

## 광주지역 일곡 매립지 주변에서의 하천수 및 지하수 오염 모니터링

차종문\* · 김주용\* · 이병태\* · 김경웅\*

### Monitoring of Stream water and Groundwater Contamination at the Ilgok Landfill Site in Kwangju, Korea

Jong-Mun Cha\*, Ju-Yong Kim\*, Byung-Tae Lee\* and  
Kyoung-Woong Kim\*

**ABSTRACT:** In order to determine the degree of contamination for the leachate in the Ilgok landfill site, stream water, groundwater and stream sediment samples were collected in 1998 and 1999, and analyzed for physico-chemical properties. The stream water contains significant concentrations of TDS,  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{NO}_3^-$ , and groundwater is polluted by  $\text{NO}_3^-$  up to the drinking water standard from landfill leachate. From the point of the horizontal movement of elements, stream water IL-2 at the conjunction point with landfill leachate reached the most high concentrations of  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ , and stream water IL-3 shows the high concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ . The optimum contamination indicator of Ilgok landfill site is  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  and TDS from the calculation of contamination factor.

#### 서 론

우리 나라의 연도별 폐기물 발생량은 급격히 증가하여 1990년의 경우에 1인당 배출량은 미국이나 일본의 2배 이상에까지 이른다. 현재까지도 국내에서는 폐기물의 대부분이 매립에 의해 처리되고 있으며, 매립지 확보의 어려움으로 인하여 토지이용 상황 및 처분장의 주변환경 등에 따라 산간 매립을 하기도 한다 (배재근 등, 1995). 침출수 집수시설이 취약하거나 특별한 차수 시설이 없는 불량매립지의 경우 매립지 하부에 유출되는 침출수로 인해 주변의 토양, 지표수 및 지하수를 오염시킬 수 있다 (Wadleigh, 1968).

인구 증가에 따른 폐기물 매립의 문제는 지속적인 사회 현안임을 쉽게 예상할 수 있으며 또한 지하수원의 개발과 오염원의 증가에 대비한 연구 역시 반드시 수행되어야 할 과제이다. 외국의 경우 독일을 비롯한 선진국에서는 폐기물 매립지역 지하수에서의 오염체 이

동에 관한 연구 (Kerndroff *et al.*, 1992; Nicholson *et al.*, 1983)와 토양 오염에 관한 연구 (Yong *et al.*, 1992)가 수행되어 왔다.

국내에서도 난지도 폐기물 매립지에 대한 연구가 수행되어 왔으며 (오석영 등, 1996) 그 외에도 청주지역의 매립장 (한국자원연구소, 1995)과 대전지역의 매립지 (김경웅 등, 1994)에 대한 연구가 수행되었다. 광주시의 경우 폐기물 매립지에서 유출되는 침출수와 악취로 인한 민원으로 매립지 주변지역에 대한 토양 및 지하수 오염의 조사가 필요한 실정이지만 광주지역의 매립지에 대한 연구는 수행된 바 없다.

본 연구에서는 광주지역 일곡 폐기물 매립지 및 그 주변지역 지하수의 중금속원소 및 음이온 함량을 조사하고, 이를 바탕으로 하여 폐기물 매립지에서 나타날 수 있는 지표수 및 지하수 오염의 특징과 오염체 이동을 규명하여 최적 오염지시인자를 도출하고자 한다.

#### 연구 대상 지역

연구 지역인 일곡 매립지는 광주시 북구 일곡동에 위치하고 있다. 광주시 북구청 자료에 의하면 이 매립

\* 광주과학기술원 환경공학과 (Department of Environmental Science and Engineering, Kwangju Institute of Science and Technology, Kwangju 500-712, Korea, E-mail: kwkim@kjst.ac.kr)

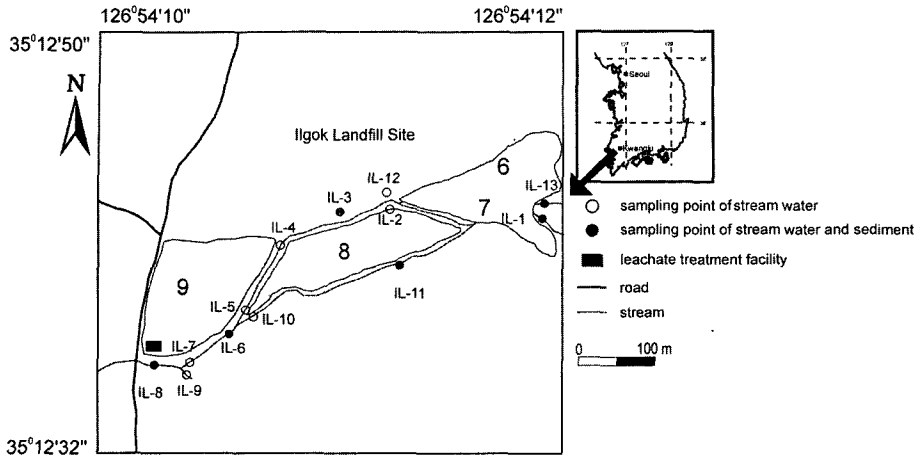


Fig. 1. Sampling locations of stream water and sediments in the vicinity of Ilgok landfill site, Korea.

지는 일곡동 제 6 매립장, 7 매립장, 8 매립장 및 9 매립장 등 총 4개의 매립장으로 구성되어 있으며, 1992년 1월부터 매립이 시작되어 1993년 10월에 사용이 종료된 비위생 매립지로서 매립폐기물의 종류는 생활폐기물이고, 전체 매립량은 약 32만톤에 이르고 있다. 매립고는 약 6m 정도이고 매립장 최종 폭토는 1m로 알려져 있다. 매립 후 자연정화법을 이용한 침출수 정화시설이 제 9 매립장에 설치하였으며, 현재 약 6m 깊이의 옹벽공사가 제 9 매립장 주변에 실시되었다 (Fig. 1). 매립지는 산골짜기에 위치해 있으며, 서쪽 방향으로 경사가 낮아지고 있다. 수계는 산에서 흐르는 물이 매립장 사이를 지나면서 흐르고 있고, 매립지

반대편에는 대규모의 아파트 단지가 조성되고 있다. 기반암으로 중생대 주라기의 흑운모 화강암이 광범위하게 분포하고 있다.

### 시료 채취 및 화학 분석

시료채취는 매립지를 통과하는 하천수와 하상퇴적물, 매립지 인근 1km 이내 인가의 지하수, 침출수와 정화시설을 거친 후 하천으로 방류되는 배출수를 대상으로 하였다. 하천수 시료는 계절적 변화 양상을 고려하여 1998년 6월, 1998년 9월, 1999년 3월 등 세 차례에 걸쳐 채취하였으며, 지하수와 하상 퇴적물 시료는

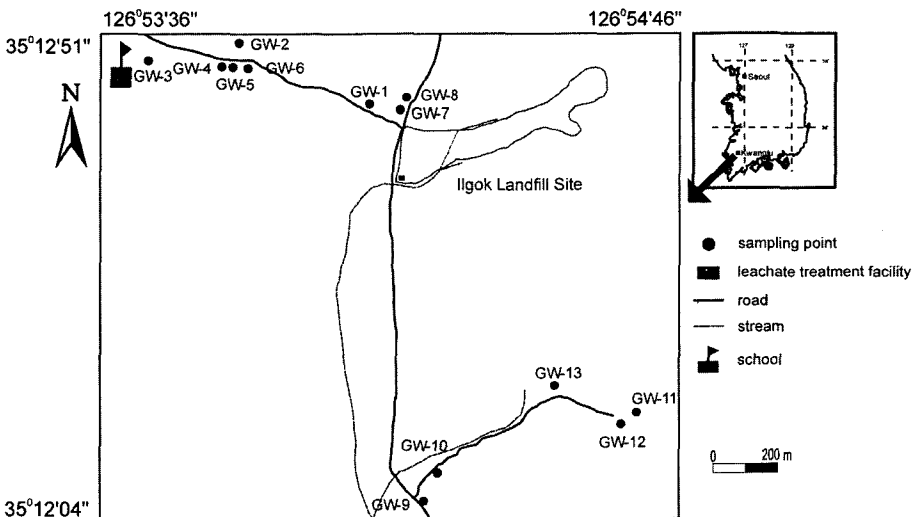


Fig. 2. Sampling location of groundwater in the vicinity of Ilgok area, Korea.

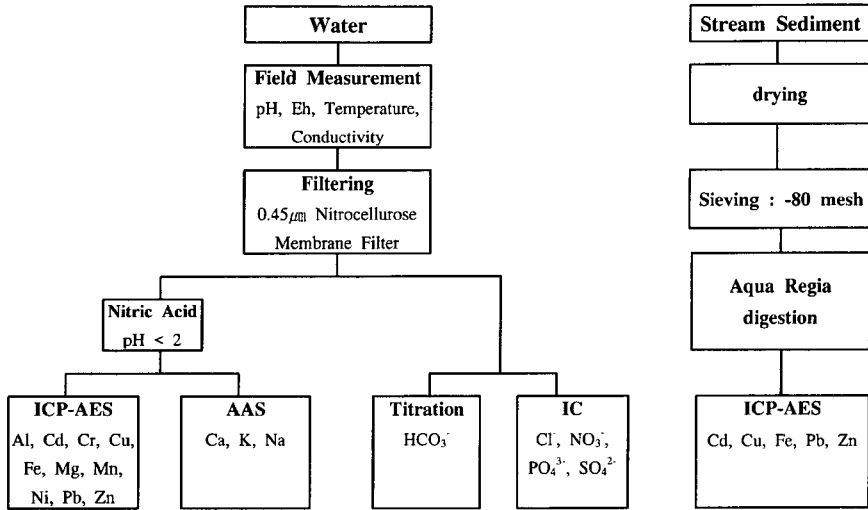


Fig. 3. The procedure of sample preparation and chemical analysis.

1998년 9월에 채취하였다. 시료는 13개의 하천수 (IL), 1개의 침출수 (LE), 1개의 배출수 (DS), 13개의 지하수 (GW)로 구분되며, 하상퇴적물은 하천수 시료와 동일한 지점에서 6개를 채취하였다 (Fig. 1 and 2). 침출수와 배출수는 제 9 매립지에 있는 침출수 정화시설에서 채취하였다. 시료 IL-1과 IL-13은 매립지의 영향을 받지 않는 하천수 상류 시료이고, IL-9 또한 깨끗한 지류이다. 나머지 시료는 직·간접적으로 매립지 침출수의 영향을 받고 있다.

자연수 시료는 양이온 및 음이온 분석용을 구분하여 채취하였으며, 양이온 분석용 시료에는 이온들이 용기 벽면에 흡착되는 것을 방지하기 위하여 농질산을 가하여 pH를 2이하로 조정하였다. 모든 시료는 0.45 µm의 Nitrocellulose Membrane Filter를 이용하여 부유물질을 제거하였다. 수소이온농도 (pH), 산화·환원 전위, 온도와 전기전도도는 채수 즉시 현장에서 측정하였다. 시료 채수 이후 분석까지 모든 운반 및 저장은 아이스박스 및 냉장고를 이용하여 저온 상태를 유지하였다.

양이온의 경우  $Al^{3+}$ ,  $Cr^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{6+}$ ,  $Fe$  (total),  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ni^{+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ 를 ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometry; Thermo Jarrell Ash Co. IRIS/AP)로 분석하였으며,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$ 는 AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry; Perkin Elmer 5100PC)로 분석하였다. 음이온 중  $HCO_3^-$ 은 메틸레드-브롬크레졸그린 혼합시약을 지시약으로 End pH를 8.3으로 중화 적정하였고,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$ 은 IC

(Ion Chromatography; Dionex DX-500)로 분석하였다 (Greenberg *et al.*, 1992; Jackson, 1993).

하상퇴적물 시료는 증류수로 세척한 후 자연건조시켜 막자와 유발을 이용하여 분리시킨 후 회분을 위해 -80 mesh 입도로 체질하였다. -80 mesh 입도의 시료 2 g에  $HNO_3$ 용액과  $HCl$ 용액 (1:3)으로 만든 왕수를 넣어 분해시킨 후 70°C에서 1시간동안 가열하고 교란시켰다. 탈이온수 4 ml를 가한 (Davidson *et al.*, 1994) 최종 용액은 ICP-AES (Thermo Jarrell Ash Co. IRIS/AP)로 Cd, Cu, Fe, Pb, Zn의 함량을 측정하였다. 전체적인 자연수와 하상퇴적물의 분석 과정에 대한 흐름도는 Fig. 3에 나타내었다.

### 결과 및 고찰

#### 자연수의 지구화학 및 오염 지시인자

연구지역의 하천수 시료에 대한 물리화학적 특성을 Table 1에 정리하였다. 이 지역의 하천수에서 나타나는 가장 큰 특징은 높은 TDS이다. 연구 지역 하천수의 pH는 6.6~8.0으로서 중성을 나타내고 있으며 Eh는 -57.8~109.8 mV로서, 상류에서는 산화환경을 나타내고, 하류로 갈수록 환원 환경으로 바뀌고 있다 (Fig. 4). 깨끗한 하천수 (IL-1)가 매립지를 지나면서 TDS가 상당히 높아짐을 알 수 있다.

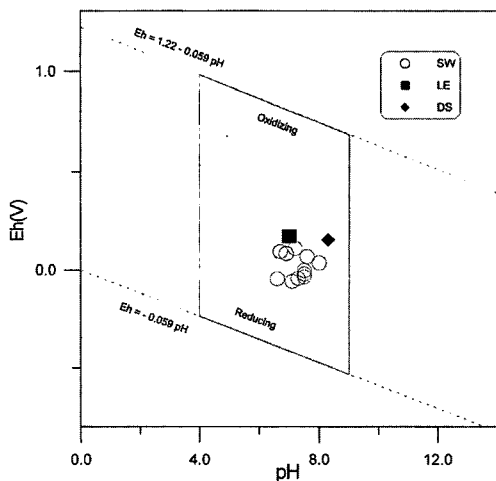
일곡 매립지에서 채취한 하천수 중 주성분 이온들을 당량비로 환산하여 piper diagram에 도시해 본 결과

**Table 1.** Physical and chemical properties of stream waters sampled in the vicinity of Ilgok landfill sites (Sampled in March, 1999).

Sampling No.	pH	Eh (mV)	Temp. (°C)	TDS (ppm)	Cond. (µs/cm)
IL-1	6.9	83.6	11.3	107	140
IL-2	8.0	36.8	16.7	1495	3760
IL-3	7.1	-57.8	16.2	1116	2900
IL-4	7.6	68.1	13.8	551	1623
IL-5	7.5	-20.2	14.7	672	1889
IL-6	7.5	-2.6	14.5	657	1896
IL-7	7.3	-42.6	13.2	896	2490
IL-8	7.5	-34.9	14.5	918	2490
IL-10	6.9	83.5	9.5	186	425
IL-11	7.2	109.8	10.8	406	1207
IL-12	6.6	-44.0	16.2	783	2050
IL-13	6.7	93.6	11.4	296	768
LE*	7.0	174.9	11.8	1509	3680
DS**	8.3	154.8	11.8	1212	2650

\* LE: Leachate

\*\* DS: Discharge

**Fig. 4.** Eh-pH relationship between leachates and surface waters sampled in the vicinity of landfill sites. Shaded area represents the limit of pH-Eh in surficial environment. (SW: Stream water, LE: Leachate, DS: Discharge) \*Sampled in March, 1999

음이온에서는  $\text{HCO}_3^-$ 가 우세한 경향을 보이고 있으나, 양이온에서는 뚜렷한 구분을 주지 못했다 (Fig. 5). 하천수의 주요 용존 양·음이온 함량을 히스토그램으로 나타낸 결과에 의하면 IL-2과 IL-8에서 원소들의 함량이 높음을 알 수 있다 (Fig. 6). IL-2에서는 양이온의 함량이 침출수보다 더 많음을 보여주고 있고, IL-8에서는 음이온의 함량이 침출수보다 약간 낮지만 다른 시료들보다 높음을 알 수 있다.

매립지의 영향을 받은 원소들의 거동을 Fig. 7에 도

시하였다.  $\text{HCO}_3^-$ 와  $\text{K}^+$ 는 IL-2에서 큰 폭의 증가를 가지지만 하천수가 흘러감에 따라 급격히 감소하다가 IL-4부터 다시 증가하는 경향을 보여 주고 있다.  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ 와  $\text{NO}_3^-$ 도 마찬가지로 IL-2에서 큰 증가를 보이지만 그 이후 IL-4까지 감소하다가 거의 변화가 없었다. 음이온의 경우 생분해에 의해 형성된  $\text{HCO}_3^-$ 와 염의 용해에 의해 형성된  $\text{Cl}^-$ 이 침출수의 대부분을 형성하는데,  $\text{HCO}_3^-$ 의 경우 IL-4에서 회석작용과 더불어 침전에 의한 지연이 진행되어 현저히 감소하나 지속적인 매립지의 침출수 영향에 의해 다시 증가하고 있다.  $\text{Cl}^-$ 는 비반응 용질이므로 침출수에 영향받은 하천수가 이동할수록 회석에 의해 농도가 감소하는 것으로 판단된다.  $\text{Mg}^{2+}$ 도 IL-2에서 최고의 함량을 보이고, IL-4까지 감소하다가 다시 약간 증가하는 경향을 나타내고 있다.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ 와  $\text{Mn}^{2+}$ 은 IL-3에서 가장 높은 함량을 보이고, IL-4에서 급격히 감소하다가 그 이후 거의 변화가 없다.  $\text{SO}_4^{2-}$ 는 IL-2에서 가장 높은 함량을 보이나 전반적으로 거의 변화가 없다. 이상의 수평적 거동을 살펴볼 때 IL-2에서는  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$  함량이 가장 높고, IL-3에서는  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ 와  $\text{Mn}^{2+}$  함량이 가장 높았다. 이것은 IL-3과 IL-2 시료가 매립지의 침출수에 가장 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

1차(98년 6월)와 3차(99년 3월) 시료에 대하여 계절적 변화 양상을 관찰한 결과 강수량이 상대적으로 많은 3차 시료에서  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ 의 함량이 대부분 낮아지고 있다 (Table 2). IL-12 시료에서는  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ 이 오히려 증가하고 있는데, 이것은 유량의 증가로 매립

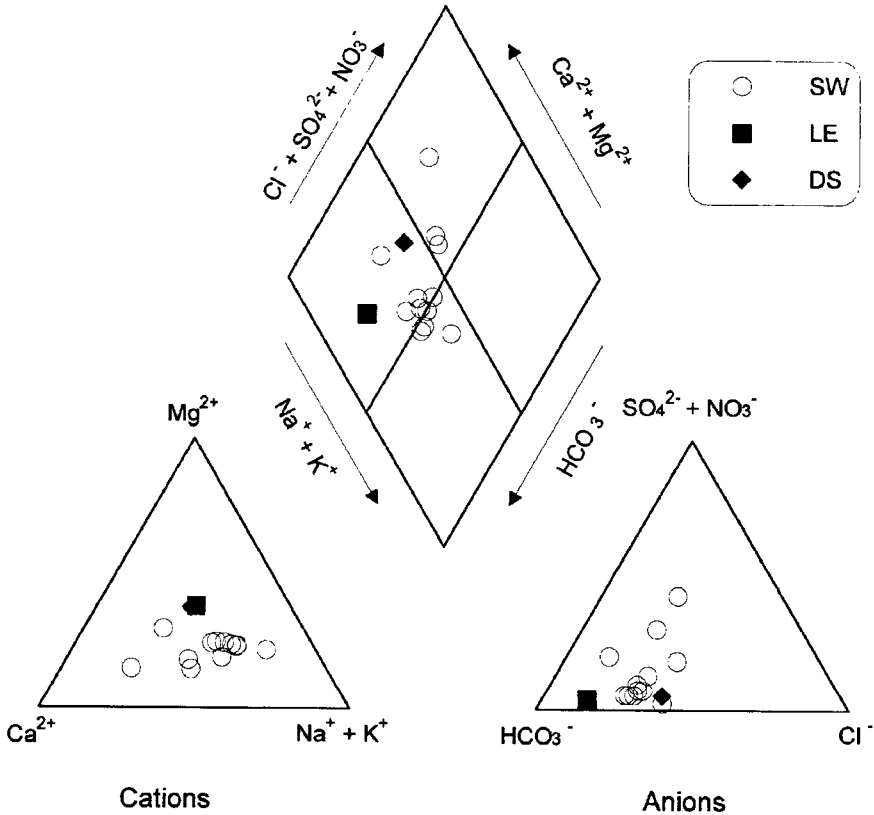


Fig. 5. Ion percentages of total equivalent per liter on the Piper's diagram.

지 내에 있는 침출수가 지표로 흘러나오는 것으로 생각된다. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 건기인 1차에 비해서 우기인 3차에서 더 많은 함량을 나타내고 있다. 시간이 지나감에 따라 생활 폐기물과 물이 계속 반응하여 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>를 침출수로 배출하고 있는 것으로 사료된다.

Table 3에는 하천수와 침출수의 용존 양이온 및 음이온 함량과 세계보건기구 (WHO)와 미국의 환경보호기구 (U.S. EPA)의 음용수 기준 허용치를 비교하여 나타내었다. 하천수의 최대값을 나타내는 IL-2 시료의 경우 WHO와 EPA 기준치에 비해 Fe (total), K<sup>+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>에서 수배~수십배까지 높은 함량을 나타내었다. IL-2 시료를 제외한 다른 시료는 대부분 WHO와 EPA의 기준을 만족하나 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 EPA 기준치를 초과하고 있다. 침출수 자료를 보면 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 높은 함량을 나타내고 있다. 일반폐기물 매립지가 유기 물질의 함량이 상대적으로 높고 생분해가 활발히 일어나서 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 높은 함량을 나타나는 것으로 사료된다. 자연정화법을 이용한 침출수 정화 시설의 효과를 살펴보면 처리하기 전·후의 농도 변화가 거의

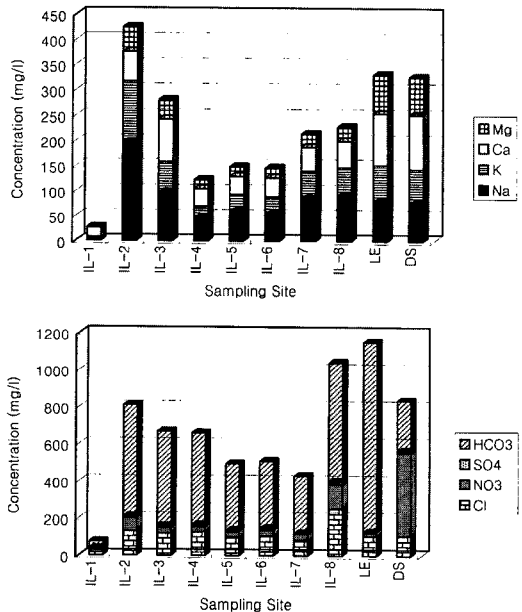


Fig. 6. Four ion concentrations in stream waters (sampled in March, 1999).

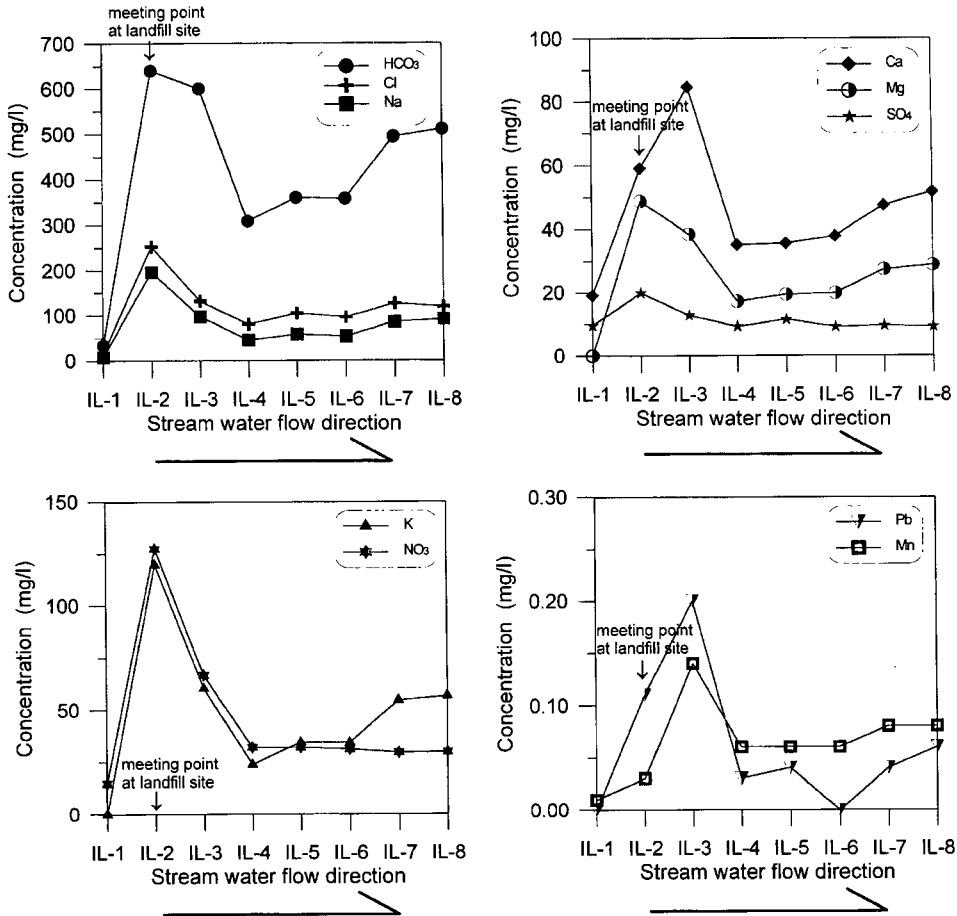


Fig. 7. Variations of element concentrations in stream water from the landfill site.

Table 2. Seasonal variations of ion concentrations in water samples from the Ilgok landfill site (unit in mg/l).

	IL-2		IL-6		IL-8		IL-12	
Measuring date	Sept. 1998	March 1999	Sept. 1998	March 1999	Sept. 1998	March 1999	Sept. 1998	March 1999
Na	233.53	196.70	109.40	53.90	115.95	91.10	28.42	46.66
K	147.22	119.70	75.66	34.30	76.59	56.70	11.11	9.70
Cl	415.43	253.24	167.31	95.41	176.52	118.77	29.12	60.55
$\text{NO}_3$	31.44	127.45	16.81	31.11	10.47	29.84	4.08	8.76

없음을 알 수 있다.  $\text{HCO}_3^-$ 의 경우는 많은 양을 처리했지만,  $\text{NO}_3^-$ 는 오히려 13.89 mg/l에서 446.64 mg/l로 증가하였다. 그러므로, 현재 가지고 있는 침출수 정화 시설은 효과가 거의 없는 것으로 판단 된다.

Kerndorff (1992)에 의해 제시된 Contamination Factor를 주변 오염되지 않은 하천수 IL-1을 배경값으로 하여 각 성분들에 대해 계산하였다 (Table 4). Contamination Factor는 오염된 물의 원소의 함량값을

오염되지 않은 주변 배경값으로 나뉜 값으로 1보다 클 경우 지질 매체와의 반응이 아닌 특정 오염원에 의해 오염된 것을 의미한다. Contamination Factor를 계산할 때 배경 수질에서 함량값이 나타나지 않은 원소는 제외시켰다. 계산 결과 생활폐기물 매립지인 일곡 매립지의 경우  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , TDS 등이 매우 높은 대조를 보여 오염 지시 인자(contamination indicator)로서 적절하다고 판단된다.

**Table 3.** Ion concentrations in water samples in Ilgok landfill site (unit in mg/l).

	Stream Water		Groundwater		Leachate		WHO <sup>(a)</sup>	EPA <sup>(b)</sup>
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	LE*	DS**		
Al	n.d.	0.01	n.a.	n.a.	n.d.	n.d.	0.2	2
Ca	5.30	84.70	n.d.	40.28	102.10	107.30	200	-
Cu	n.d.	0.03	n.a.	n.a.	n.d.	n.d.	1	1
Fe	n.d.	8.05	n.a.	n.a.	n.d.	0.5	0.3	0.3
K	0.38	231.04	n.d.	8.47	72.50	69.00	150	-
Mg	1.84	70.37	n.d.	34.19	76.98	74.66	150	150
Mn	0.01	0.49	n.a.	n.a.	0.13	n.d.	0.1	0.3
Na	9.70	396.16	14.47	107.55	79.50	75.00	200	-
Ni	n.d.	245.34	n.d.	n.d.	n.a.	n.a.	-	-
Pb	n.d.	0.21	n.a.	n.a.	0.16	0.14	0.05	0.5
Zn	n.d.	0.18	n.a.	n.a.	n.d.	n.d.	5	1
Cl <sup>-</sup>	6.99	415.43	11.47	268.11	105.54	106.00	250	150
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	34	640	n.a.	n.a.	1022	272	-	-
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	4.94	16.10	n.d.	n.d.	n.a.	n.a.	100	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4.08	127.45	5.18	51.01	13.89	446.64	-	10
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6.16	19.84	4.62	50.69	9.17	11.03	400	200

\* LE: Leachate

\*\* DS: Discharge

<sup>(a)</sup> World Health Organization (19993)

<sup>(b)</sup> Environmental Protection Agency (1988)

n.d.: not determined

n.a.: not analyzed

**Table 4.** Contamination Factor from inorganic contaminants in stream water samples.

Sampling No.	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Na	Ca	Mn	Fe	TDS
IL-2	17.3	8.5	2.1	18.8	25.0	3.1	3.0	0.1	14.0
IL-3	9.0	4.5	1.3	17.7	12.3	4.4	14.0	0.0	10.4
IL-4	5.5	2.1	1.0	9.1	5.8	1.8	6.0	0.0	5.1
IL-5	7.1	2.1	1.2	10.6	7.4	1.9	6.0	0.0	6.3
IL-6	6.5	2.1	1.0	10.5	6.9	2.0	6.0	0.0	6.1
IL-7	8.6	2.0	1.0	14.5	10.8	2.5	8.0	0.0	8.4
IL-8	8.1	2.0	1.0	15.0	11.6	2.7	8.0	0.0	8.6
IL-10	1.7	2.6	0.8	1.6	2.1	1.2	2.0	0.6	1.7
IL-11	4.0	2.2	1.4	5.7	6.1	1.7	3.0	1.0	3.8
IL-12	4.1	0.6	1.1	14.9	5.9	4.2	49.0	100.6	7.3
IL-13	2.6	2.0	1.1	3.7	3.8	1.8	4.0	0.3	2.8

\*Contamination Factor=conc. contaminated/conc. uncontaminated (Kerndorff *et al.*, 1992)

**매립지 주변지역 지하수의 오염**

지하수의 물리화학적 성질과 이온들의 함량을 Table 5에 나타내었다. pH는 대부분의 시료가 5.8~6.9로서 환경부가 제시한 음용수 기준치에 적합한 것으로 나타났다. 그러나 지하수 시료 GW-11은 pH가 5.4로서 음용수로 적당하지 않은 것으로 나타났고 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 51 ppm으로 환경부의 음용수 수질 기준치를 초과하고 있다. 특히 매립지와 인접지역인 GW-7 지하수 시료에서는 TDS 값이 1,340 ppm으로 가장 높은 값을 보이며,

Cl<sup>-</sup>도 268 mg/l가 포함되어 있어 매립지의 침출수에 의한 심각한 오염이 진행되었음을 알 수 있다. 또한 이러한 오염은 매립지 주변에 있는 GW-1과 GW-8에 까지 영향을 미치는 것으로 판단된다. 환경부의 음용수 수질 기준과 비교한 결과 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 대부분 시료에서 기준치를 초과하고 있다. 다른 지역은 침출수에 의한 오염이라기 보다는 대부분의 지하수가 마을에 위치하므로 인위적인 오염에 의해서 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량이 음용수 기준치를 초과하는 것으로 생각된다.

따라서 매립지 주변지역의 지하수에 대한 지속적인

**Table 5.** Physical properties and ion concentrations in groundwater samples in the vicinity of Ilgok sites (unit in mg/l).

Sampling No.	pH	TDS (ppm)	Cond. ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Cl	$\text{NO}_3$	$\text{SO}_4$	Na	K	Mg	Ca
GW-1	5.8	153	315	14.83	25.88	8.09	20.08	n.d.	n.d.	13.16
GW-2	7.0	360	750	35.70	18.60	12.18	41.48	3.69	n.d.	40.28
GW-3	5.8	201	422	19.63	13.25	9.22	21.60	n.d.	n.d.	24.61
GW-4	6.0	212	444	26.23	12.68	7.40	20.74	n.d.	n.d.	24.76
GW-5	6.0	161	339	14.43	13.21	6.43	17.69	n.d.	n.d.	19.31
GW-6	6.9	337	705	32.79	11.64	12.89	40.80	3.01	n.d.	35.80
GW-7	6.0	1340	2660	268.11	8.56	22.87	107.55	8.32	34.19	n.d.
GW-8	5.9	312	648	39.73	10.08	37.46	33.72	n.d.	n.d.	36.04
GW-9	6.1	97	205	11.71	5.18	4.62	15.81	n.d.	n.d.	9.61
GW-10	6.4	125	262	11.47	10.20	6.32	14.47	n.d.	n.d.	12.13
GW-11	5.4	377	784	52.76	51.01	50.69	56.17	8.47	n.d.	22.27
GW-12	6.7	128	271	16.29	9.51	8.22	19.07	n.d.	n.d.	12.73
GW-13	5.6	134	281	19.65	34.08	11.14	22.24	1.05	n.d.	6.87
MOE	5.8~8.5	-	-	150	45	200	-	-	-	-

MOE: Ministry Of Environment, Korea(1995)

n.d.: not determined

**Table 6.** Ion concentrations of heavy metals in stream sediments.

Sampling No.	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (%)	Zn (mg/kg)
IL-1	2.24	15.47	1.40	80.97
IL-3	2.60	14.38	1.41	90.39
IL-6	1.83	7.38	1.38	80.27
IL-8	1.39	14.51	1.44	111.57
IL-11	1.53	10.11	1.43	106.87
IL-13	5.98	12.90	1.59	109.57

오염모니터링이 필요하며 오염원으로서 매립지 침출수를 처리해야 할 것이다.

### 하상퇴적물의 중금속 오염 평가

하상퇴적물은 수계에서 오염물질의 운반매체일 뿐만 아니라 잠재적인 오염원으로서의 역할을 하며 여러 다른 입자들의 비균질 혼합체로 지표수에 함유된 금속의 중요 저장소이다. 또한 퇴적물의 수질을 반영하며 인위적인 방출에 대한 결과적인 오염 산물이 된다. 따라서 퇴적물이 심하게 오염된 경우 지표수 및 지하수의 수질에 영향을 미칠 수 있으며 수계에서 성장하는 유기 생물체와 궁극적으로 이들의 먹이사슬에 속한 인간에게까지 심각한 환경적 피해를 가져오기도 한다 (Moore, 1960). 퇴적물에 함유된 중금속은 물리화학적 환경의 변화에 의해 물-퇴적물 경계면에서, 즉 수층으로 재용출이 일어날 수 있으며, 오염을 발생시키는 원인이 제거된 후에도 수질오염을 야기한다 (Förstner and Wittman, 1988).

연구지역 수계에 퇴적된 하상퇴적물에 대해 왕수로 추출한 중금속 함량을 Table 6에 나타내었다. 하상퇴

적물의 중금속 함량을 살펴보면 Fe (1.38~1.59%)와 Cu (7.38~15.47 mg/kg)는 배경값을 나타내고 있고, Zn (80.27~111.57 mg/kg)과 Cu (1.39~5.98 mg/kg)는 배경값보다는 높으나, 중금속 허용한계값보다는 낮다. 이는 일곡 매립지가 일반 생활폐기물 매립지로 중금속을 용출시킬 폐기물이 존재하지 않았기 때문이다.

### 결 론

본 연구에서는 일곡 매립지에서 발생되는 침출수에 기인된 주변 하천수, 지하수 및 하상퇴적물 오염에 대해 조사하였다.

1. 일곡 매립지에서 발생되는 침출수에 의해 주변 하천수는 TDS,  $\text{HCO}_3^-$ 와  $\text{NO}_3^-$ 에서 배경값에 비해 높은 함량을 나타내었다. 원소들의 수평적 거동을 살펴보면 IL-2에서는  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 함량이 가장 높게 나타나고, IL-3에서는  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ 의 함량이 가장 높게 나타나고 있다.

2. 매립지 침출수에 의해 주변 지하수는  $\text{NO}_3^-$ 가 음용수 기준치를 초과할 정도로 오염되어 가고 있다. 특히 매립지 인근지역의 지하수에서는 TDS와  $\text{Cl}^-$  함량



이 높아 침출수가 유출되고 있음을 보여준다. 따라서 현재 가동중인 자연정화법을 이용한 침출수 처리 시설은 주변지역 지하수 분석 결과를 볼 때 거의 효과가 없는 것으로 생각된다.

3. Contamination Factor의 계산에 의하여 일곡 매립지를 모니터링하는 적절한 오염 지시인자는  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , TDS으로 판단된다. 또한 하상퇴적물의 분석 결과로 볼 때 매립지에는 일반생활폐기물이 매립되어 중금속 원소들의 함량이 높지 않은 것으로 나타났다.

## 사 사

본 연구는 1998년도 핵심연구과제인 “광주지역 폐기물 매립지 주변에서의 토양 및 지하수 오염(981-0402-008-02)”의 일부이며, 연구비를 지원해 준 한국과학재단에 감사드린다.

## 참고문헌

김경웅, 손호웅 (1994) 대전시 신대동 폐기물매립지 주변 지역에서의 지하수 및 토양의 중금속 오염. 지하수환경학회지, 제1권, p. 85-89.  
 배재근, 오종민 (1995) 토양오염학. 신광문화사, 372p.  
 오석영, 전효택 (1996) 폐기물 매립지 주변의 지하수 오염과 오염물질의 지연 특성. 지하수환경학회지, 제3권, p. 37-49.  
 한국자원연구소 (1995) 지구물리 지구화학적 오염영역 탐지 및 감시기술 개발 연구 (I). 과학기술처, 422p.  
 Davidson, C.M., Thomas, R.P., Mcvey, S.E., Perala, R.,

Littlejohn, D. and Ure, A.M. (1994) Evaluation of a sequential extraction procedure for the speciation of heavy metals in sediments, *Anal. Chim. Acta.*, v. 291, p. 277-286.  
 Förstner, U. and Wittman, G.T. (1988) *Metal pollution in the aquatic environment*(2nd ed.), Springer-Verlag, New York, 644p.  
 Greenberg, A.E., Clesceri, L.S., and Eaton, A.D., ed. (1992) *Standard methods for the examination of water and wastewater* 18th ed., American Public Health Association(APHA), American Water Works Association(AWWA) and Water Environment Federation (WEF), Washington DC, 1010p.  
 Jackson, G.B. (1993) *Applied Water and Spentwater Chemistry : A Laboratory Manual*, Van Nostrand Reinhold, 688p.  
 Kerndorff, H., Schieyer, R. and Milde, G. (1992) Geochemistry of groundwater pollutants at German waste disposal sites. In: S. Lesage and R.E. Jackson (ed.) *Groundwater Contamination and Analysis at Hazardous Waste Sites*, Marcel-Dekker Inc., p. 245-271.  
 Moore, O., Bass-Becking, L.G.M. and Kaplan, J.R. (1960) Limits of the natural environment in terms of pH and oxidation-reduction potentials, *J. Geol.*, v. 68, p. 25-46  
 Nicholson, R.V., Cherry, J.A. and Readon, E.J. (1983) Migration of contaminants in groundwater at a landfill: A case study; 6. *Hydrogeochemistry, J. of Hydrol.*, v. 63, p. 131-176.  
 Wadleigh, C.H. (1968) Waste in relation to agriculture and forestry, Misc. Pub. No. 1065., U.S. Dept. Agr., 112p.  
 Yong, R.N., Mohamed, A.M.O. and Warkentin, B.P. (1992) *Principles of Contaminant Transport in Soils*, Elsevier, 327p.

1999년 6월 30일 원고접수, 1999년 8월 26일 게재승인.