

불량매립지에서의 지하수 오염 특성과 환경오염 방지 방안

Characteristics of Groundwater Contamination in Uncontrolled Landfill and Pollution Control Measures

한국과학기술원 토목공학과 환경시스템 연구실
구 자 공, 윤 석 표

Abstract

Remediation actions in uncontrolled landfill site should be conducted after the investigation of contamination status and potential health risk or damage. Based on the above, proper control measures should be established and operated. Also continuous monitoring should be followed.

In this study, the status of ground water contamination around Nanji Landfill Site was investigated. Monitoring wells were installed around the landfill and ground water was sampled once a month and analyzed. Water quality of each monitoring well was different depending on the horizontal and vertical distance from the landfill, and the seasonal leachate characteristics were not significantly changed because percolating water stayed long time in the deep waste layer.

It was predicted that major multivalent cations were mainly precipitated as metal carbonate form, and chemical mass balances (CMBs) could be applied for the apportionment of leachate contamination to ground water quality of surrounding areas of Nanji Landfill.

Parameters required to estimate pollutant flux to the receptor near landfill were listed and discussion to get these parameters was made. Finally, based on the above data, control measures of ground water contamination were suggested and discussed.

1. 서론

지난 10 여 년 간 수도권 지역의 폐기물 처분을 위해 전적으로 의지해 온 난지도 매립지가 92년 12월을 기하여 전면 폐쇄되어 우리나라의 폐기물 관리 는 매립지 사후관리라는 새로운 경험을 본격적으로 시작하게 되었다. 난지도 매립지는 바닥층의 매립 면적이 1,759,000 m², 매립 높이가 해발 90 m로서, 그 동안 매립되어온 폐기물량이 약 9100 만 m³에 달하는 방대한 규모의 매립지로서 잘 아는 바와 같이 단순투기 방식에 의해 매립됨으로써 가스 제어 및 침출수 제어가 이루어지지 않고 있으며, 특히 침출수 시스템 (라이너 + 침출수 수집관)이 없으므로, 발생한 침출수는 그대로 아래로 흘러 들어가서 지하수면 과 만나 오염층 (plume)을 형성하면서 주변 수계로 이동하고 있다.

따라서 난지도 매립지 오염 현황이 정량화되고, 매립지에 의한 환경영향에 따라 사후대책이 적정수준으로 설정되어야 할 것이나, 현재로서는 거대한 매립지에 비하여서 우리가 알고 있는 매립지의 수문지질학적 자료는 일부에 국한된 것으로 정확한 계량화에는 한계가 있다고 할 것이다. 그러나 가용한 자료하에서 이들의 특성을 알아보고, 또한 부족한 자료로서 앞으로 보다 연구되어야 할 것들과 이들에 대한 조사 방법론의 검토는 의미있는 작업이며, 아울러 현 단계에서도 지하수 오염에 대한 환경오염 방지 대책의 여러 대안을 검토해 볼 수 있다고 할 것이다.

따라서 본고에서는 지하수 오염의 특성과 현재까지 조사된 지하수 거동에 관련된 인자 및 향후 조사되어야 할 항목과 최종적으로 환경오염 방지 방안에 대하여 논의하고자 한다.

2. 침출수 발생 현황과 지하수 오염의 특성

2.1. 침출수 및 지하수질의 특성

Fig.1과 같이 매립지 들레에 설치한 관측정과 매립지 경사면에서 자연유하 식으로 배출되는 침출수의 채취, 분석을 통하여 개략적인 침출수와 지하수의 수질을 조사하였다 [1,2]. 지하수질은 매월 1회 정도의 빈도로 채취 후, 실험실에서 분석하였고, 제한된 수의 관측정에서만 조사된 자료이므로, 매립지 전체를 대표하는 시료라고 하기 보다는 전반적인 경향을 보여주는 지표라 할 수 있을 것이다. 이는 매립지 자체가 불균질하고, 지역별로 매립연한과 매립고가 조금씩 다르므로, 발생 침출수의 특성이 조금씩 상이하리라고 보기 때문이다.

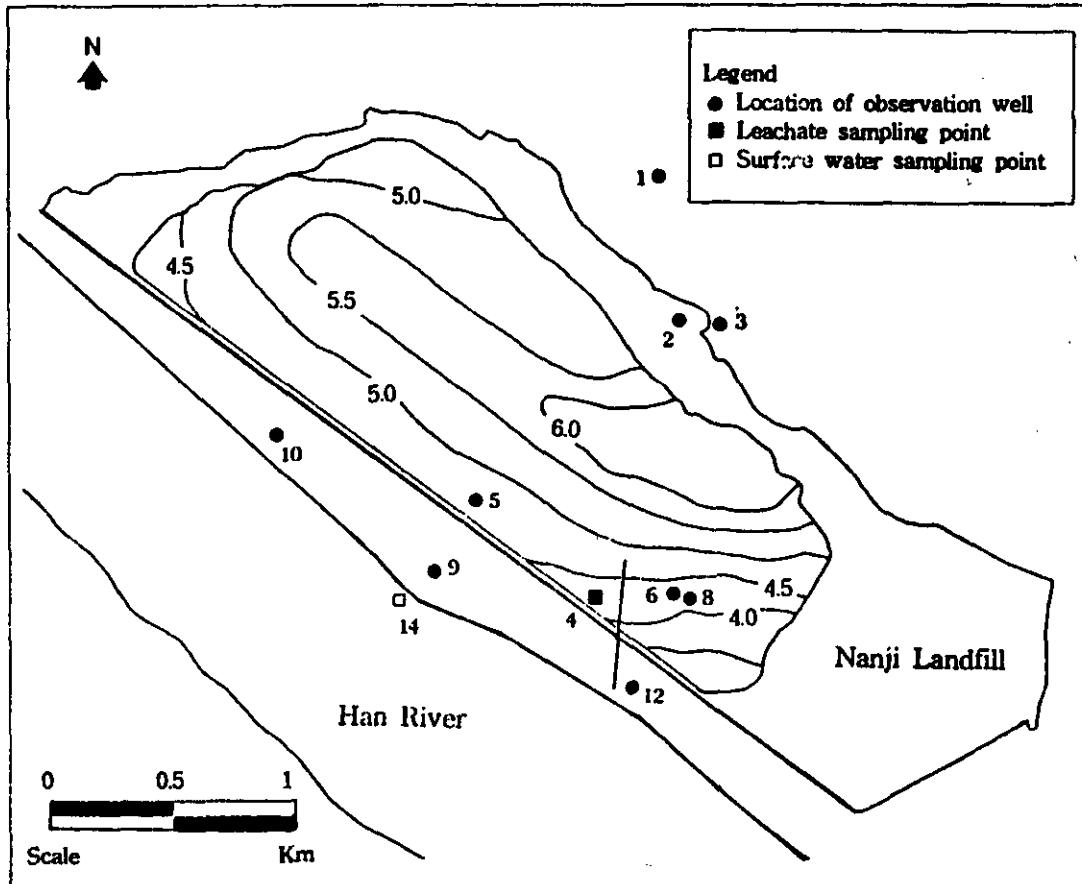


Fig.1 Location of Observation Well and Leachate Sampling Point

계절별로 구분하였을 때 침출수질의 특성은 Table 1과 같이 값의 변동폭이 그다지 크지 않은 것을 보여주고 있다. 이것은 난지도에 대하여 각 계수들이 검정된 수치는 아니지만, 물성치와 기타 실험실 혹은 현장 조사 자료 및 문헌값을 이용한 Fig.2와 같은 HELP (Hydrogeologic Evaluation of Landfill Performance) 프로그램에 의한 출력 경향에서도 뚜렷이 알 수 있는 바와 같이 (4절에서 다시 언급됨.), 난지도 매립지는 높은 매립고에 의해 자체가 충분한 체류시간을 갖는 하나의 반응기가 되어서 여름철의 높은 강우시에도 침투수가 충분한 체류시간을 갖는 점에 미루어 볼 때 수공이 가는 결과라 하겠다 [2].

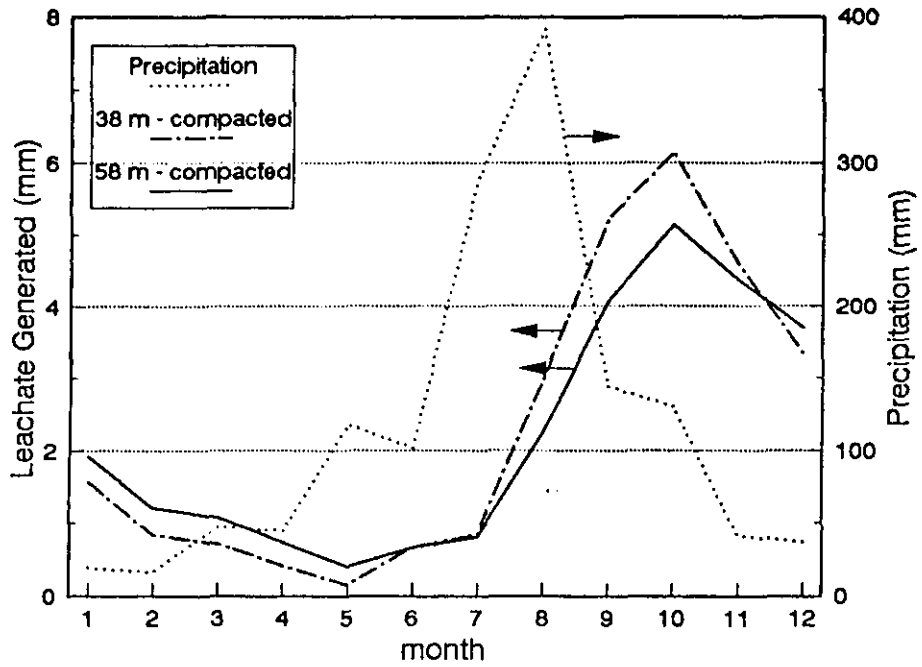
각 관측점에서의 지하수질 농도의 범위는 Table 2와 같이 주요 무기이온과 COD를 중심으로 나타내었다.

비반응성 오염물의 경우 지하수 흐름이 x 방향으로 일정하다고 하면,

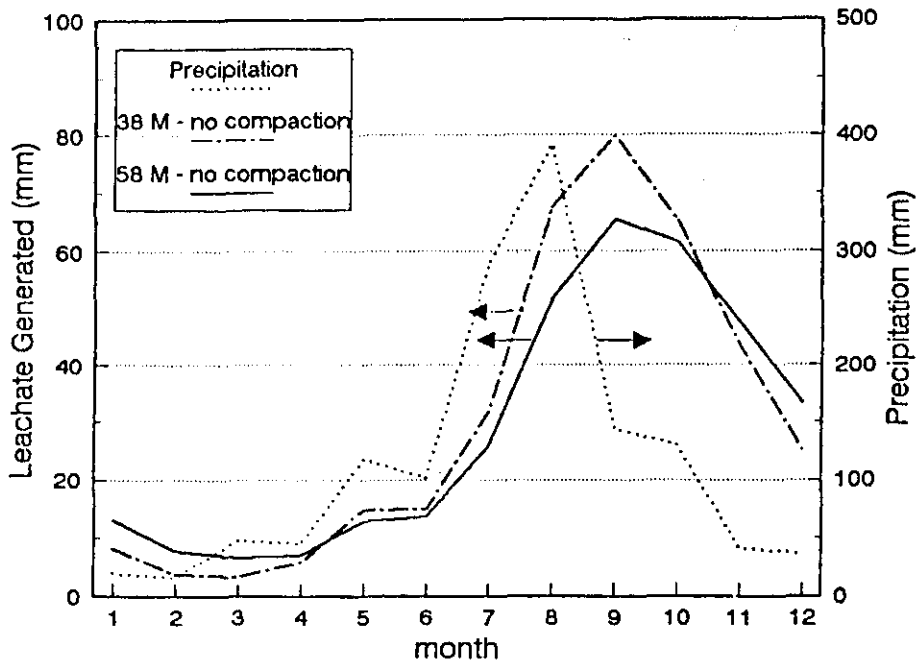
$$\frac{\partial C}{\partial t} + v_x \frac{\partial C}{\partial x} = D_{xx} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_{yy} \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_{zz} \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

로 표현할 수 있으며 [3], 매립작업이 15년 이상 되어왔고, 매립지에서 한강변까지의 거리가 1 km 미만인 것을 고려할 때 거의 정상상태라 볼 수 있고, 각 지점에서의 오염물질 농도는 결국 수직 방향의 분산계수에 크게 영향 받는 것임을 알 수 있다. 최 등[4]은 난지도 지하수의 수리분산 계수를 현장자료와의 보정을 통해 동수구배가 0.01, 공극율 0.4, 투수계수 2×10^{-4} cm/sec라 하였을 때, 종분산 계수가 5 m, 횡분산 계수가 1 m가 잘 맞음을 보였다. 본 연구에서의 각 관측점 수두에서 계산한 수두 경사의 범위는 대략 0.003 부근의 값을 보여 위에서 사용한 값보다는 약간 작았다.

각 관측지점에서의 오염물 농도범위는 오염물의 수평, 수직 분산계수에 크게 좌우되며, 특히 수직적 이동 특성에 따라 오염물 농도 분포가 결정되는 것임을 알 수 있다. 오염원 부근에서의 관측점의 스크린 설치 크기는 지하수 채취시 대부분의 지하수가 상하로 크게 교반되어 완전 혼합된다는 것을 고려할 때 [5], 원하는 깊이에서 일정 깊이만 설치하여, 실제 오염물 분포와는 다른 왜곡된 시료 채취가 이루어지지 않도록 주의하여야 할 것이다.



A. With compaction of barrier soil layer



B. Without compaction of barrier soil layer

Fig.2 Simulation of Leachate Generation by HELP Model

Table 1. Seasonal Leachate Characteristics Around Nanji Landfil Site

	Temp. (°C)	DO (mg/L)	pH	TDS (mg/L)	COD (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	T-PO ₄ (mg/L)	Alkalinity (mg/L)
Winter	37 - 41 (39.8)	1.3 - 3.7 (2.6)	7.8 - 8.0 (7.9)	7324	1307 - 2729 (1776)	1583 - 3020 (1926)	2644 - 3327 (2954)	338 - 1320 (962)	69.6 - 74.0 (71.9)	3.54 - 4.76 (4.25)	6470 - 7802 (7298)
Spring	40	4.5	7.9	ND	1476	1583	3020	1345	80.9	4.5	7541 - 10859 (9200)
Summer	40	1.0 - 2.1 (1.6)	7.7	8068	1228 - 2622 (1925)	1500 - 1600 (1550)	3239	1473	78.5 - 88.5 (83.5)	4.8	4338 - 7667 (6003)
Autumn	40	2.5 - 3.8 (3.2)	7.6	6180	1440	1236 - 1642 (1439)	2953	1900	81.2	4.7	5610

* COD value by using potassium dichromate

Table 2. Groundwater Quality in Nanji Landfill Site (April, 1992)

ion \ site	Background	Leachate	Monitoring Well					Han River
	# 2	# 4	# 5	# 8	# 9	# 10	# 12	# 14
Na ⁺	20.5	1580	592	294	955	41.0	167	8.3
K ⁺	1.9	1180	664	339	243	7.4	75.9	1.9
Ca ²⁺	16.1	24.8	51.4	65.2	78.2	107	116	11.9
Mg ²⁺	12.4	81.5	107	82.1	133	19.1	40.9	5.2
Fe ²⁺	0.48	0.75	93.0	32.6	214	0.88	16.8	3.78
Mn ²⁺	0.01	0.11	1.0	0.38	17.9	0.94	3.3	0.18
NH ₄ ⁺	1.10	1350	422	137	103	3.1	78.2	10.3
Cl ⁻	48	3200	1601	100	1232	80	401	46
SO ₄ ²⁻	24.3	44	184	32.7	25.7	49.4	4.0	39.8
NO ₃ ⁻	15.8	80.9	14.3	3.26	12.7	31.3	1.33	1.99
Alkalinity as CaCO ₃	75.2	7540	2740	935	1190	140	668	87
COD	4.0	1,447	253	56	216	16	34	24
pH	6.4	7.9	7.5	7.1	7.2	7.0	7.0	7.0
% error of charge balance*	12.0	14.5	12.5	-28.8	12.8	16.1	2.82	29.0

+ All unit is mg/L except pH

* (Anions - Cations)/(Total ions) x 100

2.2. 지하수 및 오염물질 거동 특성

매립지 주변에 설치된 관측정에서 채취된 지하수의 특징은 높은 알칼리도에 의해 대부분의 2가 이상 양이온이 탄산염과 화합물을 형성하여 침전 형태로 존재하게 됨을 알 수 있고 [6], 따라서 보다 반응성이 낮은 1가의 양이온과 음이온을 가지고 대상 지역에 대한 수질 거동의 자료로 활용하였다.

본 연구에서는 대기오염물 관리에서 1980년대 이후 사용되고 있는 리셉터 모델의 개념을 적용하여 관측정에서의 수질에 기여하는 상류측 지하수와 침출수와의 희석배율을 추정하고자 한다. CMB분석의 개념은 오염물질 배출원의 오염물 성분 유형이 서로 독립적인 경우에 있어서, 수용체 위치에서 각 배출원에 의한 오염물 기여도를 각기 선형적으로 적용했을 때, 분석치와 실측치의 차가 최소가 되는 기여율을 산정하는 방법이다 [7]. 즉, 각각의 지하수원은 고유의 이온별 조성과 농도를 가지므로, 이들이 혼합되어 나타나는 관측정에서의 농도는 아래 식과 같이 예상되는 지하수원의 적합한 조합으로 표현할 수 있다.

$$C_{mea}^i = m_1 x_{i1} + m_2 x_{i2}$$

$$\min SSE = \sum_{i=1}^n (C_{mea}^i - C_{est}^i)^2$$

여기서 C_{mea}^i : 대상 관측정에서의 오염물질 i 의 농도 (측정치)

m_1, m_2 : 침출수와 상류측 지하수의 기여도

x_{i1}, x_{i2} : 침출수와 상류측 지하수 내의 오염물질 i 농도

SSE : 실측치와 계산치 차의 자승값의 합

Table 2에서 보듯이 침출수에는 Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Cl^- 등이 고농도로 존재하는 반면, 지하수 중에는 침출수와 비교할 때는 높지 않으나, 지하수 중에서의 전체 무기이온 조성 중에서는 상대적으로 Ca^{2+} , SO_4^{2-} 의 농도가 높은 편이다. 수질 평형모형 결과에 의하면 Ca^{2+} 이온은 반응성을 보이므로, 이를 제외한 5 가지 무기이온은 지하수에서 이동 도중 용해상에서 침전상으로의 변환이 일어나지 않는다고 보고 이들을 CMB 모형의 적용시 대상 화학물로 선정하였다. 지하수원으로는 상류측 지하수로서 2 지점의 지하수를 대표적 수질로 삼고, 시료로 채취한 침출수의 수질을 대표적인 침출수질로 보고, 이들을 화학물질 수지모형에 적용하였다.

통계적으로 가장 상관도가 높은 혼합비율로부터 계산한 침출수의 각 관

측정에 대한 기여도를 Table 3과 같이 산정하였다. 수증에서의 NH_4^+ 와 NO_3^- 는 형태의 변화가 예측되므로, 전체 농도를 NH_4^+ 농도로서 환산하여 화학물질 수지모형에 적용하였다.

Table 3. Contribution of Leachate to the Water Quality of Each Well

Site	Location (Well #)	Source Contribution Factor		R^2	χ^2	Dilution Ratio (G.W./Lea.)
		Groundwater	Leachate			
active landfill	5	5.511	0.430	0.99	1.04	2.33
old landfill	6	0.333	0.109	0.95	9.54	9.14
	8	0.948	0.075	0.70	153.8	13.3
near river bank	9	0.310	0.343	0.93	12.53	2.92
	10	4.448	0.003	0.99	1.13	333.
	12	1.540	0.017	0.86	11.71	58.8

Table 4. Ratio of Calculated Value by CMB Run to Measured Data

Site	Location (Well #)	Cl^-	Na^+	K^+	NH_4^+	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
active landfill	5	1.01	1.45	0.99	0.82	0.95	1.72	1.86
old landfill	6	1.18	1.05	0.69	0.69	0.95	0.41	0.41
	8	0.82	0.51	0.64	0.18	0.74	0.05	0.23
near river bank	9	0.87	0.63	5.18	3.58	2.12	0.46	1.98
	10	1.10	0.88	0.99	1.21	0.90	0.30	1.04
	12	0.85	1.15	2.02	1.75	1.10	0.03	0.20

각 관측정의 지하수질에서 Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Cl^- 등의 농도에 영향을 주는 것은 침출수이다. 침출수 이외에는 모두 지하수 원래 특성에 기인하는 이온 성분 특성이라 가정했을 때, 침출수와 지하수와의 희석비는 Table 3과 같이 침출수에 의한 기여도의 역수로 나타낼 수 있다. 이것은 가상의 지하수원을

추가하여 모형을 수행한 경우에도 침출수에 의한 기여도가 변하지 않아 타당한 가정이라 볼 수 있다.

Table 4에서는 CMB 분석에 의한 계산치와 실제 측정치간의 비율을 보여주고 있다. 관측정 8의 Ca^{2+} 와 관측정 9의 K^+ , 관측정 12의 Ca^{2+} 등과 같이 계산치와 실측치 간의 비가 이상적으로 작거나 큰 경우는 주된 오염원이라고 본 대상 침출수가 각 관측정의 수질을 설명할 수 없음을 말하여, 이 지점들의 수질을 오염시키는 침출수 수질의 특성은 조사된 침출수질과는 상이함을 말해 준다.

CMB 모형은 통계 모형이므로 분석 결과는 통계적으로 유의해야 한다. R^2 값이 0.8 이상이고, χ^2 값은 4 이하여야 하며, 계산치와 실측치 간의 비율의 오차는 20 %를 초과하지 않아야 계산에 의한 추정값이 유효하다고 볼 수 있다 [8]. Table 3의 결과에서 보듯이 지하수질의 오염원으로 선정된 침출수는 모든 관측정에서의 수질 특성을 설명해 주지 못하는 것을 볼 수 있다 (관측정 5와 10은 CMB 모형으로 잘 설명됨). 즉, 매립지의 침출수 수질은 동일하지 않고 위치별로 차이가 있음을 보여준다. 관측정 6과 8이 위치하는 지점은 구 매립지가 있는 지역으로 현재 부근지역에는 매립이 진행되고 있으나, 이들 관측정이 위치하는 지점은 매립이 완료된 지역으로 다른 지역의 침출수와는 성상이 다르다는 것을 보여준다. 한편, 9 지점 관측정의 수질이 나쁜 것은 관측정 주변의 막힘 혹은 오염에 기인하는 것으로 추정된다.

최근의 난지도 매립지에 대한 한 연구보고서에 의하면 [9], 양수실험에 의한 투수계수는 한강변 지역이 평균 1.29×10^{-3} m/sec, slug test에 의한 관측정 굴착시의 현장 투수시험 결과는 평균 1.09×10^{-5} m/sec의 값을 보였고, 현장 수리 분산 시험에 의한 상암동 지역의 종분산 계수는 평균 4.93 m를 보여서 최 등의 결과치와 유사한 것을 보이나, 실험실 내에서의 주상시험 (column test)에 의한 값은 평균 2.6×10^{-3} m의 작은 값으로 이 둘 간에는 큰 차이를 보였다.

위의 결과를 이용하여 투수계수를 양수시험과 slug test의 중간범위인 5×10^{-4} m/sec로 잡고, 동수구배 0.003, 횡분산 계수를 5 m로 보고, 지하수의 흐름 방향을 매립지에서 한강 방향이라 볼 때, 관측정 5, 10에 대한 희석비와 수평 및 수직 위치에 따른 오염물 농도의 fitting으로부터 수직 방향의 분산 계수를 산정할 수 있다.

3. 지하수 오염 거동에 관련한 인자의 추정

매립지에서 발생하는 침출수에 의한 환경영향을 평가하기 위한 모델링에는 잘 검증된 인자의 추정이 필요하다. 각 단계 별의 주요 항목 및 이에 따른 인자들을 요약하면 Table 5와 같다.

Table 5. Parameters or Items To Be Investigated for EIA

항목	구체적 내용	조사되어야 할 인자 혹은 계수
침출수 발생량	침투수 유량	복토층 및 폐기물 층의 투수계수 증발산량, 표면유출량
시간에 따른 침출수질	오염물 부하 형태	오염물별 분해계수 혹은 용출율 총 오염물 함유량
지하수 및 오염물 거동	오염물의 flux	지하수의 등수두선 수평, 연직의 수리분산 계수 지하수층의 투수계수 오염물의 분해 및 흡착계수 매립지 외곽에 대한 오염물 농도분포

3.1. 침출수 발생량 산정

침출수는 폐기물 자체와 분해시 발생하는 수분이 일부분 있으나, 대부분 강우에 의해 발생하고 있으며, 따라서 수문 체계에 있어서 다음과 같은 관계에서 산정하고 있다.

$$\text{침출수 발생량} = \text{강우량} - \text{증발산량} - \text{표면유출량}$$

침출수량을 산정하는 방식은 여러가지가 있으나, 최근 많이 활용되고 있는 HELP 모형을 중심으로 보았을때, 계산 과정에 관여하는 주요 인자들로는 표면복토층과 폐기물층의 투수계수, 공극율, 토양의 함수능 (Field Capacity, Wilting Point), 표면유출율, 증발산을 등이 있다 [10]. 이중 증발산량은 식재 유무에 따라서 약간의 값의 차이를 보일 뿐, 전적으로 기후 조건에 좌우되므로, 총 침출수 발생량은 표면 유출량에 크게 달라진다고 볼 수 있다.

표면유출량은 강우량, 표토층의 투수계수, 표면 식재의 유무, 표면경사와 토양의 수분함유량 등에 의해 결정되는 값으로 통상 SCS 곡선에서 얻고 있다. 즉, 최근 5일간의 선행 강우량, 토양의 침투성, 표면 식재 상태로부터 CN 값 (Curve Number)을 얻고, 이 값을 이용하여 강우량에 따른 표면유출량을 도표나 식에서 구한다 [11].

실제 매립지로의 침투량을 바로 산정하기는 어려우므로, 이 양의 검증은 강우량에 따른 표면유출량과 중발산량을 현장 조사함으로써 침투량을 추정하게 된다.

한편, 침투량이 결정되어도 매립지 바닥층을 통해 침출수가 발생하는 시점은 매립고에 따른 토양 내 수분보유능에 따라 침투유량은 일정시간 지연되어 나오게 되고, 이 시간이 길수록 침출수질의 성상은 계절별 차이가 작아져서 보다 균일해 지게 될 것이다.

3.2. 시간에 따른 침출수질

매립이 종료된 매립지는 더 이상의 오염물질이 유입이 없으므로, 매립된 폐기물이 분해되거나, 용해, 세척되면서 나오는 오염물질은 시간에 따라 침출수질의 농도가 점차로 감소하는 경향을 보이고 대부분의 오염물질 농도는 1차 반응식으로 표현하고 있다.

하지만 현재까지 구체적으로 폐기물 단위 중량당에서 얼마만한 오염물질이 나오는지에 대한 자료는 없으며, 따라서 대부분의 침출수질에 대한 예측은 확률론적으로 예측하기 보다는, 결정론적으로 자료에 따른 경험적인 계수값을 활용하고 있는 실정이다.

통상 침출수질이 안정화되기까지는 40 년 이상이 걸리는 것으로 보이며, 특히 매립고가 높아지면, 침출수질은 보다 높은 농도로 오랜 기간 지속되는 것으로 보고되고 있다 [11].

3.3. 지하수 및 오염물 거동

지하수 오염에 따른 환경영향은 대상으로 하는 지역의 지하수 오염에 따른 환경피해를 산정함으로써 평가되어질 수 있는데, 현재까지 뚜렷하게 지하수에 의한 환경오염의 영향권과 오염 정도는 파악되지 않고 있는 실정이다.

따라서 보다 광범위한 지역에 걸친 (매립지 외곽 1 km 이상 거리까지) 오염물 농도 분포와 지하수의 등수두선 작성을 통해 각 방면으로의 오염물 Flux를 산정하는 것이 급선무이다. 이때 앞에서 잠깐 언급한 바와 같이 매립지부

근 지역 (250 m)은 수직 농도분포가 현저히 다르므로, 지하수 채취용 관측정이 screen 크기가 너무 크지 않는 것이 좋다. (5 m 이내)

4. 환경오염 방지 대책

4.1. 환경영향의 계량화

지금까지 정량화된 주변지역으로의 환경영향이 파악되지 않고 있고, 환경영향의 산정시 환경피해의 정도에 대한 정의도 모호한 편이므로, 환경오염 방지 대책을 적정수준에서 결정하는 작업은 불가능하다고 하겠으나, 현재 수준의 자료 만을 가지고 매립장에서 외부로 유출되는 오염물의 차단이라는 목표로 방지대책에 대한 논의를 하고자 한다.

논의에 앞서 지하수 오염에 대한 환경 피해에 대하여 잠시 고찰하면, 크게 다음과 같은 범주에 속한다고 하겠다.

- 1) 지하수질 악화에 따라 용수 목적상 지하수 이용이 부적합하게 되는 경우 - 관개용수, 공업용수, 세척수, 식수 등
- 2) 독성물질의 토양 내 축적에 따른 농토로서 부적합하게 되는 경우
- 3) 1)항과 같은 맥락에서 침출수 중의 악취 유발 물질에 의한 용수 이용시의 악취 발생

위와 같은 환경피해가 어느 범위까지 영향을 줄 것인가에 따라서 피해 정도가 계량화될 것이며, 이에 따라 적정수준의 환경오염 대책 범위가 수립되어야 할 것이다.

4.2. 환경오염 저감대책

다음으로 환경오염 저감대책을 논의하면, 대책은 크게 오염물질을 주변과 차단하고 이를 처리하는 방법과 배출량을 저감하는 방법으로 나눌 수 있다. 이들을 열거하면

- 1) 매립지 주변에 연직차단벽을 불투수층까지 설치하고, 발생침출수는 양수후 지상에서 처리하는 방안
- 2) 매립지 둘레에 일정 깊이까지 트렌치를 설치하여 지하수면 부근의 농

도가 높은 부분만 채집하여 처리하는 방안

- 3) 매립지 복토층의 투수계수를 낮추어서 우수의 침투량을 작게 함으로써 발생 침출수량을 작게 하는 방안
- 4) 양수정을 설치하여 오염물 이동대 (plume)가 확산되지 못하게 적극적으로 지하수를 양수하는 방안

등이 있다.

1안의 경우는 오염물질의 완전차단이라는 면에서 가장 확실한 방법이나 매립지 둘레에 30 m 이상되는 불투수층까지 차단막을 설치하므로 설치비용이 방대하게 소요되므로, 과연 경제성 (환경오염 방지에 따른 피해 경감액 - 차단벽 설치 비용 > 0) 이 있느냐 하는 평가가 요구되어진다.

2안의 경우 현재에도 발생하는 침출수의 일부는 매립지 사면 부근에서 자연적으로 중력에 의하여 배출되는 양이 상당하다는 점에서 침출수 배제용 트렌치의 설치 만으로도 발생하는 침출수의 상당부분이 수집될 수 있음을 알 수 있으므로, 고려할 수 있는 방안이라 하겠으나, 전체 발생 침출수의 어느 정도가 수집될 수 있으며, 배제되지 않고 주변으로 배출되는 침출수 부분이 환경에 미치는 영향이 어느 정도일 것인지에 대한 정량화가 선행되어야 할 것이다.

3안의 경우 침출수 발생 억제 측면에서는 상당한 효과가 있음을 Fig.2의 복토층의 투수계수에 따른 침출수 발생량 예측 결과에서도 알 수 있으나, 오염물질은 궁극적으로 모두 용출되어 나옴으로써만 매립지가 안정화된다는 것을 고려할 때 매립지 안정화 측면에서는 그다지 유리한 방안이라 할 수 없다.

4안의 경우 배출되는 오염물을 잘 설계된 양수정을 통해 모두 지상으로 양수후 처리함으로써 오염물질의 확산을 방지할 수 있다는 측면이 있으나, 차단벽과 같은 다른 수단을 의지하지 않는 경우는 막대한 수량을 양수해야 하고, 이의 처리에도 엄청난 투자가 필요하므로, 1안에 비하여 보다 더 현실적이지 못한 방안이라 하겠다.

결국 난지도 매립지 주변의 지하수 오염 방지라는 과제는 적정수준까지의 오염물 배출 허용기준을 설정하고, 이에 따라서 결정된 수준의 깊이까지의 오염 지하수 만을 양수 처리하여야 할 것임을 알 수 있고, 그 수준의 정도는 용수 목적과 공학적 처리 효율을 고려하여 전문가 사이에서 결정되어야 할 것이

다. Fig.3은 설치한 관측정의 스크린 위치에 따른 수직적 오염물 농도 분포를 보여주는 자료로서 이러한 자료들이 보다 자세히 조사되면 여기에 근거하여 어느 수준까지의 지하수를 처리할 것인가 하는 정도를 산정하는 지표로 활용할 수 있을 것이다.

이상과 같은 논의를 요약, 정리하면 Fig.4와 같이 나타낼 수 있다. 즉, 불량매립지 부근의 지하수 환경오염의 저감대책은 우선 환경오염의 현황과 피해 정도가 정량화되고, 환경오염을 유발시키는 침출수 발생과 지하수 이동에 따른 거동이 규명된 후에 적절한 대책이 수립되어 목적으로 하는 수준까지의 환경질 개선 대책이 수행되어야 할 것이다.

5. 결 론

- 1) 매립지에서 발생하여 지하수로 유입되는 침출수질은 COD가 1,500 mg/L, 암모니움 이온이 1,300 mg/L, 총용해 고형분이 7,000 mg/L, pH 7.7 부근, 알칼리도가 CaCO_3 농도로 7,000 mg/L 정도였으며, 수온은 40 °C 부근의 일정한 값을 보였다.
- 2) 매립지 주변 지하수질은 관측정의 수직 및 수평 위치에 따라 농도가 변함을 볼 수 있고, 구매립지는 침출수질의 특성이 현재 활발히 분해가 이루어지는 부분과는 다름을 화학물질 수지 모형을 통해 알 수 있었다.
- 3) 매립지 환경영향의 정량화를 위해서는 광범위한 매립지 주변 지역에 대한 오염물 농도분포와 지하수에 대한 등수두선이 작성되고, 침출수 발생 모형이 난지도에 대하여 검증되어 오염물 flux의 계산이 가능하여야 하며, 이를 위한 연구및 지원이 시급히 이루어져야 한다.
- 4) 환경오염 방지 방안으로는 매립지 둘레에 지하 연직 차단벽을 불투수층까지 설치하는 것이 가장 확실한 방법일 것이나, 경제적으로 어려울 때는 매립지 둘레에 트렌치를 설치하여 침출수와 일정 깊이까지의 오염된 지하수를 채집하고, 이때 적절한 채집 깊이는 오염물의 연직 분포를 고려하여 결정하는 방안이 합리적일 것이다.

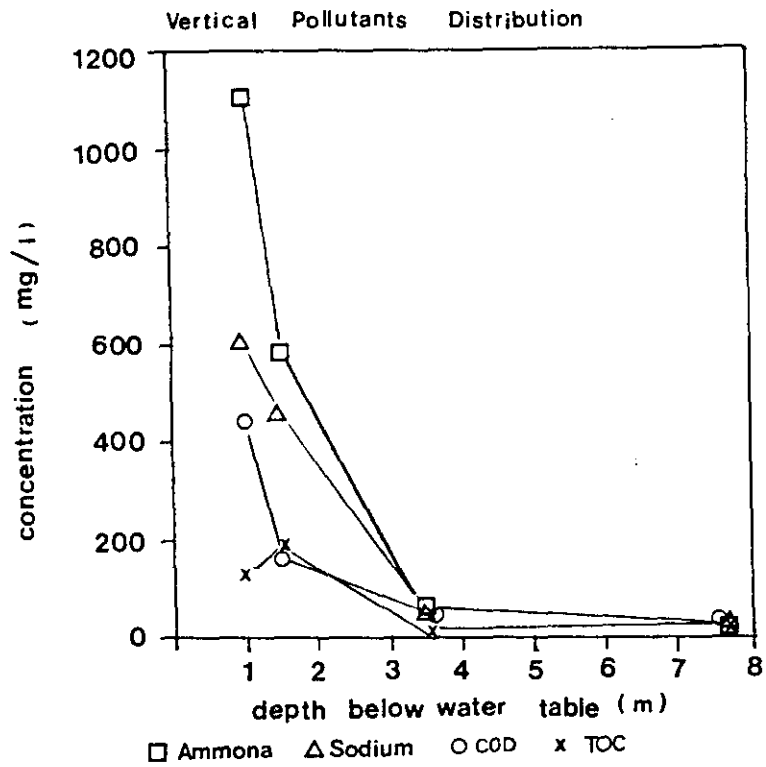


Fig.3 Vertical Pollutant Distribution in Groundwater of Surrounding Nanji Lanfill

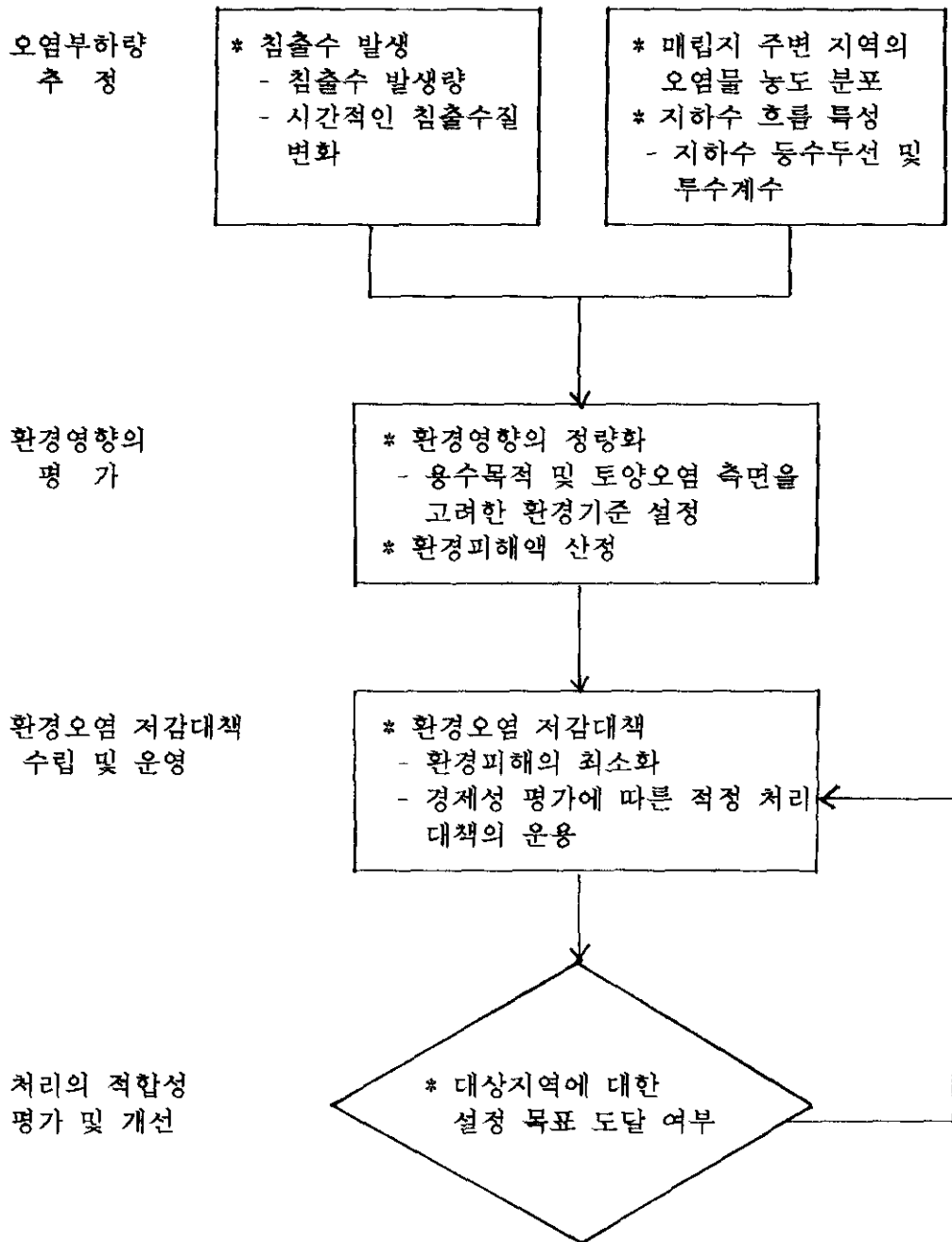


Fig.4 Procedure for the Remediation of Polluted Groundwater

참고문헌

1. 이승무, 코오롱(엔), 구자공, 삼보지질(주), 매립지 가스 (LFG) 추출 이용기술개발에 관한 기초연구 (I), 한국과학재단, 1990.
2. 이승무, 코오롱(엔), 구자공, 삼보지질(주), 매립지 가스 (LFG) 추출 이용기술개발에 관한 기초연구 (III), 한국과학재단, 1992.
3. Ed. by Charbeneau, R.J. et al., Groundwater Remediation, Water Quality Management Library, Volume 8, Technomic Publishing Co.,Inc., pp.37-51, 1992.
4. 최세영, 구자공, 박중현, "쓰레기 매립지의 침출수에 의한 오염물질 이동에 관한 연구", 제8회 공동학술강연회, 지하수 자원의 활용과 보전, 대한광산지질학회, 한국지질학회, pp.29-42, 1992년 6월.
5. Robbins, Gary, A., "Influence of Using Purged and Partially Penetrating Monitoring Wells on Contaminant Detection, Mapping, and Modeling", Ground Water, Vol., 27, No.2, pp.155-162, 1989.
6. 구자공, "난지도 침출수의 특성과 거동", 폐기물 재활용기술 국제심포지움, 중앙대학교 건설대학원, pp.81-90, 1992년 5월.
7. Gordon, G.E., "Receptor Models", Environ. Sci. & Technol., Vol.22, No.10, pp.1132-1142, 1988.
8. U.S.EPA, Receptor Model Technical Series, Volume III, CMB User's Manual (Version 6.0), EPA/450/4-83/014R, 1987.
9. 폐기물 매립지 환경오염방지 및 안정화방안 연구, (주) 대우 건설기술연구소, p.444, 1992년 12월.
10. The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model, Volume 1. User's Guide for Version 1, EPA/DF-85/001a, 1984.
11. Eichenberger, B. and Stearns, R.J., Leachate from Municipal Landfills, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, p.453, 1985.