

# 생활폐기물 매립장내 토양가스 분포와 지하수 수질 특성

고경석, 조춘희, 김통권, 김탁현

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (kyungsok@kigam.re.kr)

## <요약문>

To identify the effect of landfill waste for groundwater and unsaturated air environment, soil gas survey and hydrogeochemical study were executed. The geology of the study area is granite and aquifer is mainly composed of sandy soil. The results of spatial distribution from soil gas showed the boundary of buried waste and processes and degree of waste decomposition. Groundwater contamination by leachate from landfill is controlled by groundwater flow attributed by the original topography and liner.

key word : soil gas, leachate

## 1. 서론

전국에 산재하여 있는 매립장은 대기, 토양 및 지하수의 주요한 오염원중의 하나이다. 특히 지속적으로 발생하는 생활쓰레기는 각 지자체별로 매립장을 건설하여 처리중에 있는 실정이다. 이러한 생활쓰레기 매립장에서 발생되어 비포화대에 농집되는 메탄이나 이산화탄소는 대기중으로 방출되어 오염요인이 되며 쓰레기에서 방출되는 침출수는 지하수로 누출될 경우 주변 지하수 수질에 악영향을 미치게 된다.<sup>1)</sup> 따라서 토양 유해가스의 발생과 이동에 대한 특성을 파악하고 침출수의 지하수로의 이동시 수리지화학적 특성에 대한 연구는 이들의 저감 및 방지 대책을 마련하는데 중요한 일일 것이다.

본 연구의 목적은 생활폐기물 매립장에서 발생하는 토양가스 성분 분석과 공간적 분포를 조사하여 그 특징을 연구하는 것이다. 아울러 침출수와 매립지 주변 지하수의 수리지화학적 특성 및 반응 기작을 연구함으로써 매립장의 환경에 대한 위해 요인을 알아보고자 하는 것이 목적이다.

## 2. 연구방법 및 결과

### 2.1. 연구지역 및 연구방법

연구지역은 전형적인 농촌지역인 소규모 지자체의 생활쓰레기 매립장(K-site)으로서 지질은 화강암으로 이루어져 있다. 매립장내 토양가스 조사를 위하여 탐사식 조사방법(Expedited Site Assessment)에서 제시된 토양가스 측정법<sup>2)</sup> 중 AMS 토양가스 채취 장비를 사용하여 능동적 토양가스채취법(Active

Soil-Gas Sampling Method)을 이용하였다. 토양가스 성분(CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>)는 Geotechnical Instrument사의 IR gas analyser(Model: GA94)를 이용하여 측정하였다. 매립장 주변 지하수의 수리지화학적 특성을 알아보기 위하여 관측공들로부터 지하수를 채취하였다. pH, 온도, 용존산소량, 전기전도도는 현장에서 측정하고 알카리도는 0.05N HCl을 사용하여 분석하였다. 양이온 및 음이온은 전처리한 후 각각 ICP-AES와 IC로 분석을 실시하였다. 용존성분중 NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S 성분 등에 대해서는 현장에서 Spectrophotometer(DR2000)을 이용하여 측정을 실시하였다.

## 2.2 수리지질학적 특성

시추조사에 의하면 매립장 하류부의 논 지역은 상부 30cm 정도는 실트질 모래이며 하부는 5m 정도까지 모래질, 그리고 하부는 화강암의 풍화대가 깊게 발달해 있음을 알 수 있었다. 대수층의 수리지질학적 특성을 살펴보기 위하여 시추공 9개에 대하여 슬러그 시험(Slug test)을 실시하였으며 시험결과는 Table 1과 Fig. 1에 나타나 있다. 지하수의 흐름은 매립장으로부터 하류부에 위치하는 논쪽으로 형성되어 있음을 알 수 있으며 지형적인 영향을 크게 받음을 알 수 있었다 (Fig. 2).

Table 1. The results of slug tests.

| Well   | Bouwer & Rice | Cooper-Bredehoeft-Papadopulos |           |       | BR/C     | LN(BR)/LN(C) | Screen length (cm) |
|--------|---------------|-------------------------------|-----------|-------|----------|--------------|--------------------|
|        | K(cm/s)       | T(cm <sup>2</sup> /s)         | K(cm/s)   | S     |          |              |                    |
| KD-01  | 7.189E-05     | 2.378E+00                     | 1.321E-03 | 0.001 | 0.054415 | 1.439E+00    | 1800               |
| KD-03  | 3.313E-03     | 2.124E+00                     | 2.832E-03 | 0.1   | 1.169962 | 9.732E-01    | 750                |
| KD-03A | 2.080E-03     | 7.720E-01                     | 1.716E-03 | 0.1   | 1.212306 | 9.698E-01    | 450                |
| KD-04  | 2.117E-03     | 9.524E-01                     | 7.937E-04 | 0.1   | 2.666947 | 8.626E-01    | 1200               |
| KD-05  | 1.011E-02     | 6.521E+00                     | 7.246E-03 | 0.1   | 1.395952 | 9.323E-01    | 900                |
| KD-06  | 4.678E-02     | 6.925E+01                     | 7.694E-02 | 0.1   | 0.607942 | 1.194E+00    | 900                |
| KD-07  | 3.879E-03     | 2.165E+00                     | 1.804E-03 | 0.1   | 2.150115 | 8.788E-01    | 1200               |
| KD-08  | 8.883E-04     | 3.702E-01                     | 3.085E-04 | 0.1   | 2.879525 | 8.692E-01    | 1200               |
| KD-09  | 9.708E-04     | 1.979E+00                     | 1.649E-03 | 0.1   | 0.588681 | 1.083E+00    | 1200               |
| KD-10  | 2.122E-03     | 8.322E-01                     | 1.849E-03 | 0.1   | 1.147681 | 9.781E-01    | 450                |

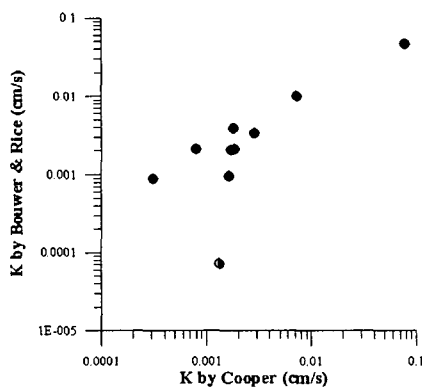


Fig. 1. Comparison of hydraulic conductivity between Cooper and Bouwer-Rice methods.

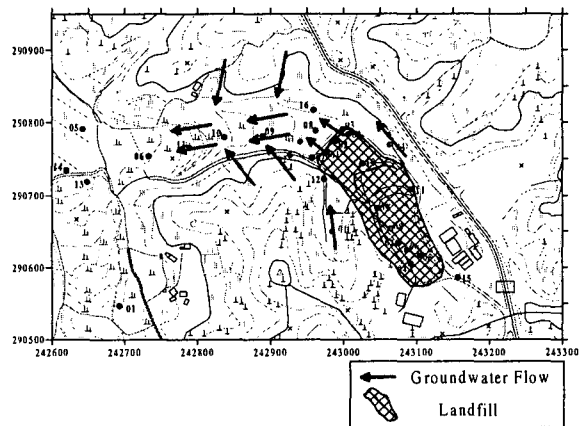


Fig. 2. Site map of the study area indicating the groundwater flow and landfill.

### 2.3. 토양 가스 분포 특성

토양가스는 매립지를 북동과 남서 방향으로 가로지르는 5개의 측선에 대하여 총 60개의 지점의 시료에 대하여 AMS 가스 채취기와 IR 가스측정기를 이용하여 조사를 하였다(Fig. 3). 토양가스 성분은 지표면 하부 80-100cm 지점에서 매립후 분해에 의해 발생되어지는 CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub>의 농도 등을 측정하였다. 이들을 제외한 나머지 성분 즉 대부분 N<sub>2</sub>의 농도는 100%에서 위의 성분을 제외한 나머지 값으로 환산되었다. 매립장내 토양가스의 농도는 매립지 중심부분 즉 측선의 가운데 부분에서 CH<sub>4</sub>의 농도가 매우 높게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 것은 CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> 모두 매립된 곳에서 생화학적 분해 작용의 증가에 따른 것임을 알 수 있었다. 반면 O<sub>2</sub>의 농도는 원지반이나 매립장의 경계부에서 높은 값을 보임을 알 수 있었다. 이러한 특성은 매립장내에서도 분해 속도의 차이가 있어 안정화 대책을 마련하는데 중요한 기초자료가 될 것으로 사료된다. 매립장내에서 측정된 비포화대의 토양가스 성분은 매립지와 원지반과의 경계를 비교적 명확하게 나타내었다. CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> 농도 분포는 또한

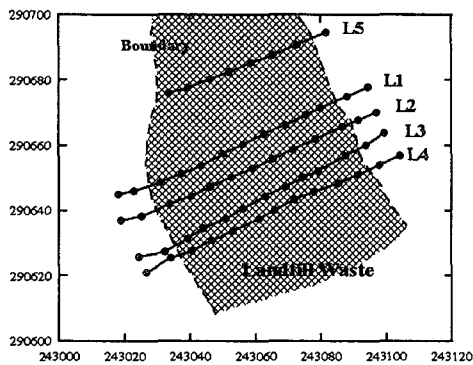


Fig. 3. Measured position of soil gas and assumed boundary area of waste by soil gas data.

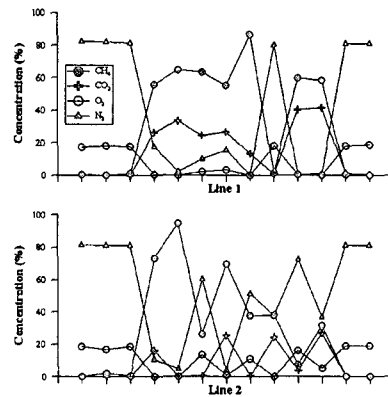


Fig. 4. Soil gas distribution of L1 and L2.

### 2.4. 수리지화학적 특성

매립지 주변의 지하수 조성 분석 결과 침출수는 전기전도도가 3700-4000 $\mu$ S/cm 정도의 값을 나타내며 유기물이 많이 포함되어 검고 노란 색을 띤다. 침출수에 높게 나타나는 성분은 Na, K, Cl로써 각각 350, 195, 594mg/L의 값을 가짐을 알 수 있었다. 침출수에 오염된 지하수는 매립장에서 50m 정도의 범위에 분포하며 전기전도도가 600-1500 $\mu$ S/cm이며 Na, K, Cl은 각각 30-110, 3-8, 120-280mg/L의 값을 가짐을 알 수 있었다(Fig. 6). 이에 반해 침출수의 영향을 받지 않는 지하수는 전기전도도가 100-200 $\mu$ S/cm이며 Na, K, Cl은 각각 9.8-16, 0.9-2.2, 5-15mg/L의 값을 보여줌을 알 수 있었다. 배경지하수에서 거의 검출되지 않는 NH<sub>3</sub>-N이 침출수에서는 200mg/L 정도로 매우 높은 농도를 보여주었는데 이는 쓰레기 분해에 따라 생성되는 암모니아의 영향인 것으로 판단되었다. NH<sub>3</sub>는 토양가스에서도 분해 작용이 아주 심한 곳에서 관찰됨을 또한 확인할 수 있었다. 침출수와 오염된 지하수에서 Fe와 Mn은 환원환경에 놓이기 때문에 높은 농도를 보여준다. 특히 오염된 지하수의 경우 Fe와 Mn이 각각 2.2, 10.4mg/L로 매우 높은 값을 보여주며 이러한 것은 대수층내의 Fe, Mn 광물에 의한 것으로 판단된다. Fe, Mn의 증가는 오염된 지하수의 자연정화 작용의 특성을 보여주는 것이기도 하다. 침출수에서는 특징적으로 주변 배경 지하수보다 Li과 B이 높은 값을 보여줌을 알 수 있었다.

침출수에 의한 지하수 오염은 지하수 흐름과 밀접한 관계를 가지는데 연구지역에서 매립장을 중심으로 동서부 지역이 전혀 다른 특징을 보여주었다. 매립장 동부쪽은 전기전도도가 500 $\mu$ S/cm 정도로 침출수의 영향이 보여지는데 반해 서부쪽은 200 $\mu$ S/cm 정도의 값을 보여주어 침출수의 영향이 관찰되지 않

았다. 연구지역의 매립장은 초기 매립지역인 남쪽부는 불량매립지이며 1990년대 중반이후의 북쪽지역의 매립지는 차폐시설이 되어 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 매립장 서부쪽은 지하수 흐름이 매립장이 조성되기전 원지형이 능선에 의해 나뉘지며 차폐벽으로 인해 침출수가 이동하지 않아 지하수 오염 현상이 나타나지 않은 것으로 사료되었다. 반면 동쪽부는 불량매립지 부분과 지하수 흐름이 연결되어 있어 침출수에 의해 지하수 오염이 진행된 것으로 판단된다.

### 3. 결론

생활쓰레기 매립장의 수리지질, 토양가스 및 지하수 화학 특성에 대한 연구는 환경위해 요인을 평가하는데 중요한 역할을 한다. 본 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 탐사식 조사방법인 토양가스법을 이용하여 CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 농도 분포를 조사한 결과 매립장내 원지반과 매립된 곳의 경계를 구분하는데 좋은 방법이 됨을 확인하였다. 따라서 향후 불량매립지의 매립범위를 추정하는데 있어 매우 경제적이고 유용한 방법으로 사용될 수 있을 것이다.
- 2) 토양가스의 공간적 분석결과를 통하여 매립지의 분해과정 및 정도를 파악할 수 있어 안정화 대책 마련에 좋은 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.
- 3) 매립장 주변 침출수는 주변 지하수를 오염시키는 것으로 조사되었으며 자연정화 작용도 관찰되었다.
- 4) 매립장 주변 원지형에 따른 지하수 흐름은 주변 지하수 오염에 중요한 요인으로 작용함을 확인하였다.

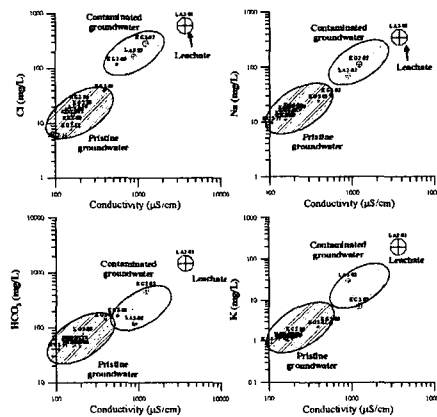


Fig. 5. Hydrochemical characteristics of groundwater in the study area.

### 4. 참고문헌

1. 김민영, 김기현, 조석주, 이민환, “난지도 매립장 배출공로부터 관측한 메탄 및 이산화탄소의 농도분포”, 지구과학회지 21(3), pp. 270-279 (2002).
2. EPA, "Expedited site assessment tools for underground storage tank sites: A guide for regulators", EPA 510-B-97-001, (1997).

### 사사

본 연구는 과학기술부 국책연구개발사업인 토양오염확산방지연구사업의 연구과제인 “지질환경별 부지 오염탐지기술개발(과제번호:M1-0304-00-0002)”의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.