

單純型 廢棄物 埋立場 浸出水の 特性

서울特別市保健環境研究院 , *日本岐阜大學

姜美惠·丁 權·金銀淑·車榮燮·裴一相

李承株·金東一·申載英·*張倍喆

The characteristics of leachate on Open-dumping landfill

Seoul Metropolitan Gover. research Institute of Public Health and Environment

**Gifu uni. in Japan.*

Mi Hye Kang, Kweon Jung, Eun Sook Kim

Jae Young Shin,*Young C. Chang

= Abstract =

The Nanjido landfill site which is located in Seoul city boundary is the biggest one among the finished landfills in Korea. But it has caused many pollution problems including leachate, because various wastes have been simply disposed at Nanjido landfill site without any sanitary treatment systems and installations to keep it from polluting around from March, 1978 to December 1993. In order to suggest the efficient treatment of leachate and the stabilization level of landfill at simple landfill site such as Nanjido, water balance method was applied to evaluate the behavior of leachate of Nanjido landfill site treatments of the leachate with relation to characteristics of waste and related conditions and amount of leachate from 1994 to 1997.

The results of this study were as follows

1. The new method as applied to evaluate the amount of leachate, considering the capacity of moisture content in waste. The amount of leachate calculated for 10 years by new method to be, 14,038m³/day in the most amount and 5,094m³/day, in average amount, which was almost same as the amount calculated by general method with a bad condition of covering soil, but it was found higher than the amounts calculated by the HELP Model, the most amount, 14,038m³/day, and average amount, 5,094m³/day.
2. The decomposition of organic materials was slower in simple landfill site than in sanitary landfill site.

The concentrations of COD, BOD and SS were found decreased obviously since 1996.

3. The concentrations of heavy metals in the external leachate were estimated lower than those of heavy metals in internal leachate and concentrations of heavy metals in the

refined leachate were also estimated lower than those of heavy metals in general leachates, depending on amount of SS. The concentrations of Fe, which were higher than those of any other metals in 1997, were found decreased obviously and those of other heavy metals were lower than allowance limit.

4. The concentrations of Cl^- in both of internal leachate and external leachate greatly were decreased through rainfall exceeded 260mm but not decreased through rainfall below 80mm.
5. pH values of the leachates indicated that the leachates had reached stabilized status. The average temperatures of internal and external of leachates were found 39.6°C and 22.8°C respectively. The number of E. colifom was found gradually decreased.
6. The SRB seemed to be more survival at 30°C than 50°C, and it was evaluated that most of it was mesophile and distributed widely up to the maximum of 9.180MPN/ml

서 론

국내 쓰레기 발생은 인구의 폭증 및 생활수준의 향상과 더불어 산업활동의 팽대 및 이에 따른 경제구조의 확대에 의해 그 성상의 다양성과 양의 급격한 증가를 가져왔다. '96년도의 생활계폐기물(생활폐기물+사업장생활폐기물)처리의 경우 매립이 68.3%, 소각이 5.5%, 재활용이 26.2%로 매립이 차지하는 비중이 높은 실정이며¹⁾ 폐기물처리와 재이용 기술의 낙후, 매립지 확보의 어려움으로 적절한 대책이 필요한 상황에서 소각에 의한 감량화 및 재활용의 방안이 실시되고 있으나 소각의 경우 또한 중간처리 단계일 뿐만 아니라 폐기물의 회수나 재활용도가 낮아 앞으로도 매립이 상당량 차지할 것으로 예측된다. 난지도 폐기물 매립장은 1978년 3월부터 1993년 12월까지 15년간 위생기반시설 및 오염방지시설의 설치없이 비위생적으로 단순투기, 매립되어 여러 가지 문제점을 야기하고있다. 즉 악취, 분진, 가스상물질 등 대기오염 및 침출수 등으로 주변 지하수와 토양 및 지표수는 물론 인근 한강의 수질에 이르기까지 많은 악영향을 끼치고 있다.^{2),3),4),5),6)}

침출수의 특성은 쓰레기내의 유기물함량이나 중금속함량, 매립후 경과시간, 수분함량, 온도, 복도, 다짐정도, 매립지 형태등 여러 인자에 의해 각 성분의 농도변화가 심하고 다양하게 변화하므로 적정처리를 위한 처리장용량, 처리방식의 선정 및 운전관리가 어려울 뿐만 아니라 대표적인 침출수 농도를 제시하기 어렵다.^{3),4),5),6)}

침출수 특성에 영향을 미치는 또 다른 중요한 요인 들로는 폐기물의 입자 크기와 다짐정도, 매립지반에

사용된 토양 그리고 폐기물의 덮개용으로 사용된 토양의 유형 및 입자크기 등을 들 수 있다.⁷⁾ 폐기물의 파쇄와 baling과정은 침출수의 발생과 성상에 많은 영향을 나타내고 있다⁸⁾. 폐기물의 파쇄과정은 폐기물의 입자를 작게 하여 현장에서 폐기물의 밀도를 높게 하며 수분보유 능력을 증가시켜 침출수의 생성을 더디게 할 뿐만 아니라 폐기물의 표면적을 증가시켜 폐기물내 생물, 화학적 반응을 위한 많은 장소를 제공하여 폐기물의 분해를 촉진한다. 그러므로 파쇄처리된 폐기물은 오염농도가 매우 높은 침출수를 생성하며 안정화에 비교적 짧은 시일을 요구한다. 폐기물의 baling과정은 폐기물을 빈틈없이 집적시켜 물의 침투를 매우 어렵게 하며 결과적으로 폐기물의 물 흡착을 매우 느린 속도로 진행시켜 폐기물의 수분보유 능력을 저해하는 요인이 되고 있다.

현재까지 위생매립에 대해서 매립지의 침출수처리, 안정화 및 관리면에서 이미 많은 보고^{4),5),6)}가 있었지만 난지도 매립지 같은 단순매립지에 대한 보고는 단편적일 뿐 체계적인 보고는 거의 없어 구체적이고 효율적인 처리방안을 제시하지 못하고 있다. 또한 비위생폐기물 매립지에 대해서 폐기물 특성에 따른 내부 수분보유력을 고려한 침출수 발생량에 대한 model보정이나 예측에 관한 연구도 없는 실정이어서 난지도 폐기물 매립장에 대하여 '78년부터 '93년까지의 매립기간을 포함하여 매립완료 후 3년이 경과된 '96년도까지의 침출수 발생량을 폐기물특성 및 제반조건을 고려한 새로운 물수지방법으로 계산하고 '94년부터 '97년까지 침출수의 거동등을 파악하여 장래의 침출수 처리계획을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

측정 및 분석방법

1. 난지도 매립지의 현황^{2), 3), 9)}

서울시 마포구 상암동에 위치하고 있으며 매립시기는 1978년 3월부터 1993년 12월까지이며 매립면적이 1,904,000m², 매립높이 약 96m이며 매립량은 91,972,000m³에 달하고 있다. 또한 매립물 성분으로는 일반폐기물이 97.6%, 하수슬러지 및 산업폐기물이 2.4%를 차지하고 있으며 매립방법은 미복토 및 미차수막 단순매립을 해왔다.

2. 쓰레기성상^{2), 3)}

난지도에 매립된 폐기물은 그 동안 보고된 자료에 의하면 시료채취지역 또는 심도에 따라서 다양한 값을 나타내며 불연성이 62%로 대부분이 토사류(42.5%), 돌, 도자기(16.5%)로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 음식물 쓰레기는 대부분 이미 분해 된것으로 나타났고 가연성 성분은 생물학적으로 분해가 어려운 비닐과 플라스틱(15.7%)이 주종을 이루고 있다. 또한 폐기물의 원소조성 결과는 C, H, O, N, S의 평균값이 각각 14.40, 3.27, 6.36, 0.25와 0.09%로 나타났다.³⁾ 조사된 C값은 대부분 비닐과 플라스틱에 기인한 것으로 판단되며 생물학적으로 분해가 가능한 물질은 적으리라 사료된다.

3. 침출수 채수지점 및 시기

난지도 매립지의 시료채수 지점을 Fig.1에 나타냈다. 1994년부터 1997년까지 분기별로 년 4회씩 모두

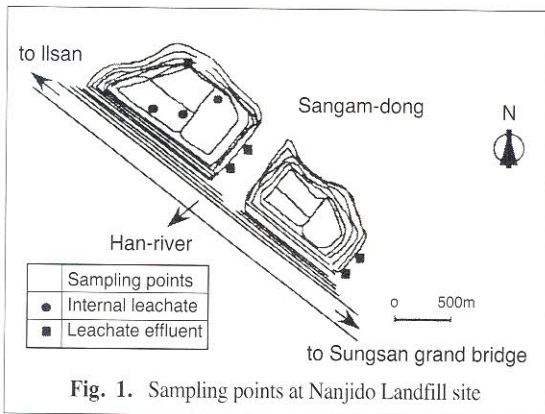


Fig. 1. Sampling points at Nanjido Landfill site

16회에 걸쳐서 채수하였는데 외부침출수는 5개소, 내부불링공내 지하수(이하 내부침출수)는 3개소(지하 약 30m내외)를 조사했다. 모든 조사에 있어서의 채수한 시료는 즉시 냉장, 운반하여 측정을 행했다. 또한 세균측정용 시료는 별도로 멸균병으로 채수하였다.

4. 측정항목과 방법

일반세균과 황산염환원균을 비롯하여 유기성분, 무기성분, 중금속류를 합쳐 27항목으로 하였으며 모두 Standard-method(17th)¹⁰⁾와 한국토양오염공정시험법^{10), 11)}에 의해 시행하였다. 또한 중금속류, BOD, COD_{Mn}는 GF-C여지(pore size 1.2 μ m)로 여과한 시료와 여과하지 않은 시료로 나누어 측정했다. 측정에 사용한 모든 시약은 특급품을 사용했다.

결과 및 고찰

1. 침출수 발생량 추정

매립지로부터 생성되는 침출수의 량은 침출수의 수집관거의 설치, 수집탱크의 크기 결정, 침출수의 수질 예측과 처리방법 선정에 매우 중요한 변수이다. 침출량의 정확한 계산을 위해 현장실험, 물리·수학적 모델, 그리고 실제 매립지에서 실측 등의 방법이 적용되어 왔으나 침출수 발생에는 많은 요인이 작용하므로 산정된 침출수량은 실제 발생량에 비해 큰 차이가 나타날 수 있다. 이러한 차이는 매립지의 정확한 유출계수, 강수량, 증발산량, 투수계수, 폐기물 및 복토재의 흡수력 등의 실측이 불가능하기 때문이다.

한편 Water Balance에 기초를 둔 많은 수학적 방법들이 매립지에서 생성되는 침출수의 량을 추정하기 위해 사용되어 왔다.^{7), 8)} Water Balance 방법은 일차원 흐름 model과 침출수원의 다양한 요인 사이에 질량보존의 관계, 그리고 폐기물과 복토의 수분 보유와 전달 특성에 기초를 둔다. 보통 침출수 발생량은 매립지 사용기간 중에는 매우 높고, 사용 종료 후 최종복토를 시행한 후에는 점차 감소한다.

매립지 사용기간 중 발생하는 침출수의 주된 발생원은 강수량과 폐기물에 함유된 수분이 현장 압축에 의해 발생하는 양임을 알 수 있었다. 폐기물의 현장 수분보유 변화량은 폐기물이 갖는 최대수분 보유량과 초기 수분 보유량과의 차이를 말하며 폐기물의 성상에

따라 매우 다르다. 폐기물의 수분보유능력은 만일 폐기물의 각 성상별 백분율을 정확하게 알 수 있다면 비교적 정확하게 예측할 수 있다.

또한 Water Balance 방법은 매립지 덮개가 비교적 높은 침투율을 갖는 토양을 사용한 경우 적용가능하며 매우 낮은 침투율을 갖는 점토층이 synthetic membrane을 사용한 경우의 침투율은 매우 낮을 것이다. 침출수 발생량 산정에 큰 영향을 미치는 표면유출량, 침투수량, 증발산량 및 수분저류용량을 결정하기 위하여 여러 가지 방법이 개발되었지만⁷⁾ 이러한 방법을 이용하여 침출수량을 산정한다는 것은 매우 진부하고 복잡하여 computer simulation model들이 개발되었다. 그 중 HELP model은 water balance equation을 사용하지만 매립지의 침투수량 예측하기 위하여 매립지 덮개부분의 barrier layer의 침투량을 고려하여 수직적 침투량과 수평적 유출량을 산정할 수 있다. HELP model을 이용한 침출수량 예측의 오차 범위는 약 -96%와 +449% 사이로 보고 되고 있다^{12),13)}.

침출수 발생량은 주로 강수량, 증발산량, 표면유출량, 외부 침입강수량, 폐기물내수분량, 복토의 수분보유력등에 의해 좌우된다.^{8),9),10),11)} 이상과 같은 요인에 의한 매립지에서 물수지식 다음과 같이 나타낼 수 있다.

R_1 : 폐기물내 총수분량이 매립지 내부에서 침출수로 되는량($m^3/년$)

(폐기물 수분보유력 이상의 수분량) .

$$R_1 = R_2 - R_3 \text{ ——(1)}$$

R_2 : 매립지내 총수분량($m^3/년$)

$$R_2 = W_1 + W_2 - W_3 \text{ ——(2)}$$

R_3 : 폐기물이 수분을 보유할수있는양($m^3/년$)

= FC(field capacity:수분보유력계수) × 폐기물 건조물량

W_1 : 폐기물의 수분보유가능량($m^3/년$)

= 매립폐기물량($m^3/년$) × 폐기물수분량함유율

W_2 : 강우의 침투량($m^3/년$)

$$= P - E - P \times r_1$$

P : 강우량($m^3/년$) E : 표면증발산량($m^3/년$)

r_1 : 표면유출율

W_3 : 가스로서 소비되어지는 수분량($m^3/년$)

$$= G \times r_2$$

G : 가스발생량($Nm^3/년$) r_2 : 가스수분함유율

매립이 시작된 '78년부터 '93년까지 완료후 3년이 지난 '96년도까지 1년 단위로 계산해서 합한 내부침출수 발생량을 추정하면 폐기물의 수분량은 문헌^{2),9),14)}에 의해서 매립기간의 수분함량은 25.6%, 매립후는 20.61%로 계산하고 강수량 및 증발산량은 서울지역의 기상청자료를 이용했다.¹⁵⁾

r_1 은 실측할 수 없기 때문에 난지도 매립지의 경우는 미복토 단순 매립상태에서의 문헌을 인용했다.^{2),7),9),14)} 이에 따라 사면부는 0.3, 상부 및 저부는 0.06으로 했다. 강우의 침투량은 강수량으로부터 증발량 및 유출량을 뺀 것을 의미한다. W_3 은 문헌^{2),9),8),14)}에 의해서 계산하여 매립가스비중을 $1.145Kg/m^3$ 로 하고 매립가스생성에 소비되어진 수분 r_2 는 $1.269Kg/m^3$ 로 계산하였다. R_3 은 문헌^{7),14)} 서 제시한 방법에 의해 폐기물 건조 중량을 산출했다. 폐기물 수분보유력 계수(FC)는 0.05로 산출되어 이것을 이용해서 계산했다. 이들로부터 19년간의 강우에 의한 침출량, 매립면적 및 폐기물량에 의한 침출수 발생량을 계산하면 총발생량은 $30,092,232m^3$, 년 평균 $1,583,801m^3$ 즉 $4,339m^3/일$, 최대는 $14,039m^3/일$ 이된다. 단순형 폐기물매립지에서의 침출수 발생량을 계산한 예는 찾아 볼 수 없지만 Stegmann이 제안한 복토불량시의 침출수 측정 평균발생량 계산방법¹⁶⁾을 적용하면 같은 값을 얻을 수 있었다. 한편 위생매립지에서의 침출수 발생량에 대해서는 서울시가 HELP모델을 이용해서 10년간의 데이터로부터 얻고 있다. 이 자료에 의하면 난지도 매립지 침출수의 발생량은 평균발생량 $2,350m^3/일$, 최대 $14,849m^3/일$ 이었다. 그러나 이번에 제안한 계산방법으로 10년간의 발생량을 계산하면 평균침출수 발생량 $5,095m^3/일$, 최대 $14,039m^3/일$ 이 된다. 단순매립과 위생매립을 비교하면 위생매립은 어느 정도의 집수관이 시공되어 있기 때문에 그 관을 통한 가스비율은 높게 된다. 따라서 HELP모델로 계산된 평균 침출수 발생량에 대해서는 과대평가 된 것으로 사료되고 이들로부터 HELP모델로 단순매립의 침출수 발생량을 예측하는 것은 무리가 있다고 판단할 수 있겠다.

2. 유기성분의 특성

TCOD, TBOD, TOC의 농도변화는 매립완료 후 매립 층이 분해되기 시작하기 전 약 300일 동안은

COD값은 증가하고 약 300일을 고비로 산성 Bacteria 및 메탄형성 Bacteria에 의해서 유기물이 분해됨으로 침출수 COD농도는 감소된다고 하였으나 fig.2에 나타난 바와같이 난지도 매립지의 경우 약 1년 이상 경과된 결과는 측정위치 및 측정시기에 따라 농도변화가 크며, BOD 역시 측정위치 및 측정시기에 따라 많은 변화를 보이고 있다(fig.3). 이는 宋등과 비슷한

결과^(8),17),18),19)이다. 위생매립지에서 BOD/COD의 비율이 0.5이상, COD/TOC의 비율이 2.8이상이라면 생물학적 분해 가능한 산성생단계(Young형)이고 BOD/COD의 비율이 0.1이하, COD/TOC의 비율이 2.0이하라면 숙성단계(Old형)로서 분해가 어려운 fulvic acid나 humic acid를 함유한 경우에는 물리, 화학적처리가 효과적인 것으로 알려져있다.^(7),8),20),21),22),23)

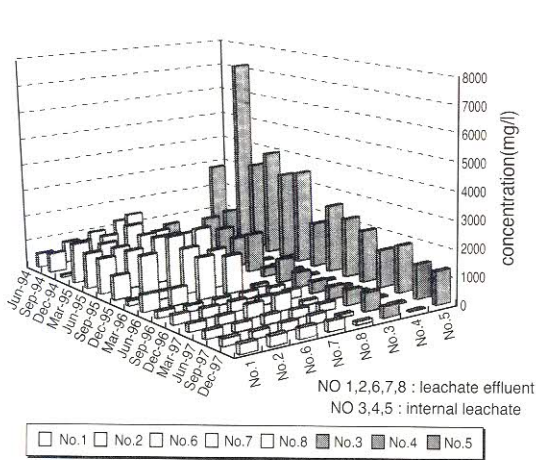


Fig. 2. Change of T-COD in Nanjido leachate

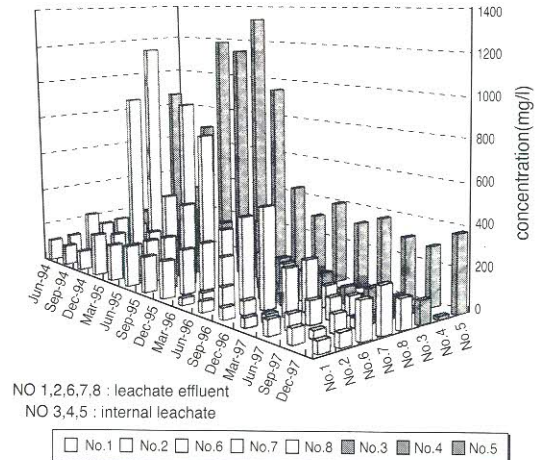


Fig. 3. Change of T-BOD in Nanjido leachate

Table1. Result of Measurements of Nanjido landfill leachate effluent.

unit:mg/l

Parameters	Leachate effluent			
	'94	'95	'96	'97
	(Ave. ±S.D.)			
Temp. (°C)	33.8±4.0	33.8±7.4	30.6±4.0	28.8±11.3
pH	7.9~8.3	8.3~8.3	8.0~8.7	8.0~8.7
Cl ⁻ (mg/l)	3020±674	3063±919	2331±426	1998±626
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	22±3.4	91±12.1	297±173.1	177±262
ORP(mV)	75±25	21±50	86±30	77.6±29.2
Conduct*. (1/Ω)	23.6±1.9	20.2±3.6	15.4±2.0	18.2±7.6
TOC(mg/l)	592±108	731±563	459±260	729±631
TCOD(mg/l)	1120±250	1058±231	679±531	579±394
SCOD(mg/l)	802±197	1067±444	398±208	464±274
TBOD(mg/l)	151±26	432±280	169±98	111±69.7
SBOD(mg/l)	114±21	175±106	114±69	62.8±31.4
NH ₃ -N(mg/l)	674±119	697±173	528±284	791±430
NO ₃ -N(mg/l)	ND	ND	23.7±18.3	29.0±27.8
T-P(mg/l)	2.5±1.5	13.5±1.8	4.9±2.6	5.3±2.5
T-N(mg/l)	1614±152	1891±552	1638±375	1327±570
SS(mg/l)	56±13	91±27	49±39	32.7±23.3

그러나 난지도 매립지의 경우 Table 1.2에 나타난 것과 같이 측정지점 및 측정시기에 따라 차이가 매우 크며 매립완료 1년 후인 '95년에 최고 농도를 나타내었고 완료 2년('96년)부터 점차 낮아지기 시작하여 '97년도에는 아주 낮은 농도를 보였다. '95년도의 내부침출수가 가장 높고 각 측정치는 감소하고 있다. 또한 NO₃-N은 내부침출수에서는 '95년도에, 외부침출수는

'96년도부터 검출되기 시작하여 매립완료 후 2년째 부터 전반적으로 산화가 시작했음을 알 수 있다.

또한 fig.4와5에 나타난 것은 매립시간이 경과할수록 침출수에 있어서의 T-P의 농도는 '95년도에 가장 큰 값을 나타내다가 점차 줄어드는 현상을 보이며 T-N도 비슷한 양상을 나타내고 있다. 이는 영양염류 중에 T-N성분은 NH₃-N가 대부분을 차지하고 있어 그

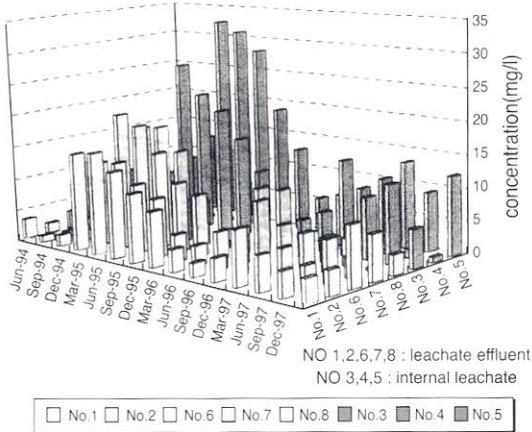


Fig. 4. Change of T-P in Nanjido leachate

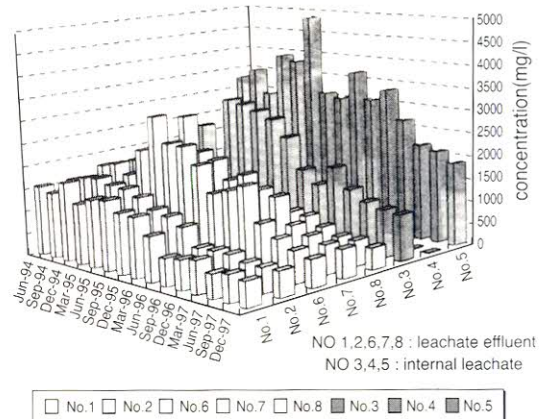


Fig. 5. Change of T-N in Nanjido leachate

Table 2. Result of Measurements of Nanjido landfill internal leachate.

unit:mg/l

Parameters	Internal leachate			
	'94	'95 (Ave. ±S.D.)	'96	'97
Temp.(°C)	41.8±1.2	41.5±12.5	39.3±1.1	40.8±7.9
pH	6.8~8.5	7.5~8.5	7.5~8.6	7.33±8.63
Cl(mg/l)	2645±731	2906±2625	2312±549	2509±1629
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	39±8.9	141±45.2	254±82.9	200±126
ORP(mV)	96±34	-8±43	46±64	-10.6±136.4
Conduct.(1/Ω)	26.5±1.9	20.3±15.7	17.3±4.4	17.9±13.2
TOC(mg/l)	1214±205	1782±2611	2019±559	2539±3221
TCOD(mg/l)	974±418	1612±1828	851±222	1504±1896
SCOD(mg/l)	838±376	1263±1351	598±248	1073±1247
TBOD(mg/l)	2224±999	4076±6823	1853±1125	1211±1710
SBOD(mg/l)	1608±749	2549±4248	1303±793	755±1048
NH ₃ -N(mg/l)	745±223	980±850	719±403	1091±930
NO ₃ -N(mg/l)	ND	18.2±1.9	150.4±31.3	37.3±37.8
T-P(mg/l)	5.0±1.6	16.0±14.0	7.5±2.9	6.6±5.3
T-N(mg/l)	1689±241	2223±1936	1487±390	1708±1577
SS(mg/l)	212±73	173±33	166±29	108±71.5

농도가 높게 나타난 것이라 사료된다.(Table1,2참조) 이러한 혐기성 분해과정에서 암모니아는 쓰레기 매립지내에서 주된 분해생성물중의 하나이다. 이렇게

생성된 과도한 암모니아는 생물학적 처리시 BOD : N : P비율을 파괴하여 처리효율을 저하시키거나 심각한 악취를 유발하게된다. 따라서 매립시간이 경과함

Table 3. Concentration of Heavy Metal of Nanjido landfill leachate effluent.

unit:mg/l

Parameters	Leachate effluent			
	'94	'95 (Ave. ±S.D.)	'96	'97
Fe(unfil.)	8.28±2.38	5.70±5.20	3.94±0.78	3.5±3.5
(fil.)	4.28±1.10	1.51±1.23	2.33±0.57	1.4±0.9
T-Cr(unfil.)	0.92±0.34	0.66±0.42	0.29±0.26	0.2±0.2
(fil.)	0.45±0.09	0.47±0.29	0.22±0.20	0.09±0.18
Mn(unfil.)	0.14±0.02	0.09±0.04	0.19±0.19	0.12±0.08
(fil.)	0.11±0.02	0.06±0.03	0.08±0.04	0.08±0.06
Zn(unfil.)	0.32±0.11	0.36±0.52	0.18±0.14	0.15±0.15
(fil.)	0.18±0.12	0.07±0.04	0.08±0.07	0.09±0.13
Cu(unfil.)	0.06±0.02	0.05±0.01	0.16±0.15	0.05±0.06
(fil.)	0.02±0.01	0.03±0.00	0.08±0.04	ND
Pb(unfil.)	0.07±0.03	0.04±0.01	0.16±0.08	ND
(fil.)	ND	ND	ND	ND
Cd(unfil.)	ND	ND	ND	ND
(fil.)	ND	ND	ND	ND
T-Hg(unfil.)	ND	ND	ND	ND
(fil.)	ND	ND	ND	ND

Table 4. Concentrations of Heavy Metal of Nanjido landfill internal leachate.

unit:mg/l

Parameters	Leachate effluent			
	'94	'95 (Ave. ±S.D.)	'96	'97
Fe(unfil.)	15.29±0.98	15.70±17.70	15.87±2.33	4.0±4.6
(fil.)	2.03±0.76	1.70±0.20	1.95±0.70	0.9±0.9
T-Cr(unfil.)	1.18±0.50	1.00±0.70	0.70±0.54	0.7±0.7
(fil.)	0.65±0.28	0.70±0.40	0.63±0.52	0.22±0.25
Mn(unfil.)	0.61±0.13	1.00±0.94	0.89±0.33	0.22±0.22
(fil.)	0.10±0.05	0.20±0.22	0.13±0.15	0.09±0.05
Zn(unfil.)	2.72±0.58	3.20±2.83	3.02±1.33	0.89±0.78
(fil.)	2.10±0.71	0.70±0.40	0.63±0.26	0.20±0.20
Cu(unfil.)	0.33±0.12	0.50±0.15	3.29±2.97	0.99±1.24
(fil.)	0.06±0.07	0.30±0.16	1.93±2.05	0.35±0.54
Pb(unfil.)	0.09±0.02	0.10±0.12	0.14±0.09	ND
(fil.)	ND	ND	0.04±0.01	ND
Cd(unfil.)	ND	ND	ND	0.01±0.02
(fil.)	ND	ND	ND	ND
T-Hg(unfil.)	ND	ND	ND	ND
(fil.)	ND	ND	ND	ND

Table 5. Result of SRB of Nanjido landfill leachate at 30°C and 50°C culture in '94-'97

unit:MPN/ml

Site	Division	30°C				50°C				
		Mar.	Jun.	Sep.	Dec.	Mar.	Jun.	Sep.	Dec.	
'94	Leachate effluent	No.1	64	24	240	240	4.8	3.3	3.3	34.3
		No.2	49	0	2.4	49	34.8	0	3.3	3.3
		No.6	348	24	240	240	49	2.4	24	79
		No.7	2400<	24	790	790	34.8	2.4	7.9	79
		Min.-Max. Ave. ±S.D.		0-2400< 345.2±603.4				0-79 29.2±29.3		
	Internal leachate	No.3	2.4	24	2.3	24	34.8	3.3	23	23
		No.4	2400<	348	2400<	2400<	0.2	0.2	0.9	2.3
		No.5	4.9	4.9	4.9	4.9	3.3	4.9	4.9	4.9
		Min.-Max. Ave. ±S.D		2.3-2400< 635±1068.6				0.2-348 39.7±97.9		
		'95	Leachate effluent	No.1	22.1	24.	24	24.	24	34.8
No.2	91.8			91.8	240	240	348	240	240	130
No.6	2400			790	940	2400	348	348	91.8	91.8
No.7	940			940	940	240	54.2	79	34.8	542
Min.-Max. Ave. ±S.D				22.1-2400 673.7±762.5				17.2-348 133.4±126.5		
Internal leachate	No.3		4.9	130	130	34.8	54.2	542	17.9	13
	No.4		9180	9180	9180	9180	2.3	0.9	0.9	0.9
	No.5		0	4.9	1.3	0.8	109	79	3.3	54.2
	Min.-Max. Ave. ±S.D			0-9180 3085±4501.0				0.9-542 116.2±201.8		
	'96		Leachate effluent	No.1	24	24	24	24	24	17.2
No.2		24		130	54.2	240	130	7.9	130	49
No.6		348		49	130	2400	24	17.2	91.8	348
No.7		2400		172	240	940	348	17.2	34.8	54.2
Min.-Max. Ave. ±S.D				24-2400 386.9±718.5				0.9-348 82.6±107.4		
Internal leachate		No.3	34.8	130	34.8	2.3	23	34.5	13	3.3
		No.4	9180	2400<	9180	9180	3.3	0.9	2.3	2.3
		No.5	0	7.9	0.8	3.3	3.3	7.0	4.9	4.2
		Min.-Max. Ave. ±S.D		0-9180 2512.8±4076.8				0.9-54.2 12.6±16.5		
		'97	Leachate effluent	No.124	24	24	24	230	13	2.3
No.2	240			54	240	930	49	2.3	240	2.3
No.6	240			240	240	390	24	2.4	91.8	2.3
No.7	240			940	940	210	348	24	240	2.3
No.8	490			940	940	2400	49	49	49	0
Min.-Max. Ave. ±S.D.			24-2400 498.8±563.0				0-348 60.9±97.9			
Internal leachate	No.3		3.3	13	34.8	2.3	23	34.5	13	3.3
	No.4		9180	2400	9180	9180	3.3	0.9	2.3	2.3
	No.5		0	7.9	0.8	3.3	3.3	7.0	4.9	4.2
	Min.-Max. Ave. ±S.D			2.3-9180 2500.4±4085.0				0.9-34.5 22.0±24.8		

에 따라 유기물농도는 감소하는 반면에 T-N의 농도는 큰 변동이 없는 현상을 보이고 있어 표준방법인 생물학적처리 보다는 활성슬러지 변법이나 도시하수와 공동처리 또는 물리, 화학적처리가 효율적일 것으로 판단된다.

3. 중금속류의 특성

중금속물질은 cation exchange capacity(CEC), 미생물, pH, ORP, 용해물질의 불용화, 난용성물질등의 가용화, 용출물질의 화학변화에 의한 침전, 흡착등에 의해서 그 거동이 좌우될 수 있다.^{24), 25)} 특히 매립장에서는 SRB(sulphate reducing bacteria)에 의한 중금속 불용화 역할이 확인되었다.^{26), 27)}

Table 3.4에 나타낸 것은 전반적으로 금속류의 농도는 시간이 경과하면서 낮아지는 경향을 보였으며 여과한 것이 여과하지 않은 것 보다 낮은 농도를 나타내는 SS이 기인 한 것이라 판단되며 T-Cr, Zn, Cu, Mn, Pb, Cd, T-Hg은 불규칙한 농도를 나타내었으며 모두 검출 한계이하였다. 특히 금속등의 경우에는 난용 혹은 불용성 화합물을 형성하기 쉬운 OH⁻, CO₃²⁻, S₂와 착이온을 형성하기 쉬운 OH⁻, Cl⁻, NH₄⁺등의 존재가 거동을 지배하는 경우가 많다.^{28), 29)} 또한 가장 높은 수치를 나타냈던 Fe은 fig.6을 보면 '97년에는 현저히 낮아진 경향을 보였고, 전반적으로 중금속농도는 매우 낮거나 검출한계 이하였다. 이는 폐기물매립

장의 경우 황산염형성이 가능한 경우에는 침출수 중 황산염환원균(SRB)에 의해 침전, 불용화 되어 안정화하는 것으로 보고^{26), 27)}된 바와 같이 난지도 매립장도 황산염환원균이 상당량분포되어 있는 것이 확인되어 안정화가 이루어지고 있는 것으로 추정된다.

4. 무기성분의 특성

난지도의 경우 매립완료 후 4년간의 강수량에 의한 침출수의 변화를 보면 내부, 외부침출수의 염소이온은 전체적으로 낮아지는 경향을 보이고 있다. 일반적으로 강우에 의해 유기물이나 염소이온은 일시적으로 저하하지만 그후 다시 증가하여 원래상태로 되고 강우가 매립지내를 전체적으로 침투하는 것보다 그 일부가 부분적으로 매립지내를 유하해서 그것이 침출수에 직접적으로 영향을 주기 때문에 침출수농도가 전반적으로 감소하는 것이다. 그러나 난지도 매립지의 경우 fig.7을 보면 80mm이하의 강수에 의한 Cl⁻농도변화는 그다지 크지 않지만 96년 6월의 260mm의 많은 강우후 급격히 감소했다. 이것은 Cl⁻이 강우에 의해 희석되어진 결과라고 사료된다. 이 기간에는 내부침출수와 외부침출수 농도가 거의 같고 거동도 같았다.

Table 1.2에 나타낸 바와 같이 산화상태의 지표인 산화환원전위(ORP)와 전기전도도(cohd.)의 변동은 크지 않았다. 따라서 난지도 매립장은 위치에 따라 준호기성 또는 혐기성 상태임을 알 수 있었다.

Table 6. Contents of SRB, APC, of Nanjido landfill leachate

Site		Leachate effluent			Internal leachate		
		min.	max.	Ave. ±S.D.	min.	max.	Ave. ±S.D.
'94	SRB30℃(MPN/ml)	0	2400	345.2±603.4	2.3	2400	635±1068.6
	SRB50℃(MPN/ml)	0	79	29.2±29.3	0.2	348	39.7±97.9
	APC(cfu/ml)	1.0×10 ⁴	1.0×10 ⁶	1.9×10 ⁶	4.5×10 ¹	4.5×10 ⁶	9.3×10 ⁵
'95	SRB30℃(MPN/ml)	22.1	2400	673.7±762.5	0	9180	3085±4501.0
	SRB50℃(MPN/ml)	17.2	348	133.4±126.5	0.9	542	116.2±201.8
	APC(cfu/ml)	1.6×10 ⁵	4.0×10 ⁵	2.8×10 ⁵	302.5	7.7×10 ⁵	2.6×10 ⁵
'96	SRB30℃(MPN/ml)	24	2400	386.9±718.5	0	9180	2512.8±4076.8
	SRB50℃(MPN/ml)	0.9	348	82.6±107.4	0.9	54.2	12.6±16.5
	APC(cfu/ml)	2.7×10 ⁴	7.7×10 ⁶	1.4×10 ⁶	1.6×10 ²	8.3×10 ⁵	1.2×10 ⁵
'97	SRB30℃(MPN/ml)	24	2400	498.8±563.0	0	9180	2500.4±4085.0
	SRB50℃(MPN/ml)	0	348	60.9±97.9	0.9	34.5	22.0±24.8
	APC(cfu/ml)	1.6×10 ⁴	5.2×10 ⁵	1.9×10 ⁵	1.0×10 ³	2.6×10 ⁵	4.8×10 ⁴

5. 일반세균 및 황산염환원균

Table 5.6의 일반세균은 온도와 밀접한 관계가 있는바 외부침출수에서 더 많이 확인되었는데 이 역시 매립지의 안정화 과정에 따라 일반세균수도 변화됨을 알 수 있었다.

황산염환원균의 분포는 실험 조건에서 안정화가 거의 완료된 것으로 판단된 내부침출수의 No.4지점은 50℃ 배양시는 아주 낮은 값을 보이나 30℃ 배양시는 매우 높은 MPN수치를 나타내었고 분해가 진행중인 No.5지점은 30℃보다 50℃배양이 더 높은 것으로 나타났다. 황산염환원균도 지점 및 측정시기에 따라서 변화하는 것을 알 수 있었다. 또한 최고 9,180MPN/ml로 상당량 광범위하게 검출되었으며 30℃에서 측정된 값이 50℃측정 조건보다 많은 값을 보이고 있어 대부분의 황산염환원균은 중온성균으로 판단된다.

6. pH와 온도

Table 1.2에 나타낸 미생물반응 환경에 중요한 요인중의 하나인 온도는 내부침출수가 평균41.8℃에서 39.6℃로 점차 낮아지고 있으며 외부침출수는 평균 33.8℃에서 22.8℃로 점차 안정화 되어가고 있음을 알 수 있었다. 이중 내부온도가 50℃이상인 곳도 있는데 이는 분해가 한창 진행중임을 알 수 있었다. pH는 전반적으로 산형성기를 거쳐(낮은pH) 중성에서 알칼

리쪽, 다시 중성으로 진행됨으로 안정화 상태를 파악할 수 있었다. 일반세균(APC)은 온도와 밀접한 관계가 있는바 외부침출수에서 더 많이 확인되었는데 이 역시 매립지의 안정화 과정에 따라 일반세균수도 변화됨을 알 수 있었다.

결론

단순형 매립지 침출수의 처리나 적지 이용 등을 위한 기초자료를 제공하기 위해 난지도 폐기물 매립지에 대해 '78년부터 '93년까지의 매립기간을 포함하여 매립완료 후 3년이 경과된 '96년도까지의 침출수 발생량을 폐기물특성 및 제반조건을 고려한 새로운 물수지방법으로 침출수 발생량을 계산하고 '94년부터 '97년까지 침출수의 거동 등을 파악하여 수질특성을 조사, 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 침출수의 발생량에 대해 폐기물이 수분을 보유할 수 있는 양을 고려해서 추정하는 방법을 고안했다. 그 방법에 의해 계산한 10년간의 침출수의 발생량은 Stegmann의 복토 불량 조건에서의 침출수 평균 발생량의 계산방법과 거의 같은 값으로 최대 14,038m³/일, 평균 5,094m³/일이며, HELP모델에서의 계산치인 최대 14,849m³/일, 평균2,350m³/일 보다는 높은 발생량을 나타내었다.

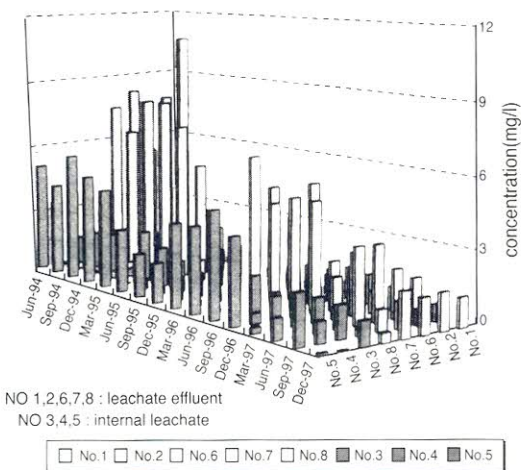


Fig. 6. Change of Fe in Nanajido landfill

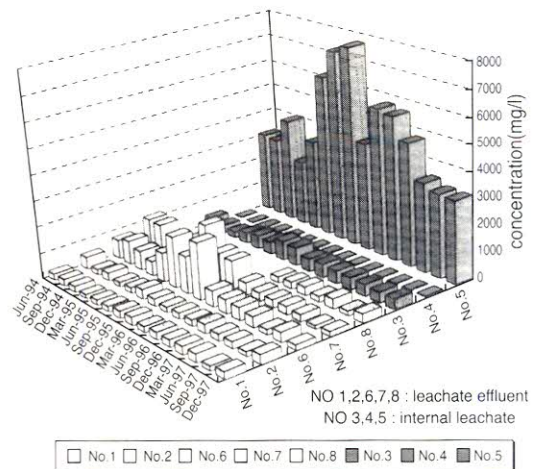


Fig. 7. Change of TOC in Nanajido leachate

2. 난지도 폐기물매립지에서는 타워생매립에 비해 유기물의 분해 속도가 늦고 COD, BOD, SS등의 농도는 '96년부터 급격히 낮아지기 시작하였다.
3. 중금속은 내부침출수보다 외부침출수가, 여과하지 않은 것 보다 여과한 것이 전반적으로 낮았는데 이는 SS에 기인한다고 생각되며 '97년도에 가장 높은 농도를 보였던 Fe는 급격히 낮아졌으며 그 외의 중금속류는 검출한계 이하였다.
4. Cl 농도는 80mm이하의 적은 강우에 의해서는 침출수에 영향을 주지 않지만 260mm이상의 강우시에는 내부, 외부침출수 농도가 크게 저하하는 경향을 나타냈다.
5. pH는 전반적으로 안정화상태인 중성을 보이며 평균온도는 '97년도 현재 내부가 39.6℃, 외부가 22.8℃로서 점차 낮아지고 있다. 이에 따라 일반세균수도 감소하는 경향을 나타내고 있다.
6. 난지도 매립지의 황산염환원균은 측정지점 및 시기에 따라 다르며, 50℃보다 30℃에서 잘 생육하여 대부분이 중온성균으로 판단되며 최고 9.180MPN/ml로 광범위하게 분포되어 있다.

참 고 문 헌

- 1) 환경부 : 전국 폐기물발생 및 처리현황('96). 1997
- 2) 서울특별시 : 난지도 매립지 안정화공사 기본설계 보고서. 11, 1994
- 3) 신항식 : 매립지 안정화 및 토지 재이용. (사)아태 환경 NGO 한국본부, 환경정책심포지움, 19-140, 1995
- 4) 환경부 : 수도권 매립지 침출수 처리대책에 대한 공청회. 11-24, 1995
- 5) 김수생 : 폐기물 매립지의 침출수 오염관리방안. 한국환경과학협의회, 1989
- 6) 김수생외1인 : 도시폐기물매립지의환경오염조사분석. 대한환경공학회 제5권, 제2호, 65-78, 1983
- 7) G. Tchobanoglons, H. Theisen, S. Vigil : Integrated solid waste management. McGraw-Hill Inc, 381-540, 1993
- 8) 황규대 : 도시폐기물매립지의침출수관리, 한국폐기물학회지. 10, 443-462, 1993
- 9) 서울시 : 난지도 매립지 안정화공사 지반 및 수리 조사 보고서. 1996
- 10) Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 17th edition
- 11) 동화기술 : 한국수질, 폐기물, 토양오염공정시험법. 1996
- 12) Lu, J. C. S., Eichenberger, B. and Stearns, R. J., Leachate from Municipal Landfills, Production and Management. Noyes Publ., Park Ridge, New Jersey, 1985
- 13) Peyton, L., and P. R Shroeder., Field Verification of HELP Model for Landfills. ASCE, 114, EE-2, 247, 1988
- 14) 한국폐기물학회 : 폐기물 처리기술과 재이용. 동화기술, 103-149, 1995.
- 15) 한국기상청 : 기상년보, '94-'96
- 16) H. J. Ehring : Menge und Vertelung von sickerwasser auo Muelldeqon- ien. Muell und Abfall, 3, 1980
- 17) 이길철, 송준상, 전성환, 최동근, 이민도, 김규연, 조환희, 김선일, 김광덕 : 고품폐기물 매립지의 침출수에 관한 연구. 국립환경연구원보, 13, 345-351, 1991.
- 18) 엄원탁 : 내륙 매립지처분지의 침출수 대책. '88 환경방지기술에 관한 세미나, 161-220, 1988.
- 19) 송준상, 이길철, 이유영, 전성환, 최동근, 이민도, 최준규, 김규연 : 도시고형폐기물의 매립법 및 안정화에 관한 연구(Ⅲ). 국립환경연구원보, 317-386, 1993
- 20) M. D. LaGraga : Hazardous waste management. McGraw-HillInc, 133-223, 1994.
- 21) E. S. Chainand F. B. Dewalle : Sanitary landfill leachate and their treatment. J. Eng. Div., A. S. C. E., 103(EE2), 411-431, 1976
- 22) T. J. Booker and R. K. Ham : Stabilization of solid waste in landfills. J. Env. Eng. Div., A. S. C. E., 108(EE6), 1089-1100, 1982
- 23) E. S. K. Chianand F. B. Dewalle, Sanitary Landfill Leachates and Their Treatment. J of Environ. Eng. Division. ASCE, Vol. 102, April, 1976.

- 24) 福永勳, 高見澤一裕, 山本攻, 井上善介 : 廢棄物埋立處分場の浸出水における 重金類の舉動, 水處理技術, 34-37, 12, 1993
- 25) 이승무 : 매립지가스추출이용기술개발에 관한 연구 (I), 한국과학재단, 1990.
- 26) K. Takamizawa, H. Shamoto, H. Horitsu, K. Kawai, T. Suzuki, T. Mori, I. Fukunaga, and H. Iida : Distribution of Sulfate reducing Bacteria at a Sea-based Solid Waste Disposal Site and Their Role on In solubilization of Heavy Metal Ions in Leachate. 廢棄物學會論文誌, Vol5, NO3, 89-97, 1994
- 27) 丁權, 申載英, 鄭一鉉, 高見澤一裕, 俞榮植 : 廢棄物埋立地 浸出水에서黃酸鹽還元菌의分布와重金屬不溶化役割. 한국환경위생학지, Vol. 23, No. 3, pp27-39, 1997
- 28) 寺島泰 : 都市廢棄物埋立地における汚染物舉動, 廢棄物學會誌7, 2, 148-167, 1996
- 29) 本多淳裕, 山田浩一 : 海面埋立地における汚水の排出とその處理, 用水と廢水, 20, 11, 1978