

## 국내 A 쓰레기 매립지의 침출수와 생성기스의 지구화학적 특성

이광식\*, 고경석\*\*, 김재곤\*\*

\* 한국기초과학지원연구원

\*\* 한국지질자원연구원

kslee@kbsi.re.kr

### 요약문

국내 A군에서 운영중인 한 쓰레기 매립지에서 배출되는 침출수와 주변 지하수를 채취하여 화학분석과 동위원소 분석을 실시하였다. 그리고 생활 쓰레기가 분해되는 과정에서 생성되는 가스들을 채집하여 동위원소 분석을 실시하였다. 유기물 분해로 생성된 이산화탄소는 일차적으로 침출수의 알칼리도를 높이고 이차적으로 일어나는 이산화탄소의 환원작용에 의하여 메탄가스가 형성되었다. 이러한 과정에서 침출수내의 용존무기탄소(DIC)의 탄소 동위원소 조성이 부화되었으며, 아울러 생성된 메탄과의 수소 동위원소 교환반응에 의하여 침출수의 수소 동위원소 조성이 크게 부화되는 특징이 관찰되었다. 쓰레기장에서 발생하는 혼합가스에서 이산화탄소를 분리하여 탄소 동위원소 조성을 분석해 본 결과 새로운 매립지 보다 오래된 매립지에서 배출되는 이산화탄소의 탄소 동위원소 조성이 부화되는 특징이 관찰되었다.

주요어 : 쓰레기 매립지, 침출수, 환원작용, 메탄가스, 이산화탄소, 용존무기탄소

### 1. 서 언

연구를 실시한 A 쓰레기 매립지는 약 7-8년 전부터 생활 쓰레기 매립이 시작되었으며 현재도 매립이 진행 중에 있다. 이 연구는 A 쓰레기 매립지에서 침출수와 배출가스들의 화학분석과 동위원소 분석을 통하여 생활 쓰레기의 분해가 이루어지는지는 과정과 그 정도, 그리고 주변 지하수들에 대한 오염 현황을 알아보기 위하여 수행 되었다.

### 2. 시료채취 및 분석

쓰레기 매립장 침출수와 주변 지하수를 채취하여 화학분석 및 동위원소 분석을 실시하였다. 수소이온농도 및 전기전도도는 현장에서 측정되었다. 알칼리도는 시료 채취 후 8시간 내에 0.1N HCl을 이용한 적정법으로 측정되었다. 양이온은 AAS, ICP-AES 및 ICP-MS를 이용하여 분석하였고 음이온은 이온크로마토그래프로 분석하였다. 물의 산소 동위원소 분석을 위하여 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> 평형법으로 시료를 준비하였다. 수소 동위원소 분석을 위하여 약 0.2  $\mu$ l의 물 시료를 금속크롬에 반응시켜 자동분석 하였다. 용존무기탄소(DIC)의 탄소동위원소 분석을 위하여 인산과 마그네슘을 미리 넣고 진공을 잡은 유리병에 주사기와 0.45  $\mu$ m 필터를 이용하여 물을 주입한 후 실험실에서 CO<sub>2</sub>를 분리하였다. 동위원소 분석은 한국기초과학지원연구원의 안정동위원소 질량분석

기(영국 GV사의 모델 Isoprime)로 분석하였다. 산소와 탄소 동위원소의 분석정밀도는 약  $\pm 0.1\%$ 이고 수소 동위원소의 분석정밀도는 약  $\pm 0.5\%$ 이다.

### 3. 결과 및 해석

매립장 침출수와 주변 지하수는 서로 뚜렷이 다른 화학특성을 보이고 있다 (그림 1). 침출수들은 오염되지 않은 주변 지하수에 비하여 전기전도도( $>600 \mu\text{S/cm}$ )와 알칼리도가 높은 값을 보여주며 일부 지하수들도 침출수들에 의해 영향을 받아 전기전도도, 알칼리도, Cl, Na, K 등의 함량이 배경 지하수보다 높다.

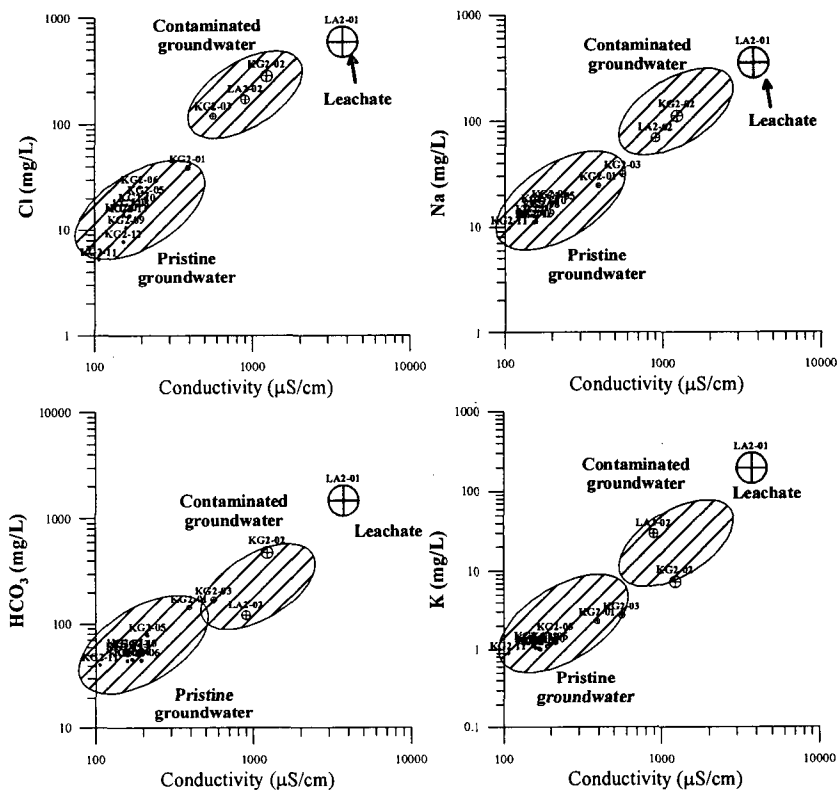


그림 1. 오염되지 않은 지하수에 비하여 쓰레기 매립장에서 배출되는 침출수는 용존이온의 함량이 크게 부화되어 있으며, 일부 지하수들은 침출수에 의하여 오염이 상당히 진행된 특성을 보임.

순환수에서 기원한 물들은 물-암석 반응, 동위원소 조성이 다른 물과의 혼합작용 또는 가스와의 동위원소 교환반응에 의하여 산소와 수소의 동위원소 조성이 변화하게 된다(그림 2). 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 만일 침출수들이 메탄화작용이나 유기물 분해과정에서 만들어진  $\text{H}_2\text{S}$ 와 수소 교환반응을 겪는다면 침출수의 수소 동위원소 조성이 크게 부화되게 된다.

연구지역에서 채취한 지하수들의 산소와 수소 동위원소 조성은 Craig (1961)의 지구순환수선 주변에 잘 도시된다. 그러나 침출수의 수소 동위원소 조성은 크게 부화되어 지구순환수선 상부로 크게 편향되어 도시되고 있다. 이러한 현상은 도시폐기물에 많이 포함되어 있는 유기물이 환원환경에서 미생물에 의하여 분해될 때 메탄가스가 생성되기 때문에 나타나는 현상이다(Hackley

et al., 1996). 물과 메탄가스 사이의 분별계수( $10^3 \ln \alpha_{\text{H}_2\text{O}-\text{CH}_4}$ )는 상온에서 +100% 이상으로 매우 크기 때문에(Richert et al., 1977), 물과 메탄가스가 접촉을 하여 동위원소 분별작용이 일어나게 되면, 메탄에는 가벼운 수소 동위원소가 농집되고 물에는 수소 무거운 동위원소가 농집되게 된다. 쓰레기 매립장에서 침출수의 수소 동위원소 조성이 크게 부화되는 현상은 일반적인 지하수에서는 일어나지 않는 현상이기 때문에 침출수가 주변 지하수로 유입되었는지를 평가할 수 있는 좋은 지표가 된다.

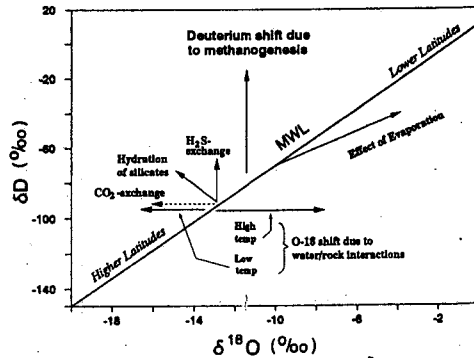


그림 2. 순환수가 다른 물과의 혼합이나 물-암석반응 또는 기체와의 동위원소 교환반응에 의하여 산소와 수소 동위원소 조성이 달라지는 현상을 나타낸 모식도.

침출수의 DIC의 탄소 동위원소 조성은 14.8‰로 일반적으로 온대지방에서 C3식물이 분해되어 생성되는 지하수 DIC의 값인  $\sim -20\%$ 보다 크게 부화되어 있다. 이러한 값은 이산화탄소가 환원되어 메탄이 생성되면서 물에 잔류되는 DIC의 탄소 동위원소 조성이 크게 부화된 것임을 시사하는 증거이다.

주변 지하수와 비교할 때 침출수의 DIC의  $\delta^{13}\text{C}$  값(14.8‰)은 크게 부화되어 있다. 이와 같이 높은  $\delta^{13}\text{C}$  값을 가지는 지하수는 일반적인 경우에는 만들어지지 않지만 유기물이 많은 도시 폐기물이 매립되어 있는 곳에서는 만들어질 수 있다. 즉 유기물( $\text{CH}_2\text{O}$ )은 분해되어 메탄( $\text{CH}_4$ )과 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )가 만들어지는데 이 과정에서  $^{12}\text{C}$ 는  $\text{CH}_4$ 에  $^{13}\text{C}$ 는  $\text{CO}_2$ 에 선택적으로 농축되게 된다. 또한  $\text{CO}_2$ 나  $\text{HCO}_3^-$ 가  $\text{H}_2$ 와 반응하여  $\text{CH}_4$ 가 만들어지는  $\text{CO}_2$  환원작용에 의하여 잔류하는 DIC의  $\delta^{13}\text{C}$  값이 크게 부화되는 현상이 나타나게 된다. 일반적으로 지하수나 토양수의 DIC는 식물이 분해되어 발생한  $\text{CO}_2$ 나 대기에서 유래된  $\text{CO}_2$ 가 녹아서 만들어지기 때문에  $\delta^{13}\text{C}$  값은 2‰ 이하이다. 만일 매립장 주변의 지하수의  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 가 이 값보다 높은 경우에는 유기물 함량이 높아서 자체적으로  $\text{CO}_2$  환원작용이 일어났거나  $\text{CO}_2$  환원작용에 의하여 영향을 받은 침출수에 의하여 영향을 받은 것이라 할 수 있다.

쓰레기 매립장에서 매립이 오래된 곳과 새로 진행 중인 곳에서 발생하고 있는  $\text{CO}_2$  가스를 채집하여 탄소 동위원소 분석을 실시하였다(그림 3). 오래된 쓰레기 매립지의 탄소 동위원소 조성이 새로운 매립지보다 부화되어 있는 현상이 관찰되었는데 이것은 오래된 매립지에서는 유기물 분해가 이미 많이 진행되어 탄소 동위원소 분별이 크게 일어나고 있음을 시사하는 것이다.

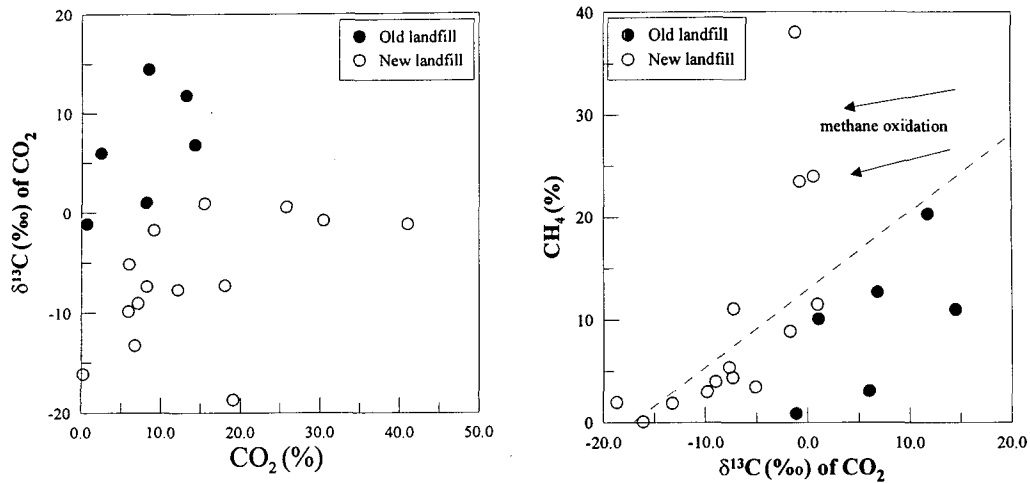


그림 3. 쓰레기 매립장에서 매립이 오래된 곳과 새로 진행 중인 곳에서 발생하고 있는 CO<sub>2</sub> 가스를 채집하여 탄소 동위원소 분석을 실시한 결과, 오래된 쓰레기 매립지의 탄소 동위원소 조성이 새로운 매립지보다 크게 부화되어 있음.

쓰레기 매립장에서 미생물 활동에 의하여 유기물이 분해되어 방출되는 혼합가스로부터 메탄가스를 분리하여 동위원소 분석을 실시하면 유기물 분해에 대한 더 많은 정보를 얻을 수 있다. 이 연구에서는 메탄가스에 대한 연구가 실시되지 못하였지만 2005년도 5월에 한국기초과학지원연구원에 가스크로마토그래프 안정동위원소 질량분석기(GC-C-IRMS)가 설치 예정으로 있기 때문에 앞으로 메탄의 탄소와 수소 동위원소 조성 분석을 실시할 수 있으며, 이번 연구와 유사한 연구들에 크게 활용될 것이다.

#### 4. 참고문헌

- Craig, H., 1961, Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-1703.
- Hackley, K.C., Liu, C.L. and Coleman, D.D., 1996, Environmental isotope characteristics of landfill leachates and gases, *Ground Water*, 34, 827-836.
- Richet, P., Bottinga, Y. and Javoy, M., 1977, A review of H, C, N, O, S, and Cl stable isotope fractionation among gaseous molecules, *Annu. Rev. Earth Planet Sci.*, 5, 65-110.