

## 단순 매립지 폐기물 침출수의 장기적 특성: 난지도 매립지 중심의 사례연구

최용석<sup>†</sup> · 김홍제 · 최금숙 · 김진아 · 윤종섭 · 엄석원 · 김민영 · 안승구\*  
서울시보건환경연구원 수질부 폐기물공학팀, \*서울시립대학교 환경공학과

### Long-term Characterization of Landfill Leachate: A Case Study in a Resting Nanzi Landfill

Yong-suk Choi<sup>†</sup>, Hong-je Kim, Kum-sook Choi, Jin-a Kim, Jung-seop Yoon,  
Seok-won Eom, Min-young Kim, and Seoung-gu Ahn\*

*Environmental Research & Development team, Seoul Metropolitan Government Public Health &  
Environment Research Institute, Seoul 137-130, Korea*

*\*Dept. of Environmental Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea*

*Received June 2009, accepted June 2009*

This paper presents findings from long-term monitoring studies performed at full-scale municipal solid waste landfill, Nanzi-do. Nanzi landfill had 31 storage monitoring wells and 30 outside wells. The concentration of major pollutants which include pH, SS, amoniacal-nitrate, BOD, COD, heavy metals and so forth were determined in leachate obtained from storage wells and outside wells from 2003 to 2008. Selected important relationships between these parameters were defined and statistical evaluation of the results has been performed. Almost parameters examined leachates which were collected in storage wells showed higher values than those in outside wells. The mean COD values ranged 101.7~275.2 mg/L and the mean value of BOD/COD ratio was approx. 1.5.

**Key words :** landfill, leachate, parameters, storage well, outside well

## 1. 서 론

과거 서울의 비정상적인 인구증가와 산업화로 인해 폐기물 발생량이 크게 늘었다. 비위생 단순 매립지인 난지도는 1977년 제방이 만들어진 후 1978년부터 1993년까지 약 15년간 서울의 생활쓰레기 전량과 건설 폐자재, 하수슬러지와 같은 산업폐기물이 매립되었다. 폐쇄가 결정된 후 매립지로부터의 침출수, 악취 및 대기오염물질과 같은 유해물질의 배출을 억제하기 위한 안정화 공사가 진행되었다. 이에 대한 대책으로 1996년부터 2000년 까지 메탄 등의 발생가스를 처리하기 위해 가스 추출공(抽出孔)과 소각시설을 설치하고, 한강

및 주변으로 침출수가 유출되는 것을 막기 위해 난지도 주변에 차수벽을 설치하였고, 난지도의 지하 수두를 차수벽 외부보다 낮게 유지토록 하여 침출수의 외부 유출을 억제하였다. 또한 침출수 집정소 및 침출수 처리장을 설치하여 발생된 침출수에 대한 사후관리를 도모하려 하였다<sup>1,2)</sup>.

이렇게 매립이 종료된 지 약 15년이 지난 현재 매립지의 안정화가 많은 부분 이루어진 것으로 알려져 있고, 차수벽과 침출수 집정소가 설치되어 침출수로 인한 오염문제가 다소 해결된 것으로 여겨지고 있다. 그러나 난지도는 비위생 매립방식이 적용된 대규모의 매립시설물이라는 점 때문에 여러 가지 잠재적 문제 발생 요

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

Tel: +82-(0)2-570-3384, Fax: +82-(0)2-570-3475, E-mail: hozer87@seoul.go.kr

인은 여전히 내재하고 있다. 차수벽 등 안정화 공사 이후 상당한 시간이 지난 현시점에서 매립지로부터의 침출수에 대한 장기적인 특성 변화와 안정화에 대한 평가와 차수벽 설치의 효과에 대한 평가가 필요하다.

본 연구에서는 폐기물 매립시설인 난지도 지역의 차수벽 내·외에 설치된 집수정과 외측공에서의 침출수를 수거해 수소이온농도(pH), 현탁고형물질(SS: suspended solid), 생물학적산소요구량(BOD<sub>5</sub>: biochemical oxygen demand. 이하 BOD), 화학적산소요구량(COD<sub>cr</sub>: chemical oxygen demand. 이하 COD), 총인(T-P: total phosphate), 색도(color) 및 중금속, 기타 무기·유기오염물질을 분석하여, 난지도 전역에서 발생하는 침출수의 장기적인 특성변화를 확인하였고, 안정화 상태를 평가하였으며, 차수벽 내·외를 비교하여, 차수벽에 대한 효율을 간접적으로 평가하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 시료채취 장소 및 대상

연구대상 지역인 난지도매립지는 서울시 마포구 성산동과 상암동 일대에 총 부지 면적 2.72 km<sup>2</sup>로 제1매립지와 제2매립지로 나뉘어져 있으며 매립높이는 해발 94~98 m의 규모에 이른다. 매립량은 8.5톤 트럭 1300만 여대에 달하고, 생활쓰레기에서부터 건설폐자재, 하수슬러지, 산업폐기물 등 다양한 종류의 폐기물이 매립되어 있다<sup>1)</sup>. 매립방법은 비위생 단순매립을 적용해, 각종 오염물질이 침출수와 함께 주변 지하수에 큰 오염원이 되었다. 이러한 이유로 서울시는 침출수 유출로

인한 환경오염을 방지하기 위해 차수벽을 매립지 둘레에 설치하였다. 차수벽 내측에는 200 m 간격으로 31개소에 심도 15~25 m, 직경 3.5 m의 집수정이 우물통 공법으로 시공되어 있다<sup>1,2)</sup>. Fig. 1은 난지도 제 1, 2매립지의 집수정, 내측공, 외측공, 차수벽의 위치 등을 나타내고 있다. 분석대상 침출수 시료는 집수정 31지점과 차수벽 외측에 위치한 외측공 30지점에서 2003년부터 2008년까지 6년간 매 분기 수거하여, 분석대상 시료로 하였다.

### 2.2 분석

플라스틱통에 수거해 실험실로 운반된 침출수 시료에서 pH, BOD 등은 바로 분석을 실시했으며, 그 밖의 항목은 1주일 이내에 분석을 완료하였다. 집수정, 외측공 등 각각 채취한 시료는 pH, BOD, COD, SS, 색도, 무기성질소, 총인, PCBs, 유기인, TCE, PCE 및 중금속 등을 분석했으며, 시험방법으로는 수질오염공정시험방법 및 APHA의 Standard Methods에 준하여 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 침출수 분포특성

2003년부터 2008년에 걸친 기간 동안 난지도 제 1매립지와 난지도 제 2매립지를 둘러싸고 있는 집수정(storage wells; #1~#31)과 차수벽 외측에 있는 외측공(outside wells; #1~#30)(Fig. 1)에서의 분석 결과를 Table 1에 요약하였다.

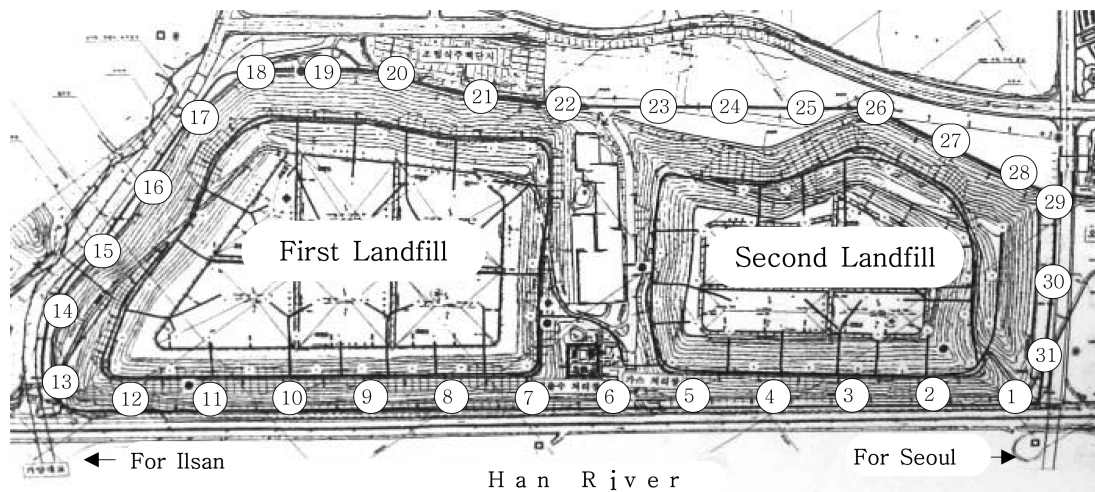


Fig. 1. Sampling sites of leachate in Nanzi landfill.

**Table 1.** Average, range, median and standard deviation of physico-chemical pollution parameters for leachate samples

Parameter <sup>a</sup>		pH	SS	BOD	COD	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N +NO <sub>3</sub> -N	T-P	color
Storage well <sup>b</sup>	mean	7.4	56.1	30.2	275.2	218.7	8.4	1.2	199.1
	1st landfill range	6.5~8.3	0.9~4758	1~312	17~870.4	0.1~1238	0~114.3	0~5.04	15.2~1465
	median	7.4	28.9	22.8	265	370	2.95	0.89	148
	S.D. <sup>d</sup>	0.23	116.7	29.38	84.96	750.1	11.41	0.66	134.7
	mean	7.4	113.2	19.1	101.7	103.3	4.7	0.4	51.8
	2nd landfill range	6.9~8.0	3.4~10965	0.5~258	5~1260	0~614	0~44.9	0~2.48	3.4~359.5
	median	7.4	24.8	9.5	89.1	113.6	1.4	0.27	40.5
	S.D.	0.17	357.5	27.04	67.86	456.7	6.01	0.36	33.67
Outside well <sup>c</sup>	mean	7.4	292.2	34.9	121.0	95.1	12.1	3.3	69.2
	1st landfill range	6.5~8.0	5.4~2960	0.2~288	5~800	0~740	0~212.5	0.11~69.6	2.2~547
	median	7.5	143.6	20.4	84.5	50	2.8	1.43	44
	S.D.	0.20	305.1	34.87	76.85	72.60	15.49	3.44	49.14
	mean	7.4	369.7	34.5	131.6	197.5	4.0	2.1	62.7
	2nd landfill range	6.5~8.0	3.8~3248	0.2~610	3.9~746.7	0.1~1260	0~65.3	0~41.52	1.8~888.2
	median	7.4	187.5	16.7	120.0	124.9	0.7	0.7	51.7
	S.D.	0.19	311.9	31.67	60.57	82.69	6.42	1.98	54.80

<sup>a</sup>All concentration are given in mg/L except pH-value and color(units PtCo).

<sup>b</sup>storage well - 1st landfill no. #6~#23, 2nd landfill no. #1~#5, #24~#31

<sup>c</sup>outside well - 1st landfill no. #7~#23, 2nd landfill no. #1~#6, #24~#30

<sup>d</sup>S.D.: standard deviation

Table 1에서 제시된 침수정에서의 침출 수질을 보면, pH 결과는 평균 7.4(6.5~8.3)으로 1매립지와 2매립지에서 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. SS는 분석항목 중에서 가장 편차가 심한 항목으로 나타났다. 제 1매립지에서 평균 56.2(median: 28.9, 0.9~4758) mg/L, 제 2매립지 평균 113.2(median: 24.8, 3.4~10965) mg/L로 제 2매립지에서의 평균값이 높게 나타났으나, 중앙값은 제 1매립지에서 다소 높게 나타났다. BOD는 제 1매립지에서 평균 30.2(median: 22.8, 1~312) mg/L, 제 2매립지는 평균 19.1(median: 9.5, 0.5~258) mg/L로 평균값과 중앙값 모두 제 1매립지에서 높게 나타나는 것을 알 수 있다. COD 또한 각각 275.2(median: 265, 17~870.4) mg/L, 101.7(median: 89.1, 5~1260) mg/L로 제 1매립지에서 높게 나타났다. 제 1매립지에서 NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N, T-P, 색도 각각 218.7(median: 370, 0.1~1238) mg/L, 8.4(median: 2.95, 0~114.3) mg/L, 1.2(median: 0.89, 0~5.4) mg/L, 199.1(median: 148, 15.2~1465) units PtCo로 제 2매립지 103.3(median: 113.6, 0~614) mg/L, 4.7(median: 1.4, 0~44.9) mg/L, 0.4(median: 0.27, 0~2.48) mg/L, 51.8(median: 40.5, 3.4~359.5) units PtCo보다 2배 이상 높은 농도를 나타냈다.

외측공에서의 pH는 침수정에서의 pH와 유의적인 차이가 없었다. SS농도는 제 1, 2매립지에서 각각 292.2(median: 143.6, 5.4~2960) mg/L, 369.7(median: 187.5, 3.8~3248) mg/L로 침수정에서의 SS보다 3~4배 높게 나타났는데, 이는 많은 강우시 매립지 상부 및 사면부로부터 외측공에 SS 물질의 급격한 유입이 원인인 것으로 판단된다. BOD는 34.9(median: 20.4, 0.2~288) mg/L, 34.5(median: 16.7, 0.2~610) mg/L로 1, 2매립지가 유사한 수준으로 나타났고, 침수정에서보다 다소 높은 농도를 나타냈다. 반면 COD은 1, 2 매립지 각각 121.0(median: 84.5, 5~800), 131.6(median: 120, 3.9~746.7) mg/L로 1매립지에선 침수정의 1/2 수준이었고, 2매립지에선 침수정보다 다소 높게 나타났다. NH<sub>3</sub>-N 또한 95.1(median: 50, 0~140) mg/L, 197.5(median: 124.9, 0.1~1260) mg/L로 1매립지에선 침수정보다 낮았으며, 2매립지는 그 반대 현상이 나타났다. NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N, T-P, 색도는 1매립지에서 각각 12.1(median: 2.8, 0~212.5) mg/L, 3.3(median: 1.43, 0.11~69.6) mg/L, 69.2(median: 44, 2.2~547) units PtCo로 2매립지 각각의 농도 4.0(median: 0.7, 0~65.3) mg/L, 2.1(median: 0.7, 0~41.52) mg/L, 62.7(median: 51.7, 1.8~888.2) units PtCo 보다 높게 나타났으며, 침수정

에 비해 다소 높은 값을 나타냈다.

Table 1에 나타난 항목외에 집수정에서의 PCBs, 유기인, 시안, TCE, PCE와 중금속, Cd, Cu, Pb, Hg, Cr<sup>+6</sup>, As 등도 검출한계 이하로 나타났다. 중금속 중 T-Cr, Fe, Mn은 각각 N.D(not detect)~0.16 mg/L, N.D.~8.79 mg/L, N.D.~5.511 mg/L로 나타났다. 외측공에서도 T-Cr, Fe, Mn은 각각 N.D(not detect)~0.071 mg/L, N.D.~10.087 mg/L, N.D.~22.32 mg/L로 나타났다.

침출수에서 분석항목의 오염농도는 시료를 채취하기 전의 강수량, 위치, 계절 별로 큰 차이를 나타낸다<sup>3)</sup>. 위의 결과를 전반적으로 종합해 보면 측정공에 따라 혹은 시기에 따라 오염농도는 매우 큰 편차를 보이고 있다. 그러나 SS와 BOD를 제외한 대부분의 항목에서는 집수정의 침출수가 외측공의 침출수보다 높게 나타나는 경향을 보였다. 특히 제 1매립지의 집수정에서의 SS를 제외한 침출수 오염농도는 제 1매립지 외측공에서보다 전반적으로 높게 나타나, 차수벽 효과가 높은 것으로 보였으나, 제 2매립지의 집수정에서의 외측공에서의 침출수를 비교하면, 큰 차이가 없거나 오히려 외측공에서의 오염농도가 다소 높은 것으로 나타났다. 1매립지 집수정과 2매립지 집수정의 침출수에서 분석항목의 오염농도는 SS를 제외하고, 1매립지가 2매립지보다 높게 나타났다. 반면 제 1매립지 외측공과 제 2매립지 외측공을 각각 비교해보면 BOD, COD, T-P, 색도 등과 같은 항목은 큰 차이가 없는 것으로 나타났고, SS와 무기성질소에서 오히려 집수정과는 반대로 제 2매립지에서 높은 농도를 나타냈다. 유기물의 양을 나타내는 COD은 1매립지 집수정에서 2매립지 집수정이나, 외측공보다 높게 나타나있고, BOD는 비교적 대동

소이하게 나타나 상대적으로 제 1매립지 내에서 발생되는 침출수에는 생물학적 난분해성 유기물의 양이 다량 함유하고 있음을 알 수 있었다.

매립지의 유기물질이 미생물에 의해 분해되고, 매립연령에 따라 난분해성 물질의 비가 상대적으로 커진다. 이러한 매립지의 안정화 정도와 난분해성 유기물질의 양을 간접적으로 알 수 있는 척도로써 BOD/COD을 제시할 수 있는데<sup>5,6,8)</sup>, 난지도의 유기물 안정화 단계를 확인하기위해 전체 연구기간 동안 즉 집수정과 외측공 각각 714개, 661개 시료에 대한 BOD/COD의 비의 빈도분포를 Fig. 2에 도표화했다. 집수정과 외측공에서의 BOD/COD 비는 0.05~0.1 사이에서 최빈값을 갖는 것으로 나타났다. 또한 BOD/COD 비가 0.15 이하의 영역에서 집수정은 75% 이상의 빈도를 나타내고 있어, 10년 이상의 고령화된 매립지의 전형적인 특징을 보이며, 침출수 중의 유기물질이 주로 난분해성물질로 이뤄져 있음을 나타내고 있다. 외측공에선 0.15 이하의 영역에서 55% 이상의 값을 나타내고 있어 상대적으로 집수정 침출수 보다는 덜 안정화된 상태로 판단된다. 이는 차수벽 외측보다 차수벽 내측 매립지에서 보다 활발한 분해활동이 있었음을 간접적으로 나타내고, 또한 외측공에서 보다 집수정의 침출수에서 생물학적 난분해성 유기물질의 비율이 더 높은 것을 의미한다. Frascari 등<sup>8)</sup>이 매립중인 매립지에서 10년간 BOD/COD 비를 측정된 결과 0.50에서 0.18로 감소되는 것을 확인했고, Morris 등<sup>5)</sup>의 연구결과에 의하면 매립이 종료된지 13년이 지난 시점에서 BOD/COD 비가 0.1 이하로 안정화되는 것으로 나타났다.

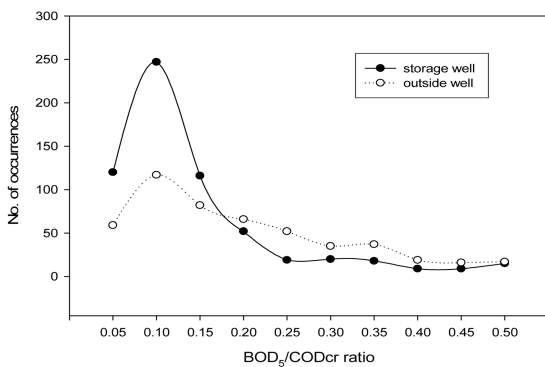


Fig. 2. A plot of frequency distribution for BOD/CO<sub>d</sub> determined in leachate.

### 3.2 기존 분석연구와의 비교

Sormnen 등<sup>6)</sup>이 연구한 매립이 완료된지 약 20년된 고형물 매립지에서 침출수에 대한 연구결과를 발표했다. 이 연구결과에서 pH는 6.9~8.7로 변동폭이 크게 나타났다. BOD, COD, 암모니아성질소 농도는 각각 53±14~1301±483 mg/L, 363±121~8037±1138 mg/L, 271±31~2099±209 mg/L로 측정공의 위치에 따라 서로 큰 차이를 나타냈으며, 농도 또한 본 연구결과보다 매우 높은 것으로 나타났다. BOD/COD ratio는 0.08±0.03~0.17±0.07로 비교적 고르게 나타났으며, 생물학적 분해가 충분히 이뤄져 안정화가 잘 진행된 상태를 나타냈다. Øygaard 등<sup>4)</sup>이 약 10여년된 위생매립지 4곳에

서의 침출수에서의 연구한 결과를 보면 pH가  $6.5 \pm 0.16 \sim 7.0 \pm 0.16$ 로 비교적 낮은 상태로, 본 연구지점에서의 pH보다 낮게 형성되어 있으며, 이는 다소 낮은 환원 환경을 나타내고, 실제로 90% 이상의 질소가 암모니아성 질소로 존재하는 것으로 나타났다. 이 연구결과에서 암모니아성 질소의 농도는  $41 \pm 6 \sim 340 \pm 57$  mg/L로 난지도에서 측정된 본 연구결과보다 다소 낮은 농도로 나타났으며, COD농도는  $140 \pm 67 \sim 3100 \pm 870$  mg/L로 매립지에 따라 큰 차이를 나타냈고, 이들 중 1곳에서 본 연구결과보다 상당히 높은 농도를 나타냈다. Tatsi 등<sup>3)</sup>은 지중해에 있는 고품폐기물 매립지에서의 침출수 양과 수질에 대한 연구결과를 발표했다. 이 연구결과에서 침출수가 일정기간 동안 모이는 침출수 연못(old)과 새로운 침출수(fresh)를 비교분석하였는데, 침출수 연못에서 평균 BOD가 1051 mg/L, COD는 5342 mg/L,  $\text{NH}_3\text{-N}$  934 mg/L, 색도 7613 units PtCo 으로 본 연구결과보다 수십배 높은 수준을 나타내고 있고, 새로운 침출수에서는 BOD, COD,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , 색도 각각 26752 mg/L, 70858 mg/L, 3102 mg/L, 10551 units PtCo로 본 연구결과보다 수백~수천배 높은 것으로 나타나, 좀 더 안정화된(old) 침출수의 오염농도가 훨씬 낮았다. Robinson 등<sup>7)</sup>이 발표한 자료에서도 MBT(mechanical biological treatment) 폐기물 매립지로부터 생성된 처리되지 않은 침출수의 COD, BOD,  $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 각각 15590 mg/L, 4240 mg/L, 4024 mg/L로 본 연구결과보다 수십~수백배 가량 높은 농도를 나타냈다.

### 3.3 침출수의 장기적 특성변화

2003년부터 2008년에 걸친 기간 동안 집수정 31개 지점과 외측공 30개 지점에서 채취한 침출수에서의 장기적인 변화를 Fig. 3에 제시하였다. 모든 항목에서 6년간, 상승하거나, 감소와 같은 어떤 뚜렷한 경향 보인 않았지만, 항목에 따라선 일정한 패턴을 나타내는 것도 있었고, 불규칙적인 변화를 나타내는 항목도 있었다. 침출수의 오염 농도는 건기와 우기에 따라 상당한 편차를 나타내는 경향이 있다(3, 6). 집수정 31개 지점과 외측공 30개 지점에서의 분기별 평균값을 도표화 했는데, 지점에 따라 혹은 침출수를 채취할 당시 혹은 전의 강수량 등에 따라 다소 많은 변동폭이 예상되었다.

pH는 측정기간 동안 매우 고른 분포를 나타냈으며, 미세하지만 외측공에서 다소 높은 것으로 나타났다. 매립지의 침출수는 안정화 될수록 pH가 다소 높아지는 경향을 보인다<sup>3)</sup>. 난지도의 pH는 연평균 7.3~7.5로 중

성을 나타냈는데, Morris<sup>5)</sup>에 의하면 매립이 종료된지 10~13년 정도된 폐기물 매립지에서 폐기물 분해의 마지막 단계인 숙성 단계가 시작되어 pH가 중성 부근에서 안정화 되었다고, 밝힌 바 본 연구결과에서 유사한 결과가 도출되었다. SS는 집수정과 외측공과의 차이가 크게 나타났다. 2003년도 3분기와 2004년도 2분기에는 집수정 평균 SS 농도는 큰 폭으로 증가해 650 mg/L까지 높게 나타났고, 이후 집수정의 SS 농도는 큰 변동폭이 없이 20~40 mg/L로 일정한 수준을 유지하고 있다. 외측공은 분기별로 일정한 농도 패턴을 보이며 200~600 mg/L로 변동폭이 다소 크게 나타났으며, 집수정의 SS 농도 보다 높은 것을 알 수 있었다. 이는 앞에서 언급한 강수량의 증가가 있는 우기시 SS유발물질이 외측공으로 유입되었다는 가능성을 뒷받침하는 것이고, 상대적으로 집수정은 강우로 인한 SS의 영향이 적은 것으로 판단할 수 있다. BOD는 외측공에서의 분기별 평균값은 14~60 mg/L로 증가와 감소를 반복하는 패턴을 보이며, 집수정과 2006년 1분기까지 비슷한 양상을 나타냈다. 그 이후 기간에서 집수정에서의 BOD 농도의 분기별 평균값은 7~20 mg/L로 외측공에서 보다 낮게 유지되며, 안정화되는 양상을 보이고 있다. 이에 반해 COD농도는 집수정과 외측공에서 일정한 변동폭을 나타냈다. 집수정에서 분기 평균 COD 농도는 160~280 mg/L로 나타났으며, 외측공에서의 COD 농도는 85~170 mg/L로 집수정의 COD 농도보다 낮게 유지되는 것으로 나타났다.  $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 농도는 COD와 유사한 패턴을 나타냈으며, 집수정이 일정한 유격을 두고 외측공 보다 더 높은 농도로 유지되는 것을 알 수 있었다. 집수정에서의 암모니아성 질소 농도는 평균 167~413 mg/L로 나타났으며, 외측공에서의 농도는 73~179 mg/L로 나타났다. 특이할 만한 점은 암모니아성 질소의 패턴이 분기별로 유사하게 나타났는데, 해마다 3분기에 뚜렷하게 감소 현상을 보였다. 집수정에서의 T-P는 측정기간 동안 0.5~1.3 mg/L로 일정하게 나타났는데, 반면 외측공에서는 집수정에서의 T-P보다 다소 높게 유지되다가 2005년 1분기부터 농도가 높아지고, 증감 폭 또한 크게 넓어져 1.5~7.0 mg/L로 나타났다. 집수정에서의 색도는 외측공에서의 색도보다 높게 유지되었으며, 평균 집수정과 외측공 각각 61~314 mg/L, 34.2~122 mg/L로 나타났다.  $\text{NH}_3\text{-N}$ 가 세균에 의하여 산화 분해되어 생성되는 분해산물로 알려진 아질산성 질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ )와 질산성 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )의 합은 집수정에서는 0.16~16.8 mg/L 외측공에서는 1.67~16.28 mg/L

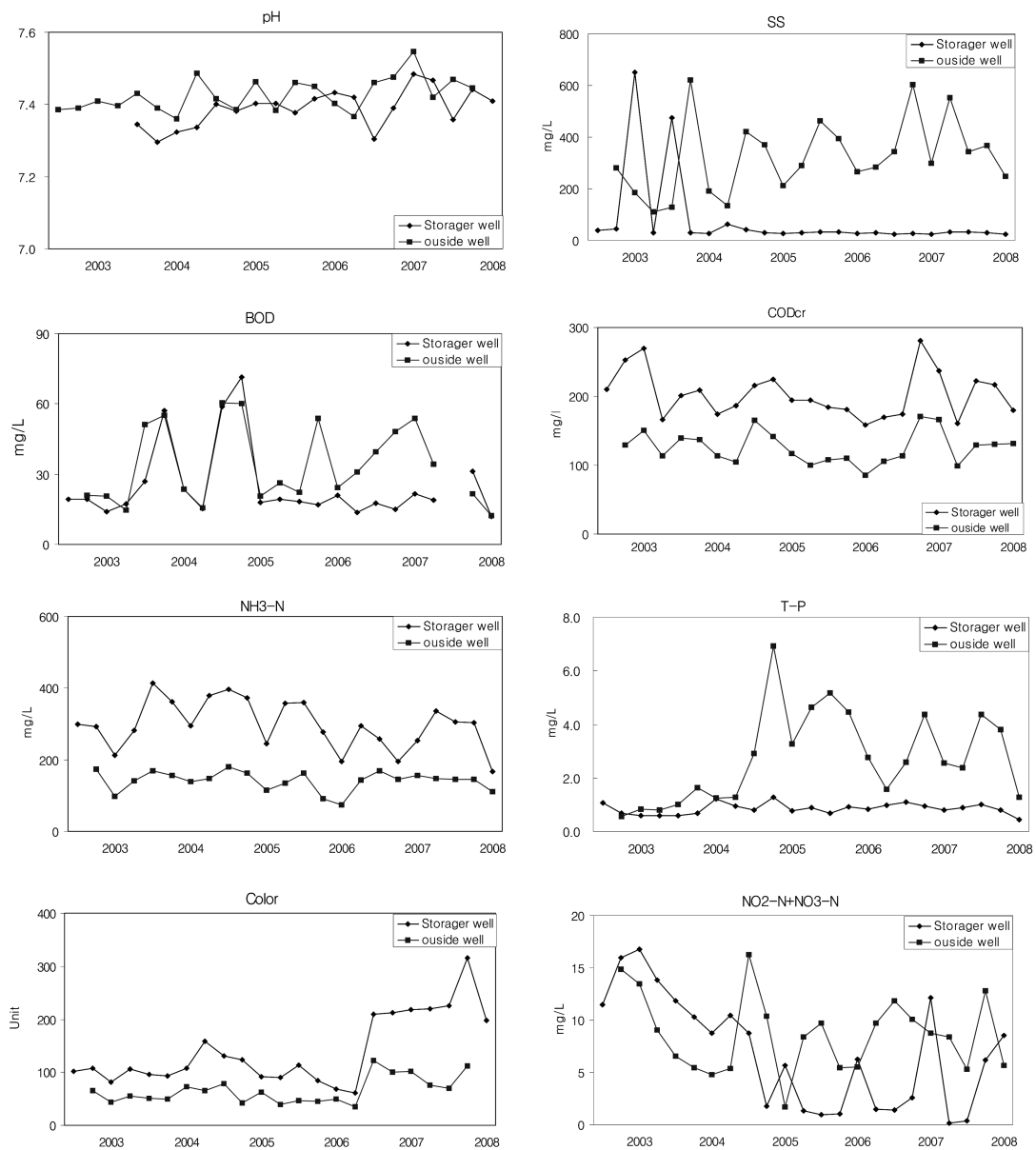


Fig. 3. Yearly variation of pH, SS, BOD, COD, NH<sub>3</sub>-N, TP, Color and NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N in leachate obtained from storage wells and outside wells located at Nanzi landfill in Seoul.

L로 매우 편차가 크게 나타났으며, 무기성질소에서 이들이 차지하는 비중은 0.05~7%로 낮게 나타났다. 차수벽에 대한 효과가 나타나는 항목은 COD, NH<sub>3</sub>-N, 색도에서 확연하게 나타났는데, 특히 차수벽이 COD 유발물질 특히 난분해성 유기물질을 효과적으로 차단하는 것으로 추측할 수 있다. 그외 SS, BOD, T-P, NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub> 항목은 매립지내의 침출수에 대한 영향 외에 다른 요인에 대한 영향을 크게 받는 것으로 추측된다.

### 3.4 주요항목 간 상관분석

집수정과 외측공에서 주요항목간의 상관분석 결과를 각각 Table 2와 3에 제시하였다. Table 2는 집수정에서의 상관분석 결과인데, 유의수준 0.01에서 연도별 상관성을 나타낸 pH, SS, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N, 는 음의 값을 나타냈고, 색도는 양의 상관성을 보였다. 분기별로는 BOD가 음의 상관성을 나타냈다. 또한 pH가 증가할수록 NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N가 증가하는 것으로 나타났

고, SS와 COD가 양의 상관관계에 유효성이 있는 것으로 나타났다. BOD는 COD, NH<sub>3</sub>-N, T-P, 색도와 상관성을 나타냈고, COD는 NH<sub>3</sub>-N, T-P, 색도와 상관성이 다른 항목들간에서 보다 높은 것으로 확인되었다. NH<sub>3</sub>-N는 T-P, 색도와 비교적 높은 상관성을 나타냈고, NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N는 색도와 음의 상관성이, 또 T-P는 색도와 양의 상관성이 있는 것으로 나타났다.

Table 3은 차수벽 외측의 외측공에서 주요 항목 간 상관 분석한 결과이다. 유의수준 0.01이하에서 살펴보면, 연도별로 pH, SS, T-P, 색도가 양의 상관성이 있는 것으로 나타났고, 분기별로는 SS와 BOD가 음의 상

관성을 나타내었다. pH는 SS와 BOD와 양의 상관성을, SS가 증가할수록 COD, NH<sub>3</sub>-N, T-P가 증가하는 것으로 나타났다. BOD는 COD, NH<sub>3</sub>-N, T-P, 색도와 양의 상관성을 보였으며, 집수정에서와 마찬가지로 COD은 NH<sub>3</sub>-N, 색도와 상관성이 다른 항목들간의 상관성보다 더 높은 값을 나타내는 것으로 확인되었다. 특히 색도와 COD의 상관성은 침출수 중 유기물이 안정화되면서 난분해성유기물인 부식질의 증가를 유발하기 때문에 다른 항목들보다 높은 상관성을 나타낸 것으로 판단된다. NH<sub>3</sub>-N는 T-P, 색도와 양의 상관성을 나타냈고, T-P와 색도는 비교적 높은 양의 상관성을 나타냈다.

**Table 2.** Pearson's statistical analysis of leachate samples obtained from storage wells; linear correlation observes between the main examined parameters

	year	quarter	well No.	pH	SS	BOD	COD	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N+ NO <sub>3</sub> -N	T-P	color
year	1										
quarter	-0.093*	1									
well No.	0.000	0.000	1								
pH	-0.132**	0.019	-0.019	1							
SS	-0.106**	-0.021	-0.096*	-0.018	1						
BOD	-0.067	-0.174**	-0.046	-0.039	-0.014	1					
COD	-0.030	-0.065	-0.345**	0.057	0.208**	0.215**	1				
NH <sub>3</sub> -N	-0.085**	-0.055	-0.491**	0.006	-0.025	0.249**	<b>0.708**</b>	1			
NO <sub>2</sub> -N +NO <sub>3</sub> -N	-0.324**	0.034	-0.028	0.115**	0.027	0.055	0.055	0.042	1		
T-P	0.008	-0.029	-0.128**	0.025	-0.046	0.276**	<b>0.512**</b>	0.509**	-0.065	1	
color	0.262**	-0.059	-0.233**	0.003	-0.023	0.079*	<b>0.618**</b>	0.491**	-0.088**	0.463**	1

\*\*Correlation is significant at the 0.01 level

\*Correlation is significant at the 0.05 level

**Table 3.** Pearson's statistical analysis of leachate samples obtained from outside wells; linear correlation observes between the main examined parameters

	year	quarter	well No.	pH	SS	BOD	COD	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N +NO <sub>3</sub> -N	T-P	color
year	1										
quarter	-0.196**	1									
well No.	0.000	0.000	1								
pH	0.104**	0.031	0.017	1							
SS	0.123**	-0.105**	-0.157**	0.112**	1						
BOD	0.030	-0.164**	0.107**	0.114**	0.040	1					
COD	0.005	-0.088*	-0.189**	0.062	0.176**	0.383**	1				
NH <sub>3</sub> -N	-0.028	-0.059	-0.220**	0.040	0.102**	0.318**	<b>0.641**</b>	1			
NO <sub>2</sub> -N +NO <sub>3</sub> -N	-0.016	-0.048	-0.111**	0.006	0.009	0.043	0.028	-0.014	1		
T-P	0.134**	-0.091*	0.234**	0.001	0.119**	0.244**	0.210**	0.193**	-0.069	1	
color	0.179**	-0.086*	-0.240**	0.004	-0.011	0.150**	<b>0.540**</b>	0.402**	0.101*	0.053	1

\*\*Correlation is significant at the 0.01 level

\*Correlation is significant at the 0.05 level

#### 4. 결 론

난지도 폐기물 제 1, 2매립지의 집수정과 외측공에서의 침출수를 수거해 pH, SS, BOD, COD 및 기타 무기·유기오염물질을 분석하여, 연구기간동안의 특성변화를 확인하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. SS를 제외한 대부분의 항목에서는 집수정의 침출수가 외측공의 침출수보다 높게 나타나는 경향을 보였다. 특히 제 1매립지의 집수정에서의 대부분의 항목에서 외측공에서보다 높게 나타나, 차수벽 효과가 높은 것으로 보였으나, 제 2매립지에서는 큰 차이가 없거나, 오히려 외측공에서의 오염농도가 다소 높은 것으로 나타났다. 제 1, 2 매립지 기준에서 집수정의 결과를 보면, 1 매립지가 2매립지보다 높게 나타났다. 반면 외측공에선 제 1 매립지 제 2매립지 사이에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. SS는 위의 결과와는 다소 차이를 나타냈는데, 우기 시 외부로부터의 급격한 SS 물질의 유입이 원인인 것으로 판단된다.

2. 집수정과 외측공에서의 BOD/COD 비는 0.05~0.1 사이에서 최빈값을 갖는 것으로 나타났다. 또한 BOD/COD 비가 0.15 이하의 영역에서 집수정은 75% 이상의 빈도를 나타내고 있어, 10년 이상의 고령화된 매립지의 전형적인 특징을 보였으며, 침출수 중의 유기물질이 주로 난분해성물질로 이뤄져 있음을 나타내고 있다.

3. 외측공과 집수정 별로 나눠 연도별 분석항목의 특성 변화를 확인하였다. 대부분의 항목에서 연구기간 동안, 상승하거나, 감소와 같은 어떤 뚜렷한 경향 보이지 않았지만, 항목에 따라선 일정한 패턴을 나타내는 항목이 있었다. 차수벽에 대한 효과가 나타나는 항목은 COD, NH<sub>3</sub>-N, 색도에서 확연하게 나타났는데, 특히 차수벽이 COD 유발물질 특히 난분해성 유기물질을 효과적으로 차단하는 것으로 나타났다.

4. 집수정과 외측공에서의 항목들간의 유의수준 0.01 혹은 0.05에서 상관성을 확인한 결과 서로 양의 상관성이 나타나는 항목이 있었고, 기타 항목에서는 유의적인 상관성이 없는 것으로 나타났다. COD는 NH<sub>3</sub>-N, 색도와의 상관성이 다른 항목들간의 상관성보다 더 높은 값을 나타내는 것으로 확인되었다. 특히 색도와 COD의 상관성은 침출수 중 유기물이 안정화되면서 난분해성

유기물인 부식질의 증가를 유발하기 때문에 다른 항목들보다 높은 상관성을 나타낸 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 서울특별시 : 난지도 매립지 안정화 공사 실시설계보고서, 1996
2. 이재승, 서미연, 김현국, 이승주, 김광진, 신정식 : 침출수 성분에 따른 난지도 매립지의 안정화 평가. *대한위생학회지*, 2004, 19(3), 13-21,
3. A. A. Tastsis, A. I. Zouboulis, , "A field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal solid waste landfill in a Mediterranean climate(Thessaloniki, Greece)", *Advances in Environmental Reasearch*, 2002, 6, 207-219
4. J. K. Øygaard, A. Mge, E. Gjengedal, "Estimation of the mass-balance of selected metals in four sanitary landfills in Western Norway, with emphasis on the heavy metal content of the deposited waste and the leachate", *Water Research*, 2004, 38, 2851-2858
5. J. W. F .Morris, N. C. Vasuki, J. A. Baker, C. H. Pendleton, "Findings from long-term monitoring studies at MSW landfill facilities with leachate recirculation" *Waste Management*, 2003, 23, 653-666
6. K. Sormunen, M. Ettala, J. Rintala, , "Internal leachate quality in a municipal solid waste landfill: Vertical, horizontal and temporal variation and impacts of leachate recirculation", *Journal of Hazardous Materials*, 2008, 160, 601-607
7. H. D. Robinson, K. Knox, B. D. Bone, A. Picken, "Leachate quality from landfilled MBT waste", *Waste Management*, 2005, 25, 383-391
8. D. Frascari, F. Bronzini, G. Giordano, G. Tedioli, M. Nocentini, "Long-term characterization, lagoon treatment and migration potential of landfill leachate: a case study in an active Italian landfill", *Chemosphere*, 2004, 54, 335-343
9. B. Ozkay, A. Demir, M. Sinan Bilgili, 2006, "Mathematical simulation and long-term monitoring of leachate components from two different landfill cells", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. A135, pp.32-39
10. R .Khoury, M. El-Fadel, S. Sadek,, G. Ayoub, "Temporal variation fo leachate quality in seawater saturated fills" *Advances in Environmental Reasearch*, 2000, 4, 313-323