									
mean	1.2	0.8	0.0	1.3	2.6	3.4	2.3	1.1	0.9
max	1.6	1.0	0.0	1.9	3.8	5.3	3.3	1.4	1.2
min	0.9	0.8	0.0	1.0	1.3	0.6	1.0	0.9	0.7
sd	0.3	0.1	0.0	0.4	1.2	1.8	1.0	0.2	0.2

( ): number of samples.

주요어 : 폐기물매립지, 침출수, 중금속/유기물오염, 안정동위원소

1) 한국지질자원연구원 환경지질연구부