

매립지 침출수가 도시하수처리에 미치는 영향

Effects of Landfill Leachate on the Treatment of Municipal Wastewater

장지희* · 김영관*

Ji-Hee Jang · Yeong-Kwan Kim

Abstract

A bench-scale continuous activated sludge system was operated in order to study the effects of solid waste landfill leachate on municipal wastewater treatment. The leachate sample was collected from Nanjido landfill. During the 7 weeks of operational period, the leachate content in the influent fed to the system was increased stepwise from 3% to 5% and 7%. The solids retention time was the major process control parameter, and it was 10 days. With the municipal wastewater alone, COD removal was 75%. The removal percents, however, decreased to 60% and 45% when the leachate content was 3% and 7%, respectively. For the wastewater spiked with the leachate, the sludge production was higher than for the municipal wastewater alone. Sludge settleability determined by SVI deteriorated with the increase of leachate content. The specific oxygen uptake rate, however, was measured higher as leachate content increased.

1. 서 론

최근의 급속한 도시화와 산업화 그리고 소비 수준의 향상에 따라 1인당 배출되는 생활 및 산업폐기물이 증가하면서 그 처분문제의 심각성이 점차 대두되어 가고있다. 1993년 기준으로 우리나라에서 발생하는 일반폐기물은 총 622,940톤/일로써, 그 중 약 86%가 매립 처분되고 있어 폐기물처분에서 매립 의존도가 절대량을 차지하고 있다.(1) 현재 정부당국에서는

쓰레기종량제의 실시와 재활용 그리고 소각처리 시설의 확충 등으로 매립지로 운반되는 쓰레기의 양을 줄이려고 하고 있지만 어떠한 형태로든 쓰레기는 매립지로 운반될 수 밖에 없다. 매립지가 주변 환경에 미치는 영향은 매립 방법, 폐기물성상 그리고 매립지의 지역적 특성 등에 따라 큰 차이가 있다.(2)

매립이 진행되는 동안 매립지 주변에는 작업 차량에 의한 먼지와 소음 등으로 많은 민원의 소지가 발생하며 매립지 침출수는 매립이 완료된 후에도 지속적으로 계속 발생되어 인근 수역을 오염시키기도 하고 지하수 유동층으로 유입되어 지하수의 오염과 함께 주변의 토양오염

*강원대학교 공과대학 환경공학과

을 유발시키게 된다. 또한 대부분 침출수는 많은 양의 질소와 생물학적 난분해성 유기물을 함유하고 있고 매립지에 따라 유해 중금속 및 유해 유기화합물을 함유할 수도 있으며 흑갈색 계통의 색상을 지니고 있어 시각적으로 불쾌감을 유발하는 등 매립이 완료된 후에도 주요 환경문제가 되고 있다.

이와 같이 침출수에 의한 매립지 주변 수계의 오염을 방지하기 위하여 침출수는 차집하여 처리하는 것이 바람직하며 처리방안으로는 침출수만의 단독처리 방안이나 도시하수와의 합병처리 방안이 있다. 단독처리시에는 별도의 처리장을 건설하여 운영해야 하는 재정적, 기술적 문제점 등이 있으며 합병처리시 도시하수의 처리효율 측면에서 문제점을 야기시킬 수 있으므로 합병처리에 따른 혼합폐수의 처리효율에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 완전혼합형 bench-scale 활성슬러지 시스템을 이용하여 침출수와 하수를 합병처리하는 경우와 하수만을 처리하는 경우에 있어서의 유기물 제거효율, 슬러지 침전특성, 산소소비율, 그리고 슬러지 생산량 등을 측정, 비교함으로써 합병처리시 침출수가 활성슬러지 공정에 미치는 영향을 고찰하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 침출수와 하수시료

실험에 사용된 침출수는 1993년 2월에 매립이 완료된 서울의 난지도 매립지에서 채취한 것으로 침출수는 매립지내에 이미 설치된 목재로 된 간이 침출수 수집관에서 채취하였으며, (3) 채취된 시료는 실험실로 운반하여 4°C 냉장고에서 사용할때 까지 보관하였다. 그리고 침출수와 하수의 합병처리를 위하여 사용한 하수시료는 강원도 춘천시 도시하수 처리장의 1차 침전지의 유출수를 매일 채취하여 사용하였다.

2. 활성슬러지 시스템의 운전

본 실험에서는 Fig. 1과 같은 2개의 동일한 활성슬러지 시스템을 운전하였다. 첫번째 활성

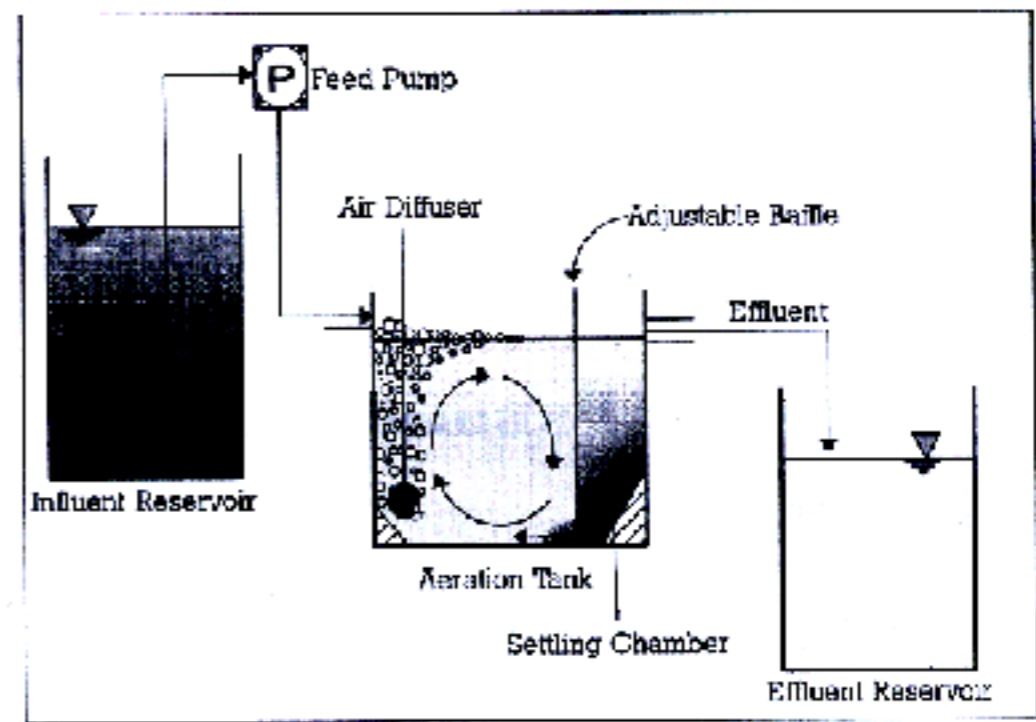


Fig. 1. Schematic diagram of bench-scale activated sludge unit.

슬러지 시스템(이하 "S1"이라 함)에서는 하수시료만을 유입수로 사용하였고, 두번째 시스템(이하 "S2"이라 함)에서는 하수와 침출수의 혼합시료를 유입수로 사용하였다. 약 7주에 걸친 실험기간동안 "S2"에 유입되는 혼합시료중 침출수가 차지하는 비율을 3%, 5%, 7%로 점진적으로 증가시키면서 실험을 수행하였다.

시료의 유입과 슬러지의 반응은 Masterflex pump를 이용하여 조절하였으며 각 폭기조에는 산기식 폭기기(diffuser)를 2개씩 사용하여 완전혼합을 통한 슬러지의 침전 방지와 함께 폭기조내의 용존산소를 4-7mg/L로 유지하였다. 폭기조의 유효용적은 8.3L이고 수리학적 체류시간은 7.8-8.0시간으로 조절하였다. 슬러지의 반응량은 "S1"과 "S2"모두 유입수량의 30%로 조절하였으며 외부반송시켰다.

"S1"과 "S2"의 운전은 초기단계에서는 하수만을 이용하여 시작되었으며 활성슬러지 시스템의 유출수의 COD와 폭기조의 MLSS 농도가 일정하게 유지되어 정상상태에 도달한 이후부터 "S2"에 유입되는 하수에 침출수를 3% 혼합하여 유입수로 사용한 반면 "S1"에는 계속 하수만을 주입하였다. 침출수의 혼합량을 3%로 유지시키면서 정상상태에서 13일 동안 운전후 혼합량을 5%로 증가시켜 정상상태에 도달한 후 14일 동안 운전하였으며 마지막 단계에서는 혼합량을 7%로 증가시켜 정상상태에서 16일 동안 운전하였다. 침출수의 혼합비율을 변화시

Table 1. Sampling location and frequency

Parameter	Sampling location			
	Influent	Effluent	Aeration tank	Samples /wk
COD sol	X	X	—	7
SS/VSS	X	X	X	7
OUR	—	—	X	7
SVI	—	—	X	7
DO	—	—	X	7
Temp.	X	—	X	7
pH	X	—	X	7

Table 2. Summary of operational condition

	S1	S2
Flow rate (L/d)	24.5	24.5
Sludge recycle ratio	0.3	0.3
Volumetric loading (kgCOD/m ³ /day)	0.45-0.70	0.55-0.80
F/M	0.44-0.63	0.44-0.65
HRT (hr)	7.8	8.0
SRT (day)	10	10
Temp.(°C)	18-30	18-30

킬 때마다 정상상태에 도달하는데 5-7일이 소요되었다.

하수시료의 용존성 COD 농도는 60-80mg/L이었으며 글루코스를 첨가시켜서 유입수의 COD 농도가 200mg/L가 유지되도록 하였다. 실험기간 동안 폭기조의 DO는 4-6.8mg/L로 유지되었고 하수에 혼합되는 침출수량이 증가할수록 pH의 감소폭이 컸는데 이것은 질산화가 일어나면서 알카리도가 소모되었기 때문으로 판단된다.

시료는 채취 시간차에 따른 오차를 최소한으로 줄이기 위하여 매일 같은 시간대에 채취하였다. 그리고 폭기조의 pH는 수시로 점검하여 pH가 6.8 이하인 경우에는 NaHCO₃를 첨가하였으며 pH가 8.5 이상인 경우에는 H₂SO₄ 용액(20% by volume)을 사용하여 실험기간 동안의 폭기조의 pH를 약 7.0으로 유지하였다. 시료의 채취지점과 빈도수는 Table 1에 제시되어 있다.

본 실험에서는 슬러지의 폐기량을 조절하여 시스템에서의 고형물 체류시간(SRT)을 10일로 유지하였으며 폐기량이 많은 경우 많은 양을 한꺼번에 폐기함으로 인해 발생할 수 있는 운전상의 문제점을 최소화시키기 위하여 아침, 저녁 두번에 걸쳐서 폐기시켰다. 또한 거의 동일 시간에 폐슬러지를 채취하여 슬러지의 농도를 측정하였다. 약 7주 동안에 걸친 운전조건은 Table 2에 요약되어 있으며 실험이 진행되는 동안 "S2"에서 침출수를 7% 혼합시에 일시

적인 슬러지의 생화현상이 몇 차례에 걸쳐 발생하였는데 적정량의 과산화수소수 또는 염소를 주입하여 소멸하였다.

3. 분석방법

침출수의 중금속 성분은 AA(Varian Spectra AA-20)를 이용하여 분석하였으며 pH는 Corningmate 90을 사용하여 측정하였다. 폭기조내의 DO 측정과 mixed liquor의 산소 소비속도는 YSI DO meter(Model 57)를 이용하였으며 DO meter의 보정은 2주마다 한번씩 Winkler Azide법으로 하였다. COD는 24시간 복합시료를 사용하여 Standard Methods(4) section 508에 준하여 측정하였고 SS 및 VSS는 Standard Methods section 508에 준하여 분석하였으며 TKN과 T-P는 각각 Standard Methods section 420A와 424F에 따라 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 침출수와 하수시료의 성상

침출수의 일반항목과 중금속에 대한 분석 결과는 Tables 3과 4에 제시되어 있다. 유기물은 대부분 용존상태로 존재하였으며 BOD₅/COD 비율은 0.1 이하로 높은 질소 농도와 함께 오래된 매립지에서 발생하는 침출수의 특성을 나타내었다. 침출수의 pH가 알카리성으로 나타난 것으로 보아 침출수에 존재하는 총질소의 대부분은 유리 암모니아나 암모니아성 질소의 형태로 존재한 것으로 판단되었고 실제로 측정된

Table 3. Characteristics of the leachate and the wastewater samples.

Parameter	Average concentration (mg/L)**	
	Leachate	Wastewater
pH*	8.0	7.0
BOD ₅	160	92
COD	1,720	170
TS	7,730	-
TSS	-	62
VS	1,520	-
VSS	-	48
TKN	1,500	24.6
NH ₃ -N	1,300	-
T-P	6.6	4.7

*pH: no unit.

**Average of 5 measurements.

결과 암모니아성 질소는 평균 1,300mg/L로 TKN의 약 86%를 차지하였다. 시료의 중금속 농도는 일반적으로 외국의 매립지(2)의 침출수에 비해 높은 편은 아니었다.

실험에 사용된 하수시료의 정상분석 결과는 Table 3에 제시되어 있다. 시료의 pH는 6.8-7.3 범위였으며 유기물 중 약 70%는 용존성이었다. BOD₅/COD는 0.43-0.50으로 도시하수와 유사하게 나타났으며 BOD₂₀/COD 비율로

Table 4. Heavy metal concentrations in the leachate sample

Constituents	Leachate (mg/L)	
	Nanjido*	Others**
Cu	0.137	0.01-2.8
Ca	43.22	-
Al	0.113	-
Cr	0.492	0.01-4.2
Fe	1.236	200-1,700
Mn	0.110	-
Pb	0.162	0.3-19
Zn	0.160	0.1-240

*Average of 5 measurements.

**Taken from Boyle and Ham (1974)

판단할 때 유기물의 80% 정도는 생물학적으로 분해가능한 것으로 나타났다. 하수시료의 부유물의 농도는 54-100mg/L로 일반하수보다 낮은 이유는 1차 침전지의 유출수를 시료로 사용하였기 때문이다. TKN과 T-P의 농도는 일반 도시 하수처리장의 12-17mg/L와 2.5-4.3mg/L보다 높게 나타났는데 이것은 시료를 채취한 춘천시 하수처리장의 경우 유입하수 농도가 설계농도에 미치지 못하는 이유로 정화조 폐액을 혼합하여 처리하고 있기 때문이다.

본 실험에서는 질소나 인과 같은 영양염류를 추가적으로 첨가하지 않았다.

2. 유기물 제거

Fig. 2와 3은 운전기간 동안의 "S1"과 "S2"에서의 유입수와 유출수의 COD 농도를 나타내고 있는데 그림에 제시된 값들은 전일의 COD와 당일의 COD 농도의 평균값이다. Fig. 2는 하수만을 시료로 사용한 "S1"에서의 COD의 변화를 나타낸 것으로 유입수의 COD 농도는 160-240mg/L였으며 유출수의 COD 농도는 30-62mg/L로 약 75%의 제거효율을 나타냈다. 그러나 침출수와 하수를 혼합하여 시스템 유입수로 사용한 "S2"의 경우, Fig. 3에서 보는 바와 같이, 침출수의 혼합율이 증가함에 따라 유출수의 COD 농도가 "S1"에 비하여 큰 폭으로 증가하여 COD 제거율은 3% 혼합시 60%에서 7% 혼합시 45%로 감소하였다. "S1"과

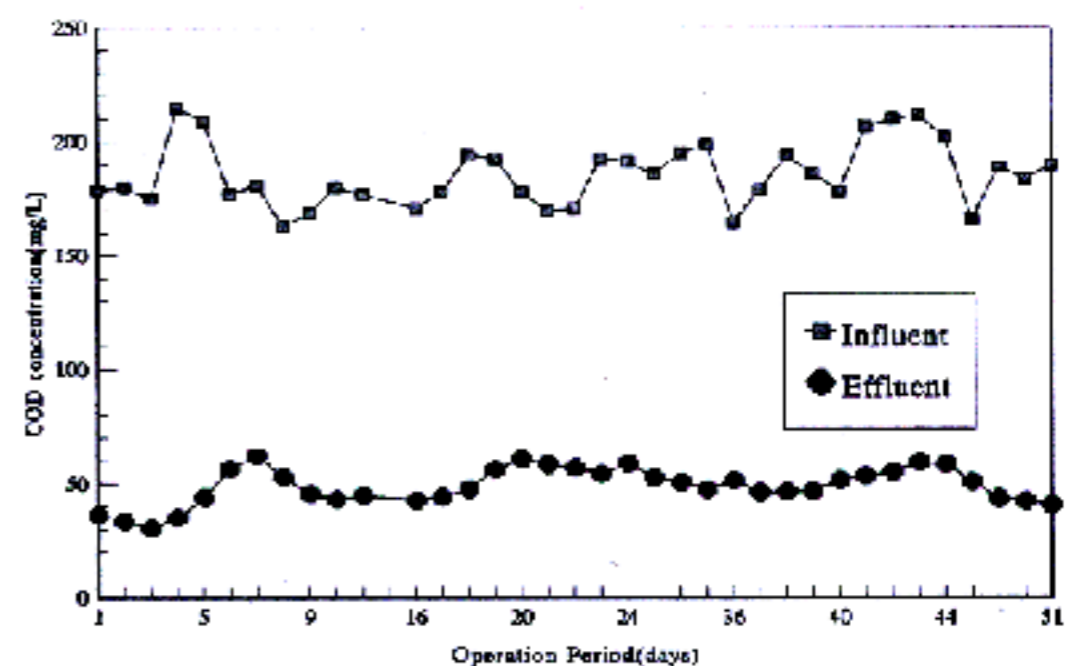


Fig. 2. Influent and Effluent COD Concentrations for S1.

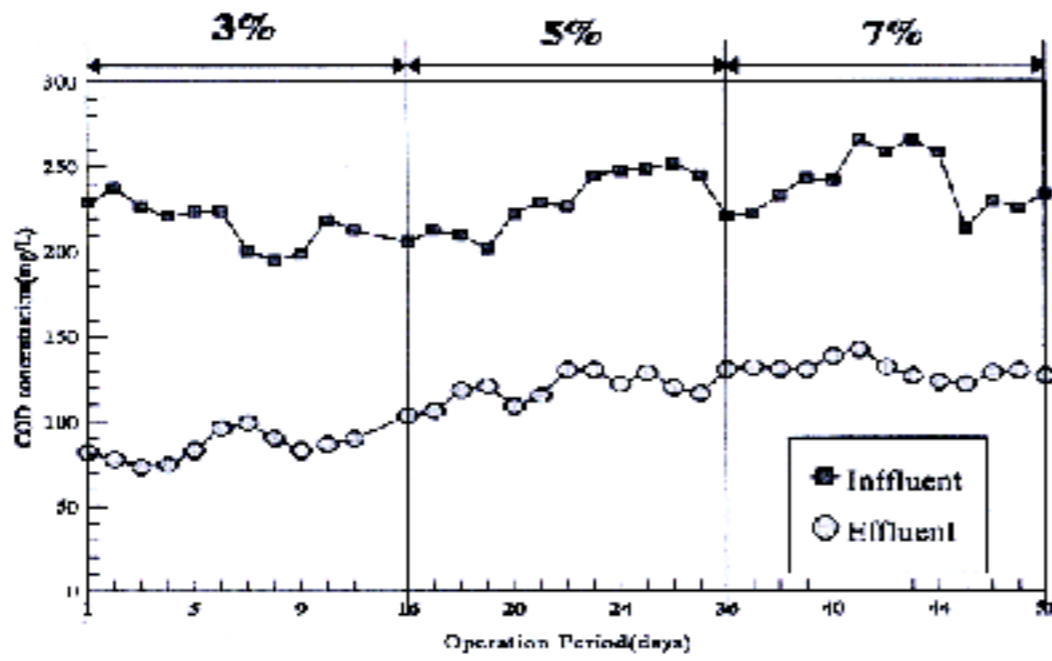


Fig. 3. Influent and Effluent COD Concentrations for S2.

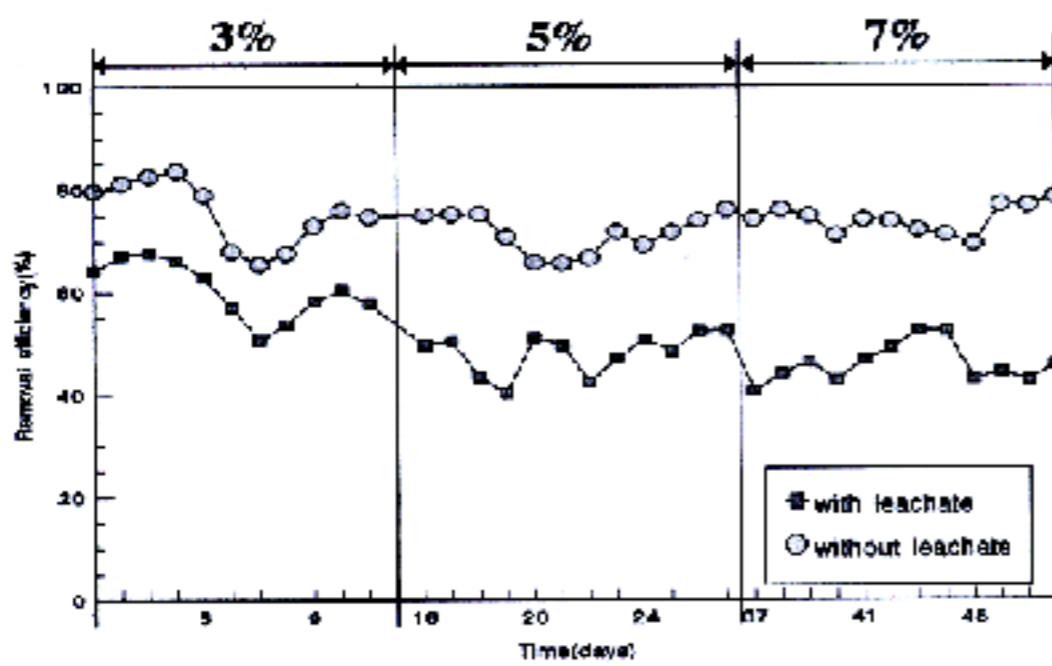


Fig. 4. COD Removal Efficiencies for S1 and S2.

“S2”에서의 연속적인 COD 제거율을 그림으로 나타내면 Fig. 4와 같다.

한편, BOD의 경우 “S1”에서의 유입수 BOD 92mg/L에 대한 유출수의 농도는 15mg/L이하로 BOD 제거효율은 83% 이상을 나타냈다. 침출수를 혼합한 경우(“S2”)에도 80% 이상으로 나타났는데 이를 COD 제거 결과와 비교할 때 침출수내의 유기물은 대부분 생물학적 난분해성으로 활성슬러지공정에 의한 혼합처리시 침출수내의 유기물은 처리되지 않은 것으로 판단된다.

3. 슬러지 생산

운전기간 동안 “S1”과 “S2”에서의 전일의 슬러지 생산량과 당일의 슬러지 생산량의 평균값이 Fig. 5에 도시되어 있는데 하수만 사용한 “S1”에서의 슬러지 생산량은 1kg의 COD 제거 당 0.42kg이었다. 그러나 침출수의 혼합비율이

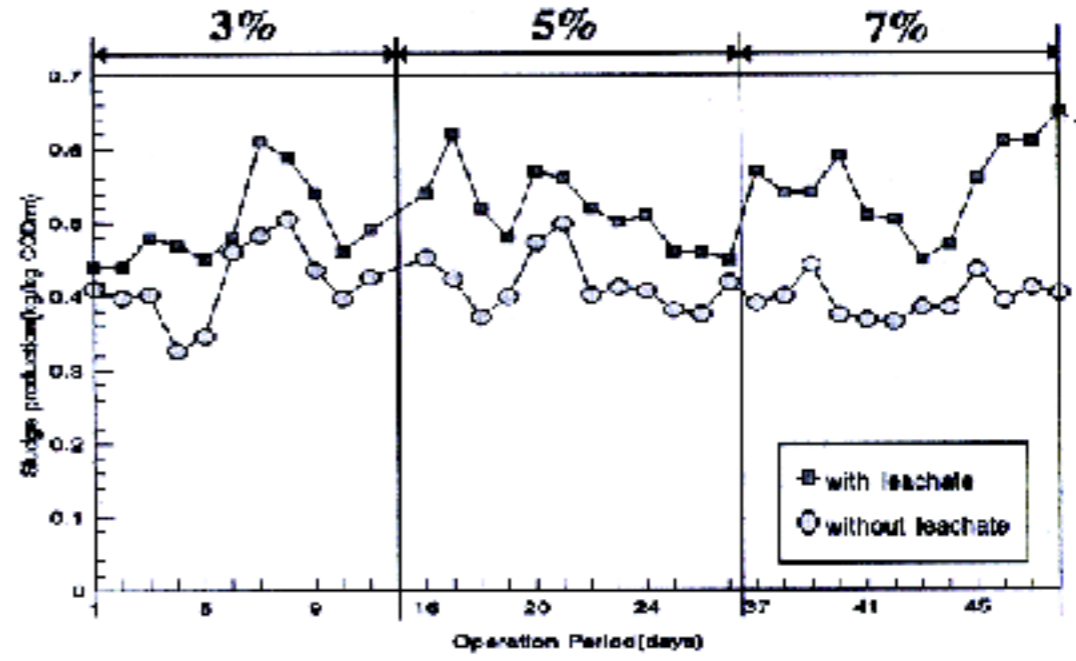


Fig. 5. Sludge Production with and without Leachate Spike.

3%, 5% 그리고 7%로 증가함에 따라 슬러지의 평균 생산량이 각각 0.51, 0.61 그리고 0.59로 나타났는데 침출수의 혼합비 증가에 따른 슬러지 생산량의 증가는 문헌과도 일치한다. (5) 그리고 하수의 슬러지 생산량은 0.35-0.45kg VSS/kg CODremoved으로(6) “S1”에서의 하수의 슬러지 생산량은 이 범위에 포함되었다. 침출수를 첨가한 경우 슬러지 생산량이 높게 나타난 이유는 혼합시료의 경우 하수에 비해 암모니아의 부하율이 높으며 암모니아의 질산화에 의한 cell 형성 때문인 것으로 판단된다.

4. 슬러지 침전특성

슬러지의 침전특성은 SVI를 이용하여 평가하였으며 Fig. 6은 “S1”과 “S2”에서 생성된 슬러지의 SVI를 전일값과 당일값을 평균하여 나타내고 있다. 하수만을 이용한 “S1”의 경우 SVI

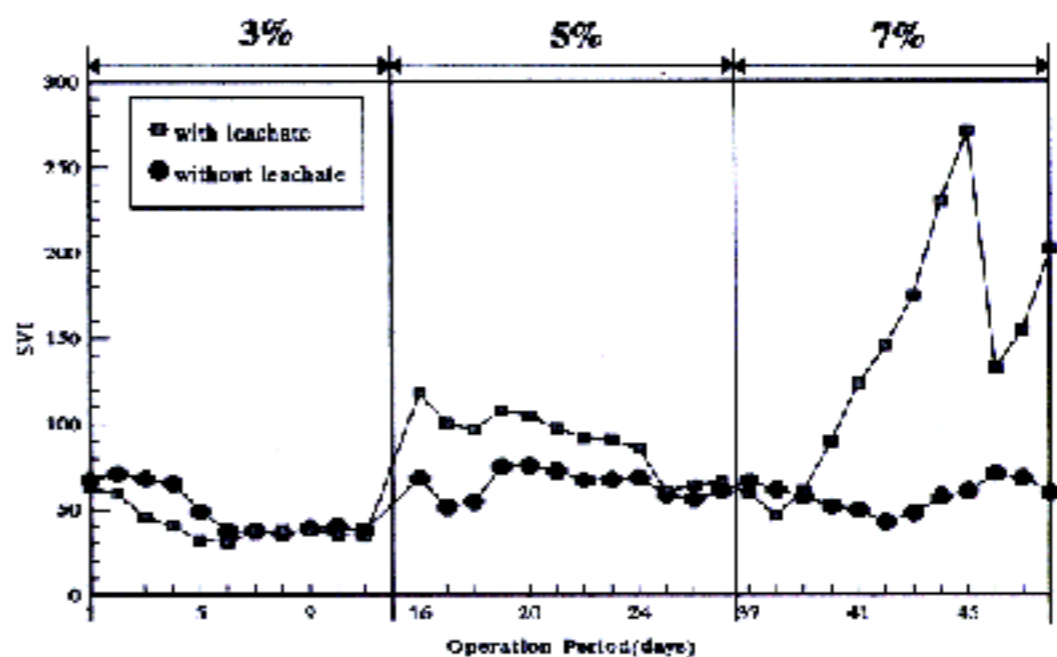


Fig. 6. Sludge Volume Index with and without Leachate Spike

의 범위는 33-90으로 나타났으나 침출수를 3%, 5%, 그리고 7% 혼합시 SVI의 범위는 각각 32-70, 60-110, 50-290 으로 혼합시료에 있어서 침출수의 혼합비율을 증가 시킬수록 침전성은 저하되는 것으로 나타났으며 특히 7% 혼합시 SVI 값이 현저하게 증가하였다. 이것은 폭기조내의 유기물 부하량이 0.7kg COD/m³/day로 증가됨과 동시에 낮은 가용 탄소량(BOD) 때문인 것으로 생각되며 이와 같은 현상은 문헌(2)에서도 지적되었다.

5. 산소소비율과 비산소소비율

하수만을 시료로 사용한 "S1"의 경우 산소소비율(Oxygen Uptake Rate, OUR)은 12-25mg/L/hr로 일반적인 하수에서의 16-22mg/L/hr와 비슷하게 나타났다. 그러나 침출수를 3% 혼합했을 경우에는 37mg/L/hr로 나타났으며 5% 혼합시료에서는 43.4mg/L/hr, 그리고 7% 혼합시료에서는 61mg/L/hr로 침출수 혼합비율을 증가시킴에 따라 산소소비율도 증가하였다.

Fig. 7은 비산소소비율(Specific Oxygen Uptake Rate, SOUR)을 보여주고 있다. 침출수의 혼합비가 3%인 경우 비산소소비율은 0.44-0.85kg O₂/kg MLVSS/day이었고 5% 혼합시료의 경우는 0.71-0.91이었으며 침출수를 7% 혼합하였을 경우에는 0.86-1.53kg O₂/kg MLVSS/day로 침출수의 혼합비율을 증가시킴에 따라 SOUR은 증가하였다. 한편, 하수만을

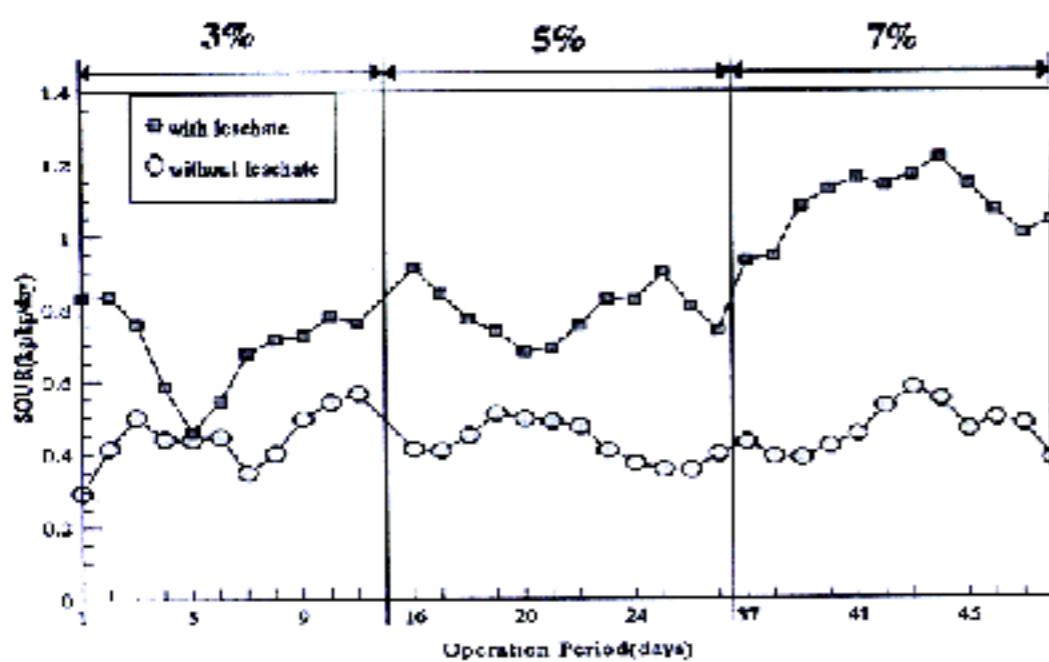


Fig. 7. Mixed Liquor SOUR with and without Leachate Spike.

사용한 "S1"에서는 0.26-0.55kg O₂/kg MLVSS/day로 혼합시료에 비해서 낮게 나타났다. 이와같은 현상은 침출수의 높은 NH₃-N 농도(1,500mg/L)가 NO₃-N으로 산화되면서 산소가 이용되었기 때문인 것으로 생각된다.

IV. 결 론

난지도 매립지에서 발생하는 침출수를 도시하수와 합병처리시 활성슬러지 공정에 미치는 영향을 완전혼합형 bench-scale 활성슬러지 시스템을 이용하여 고찰한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 하수만을 처리하였을 경우 COD 제거효율은 75%를 나타냈으나 침출수와 하수를 합병처리하였을 때의 COD 제거효율은 혼합비가 증가함에 따라 감소하여 3% 혼합시 60%에서 7% 혼합시 45%의 제거효율을 나타내어 생물학적 난분해성인 침출수내의 유기물은 처리되지 않았다.
- 2) COD 1kg 제거당 슬러지 생산량은 침출수와 하수를 혼합한 경우에서 0.51-0.59kg이었으며 이는 하수만을 처리하였을 경우의 0.42kg 보다 높게 나타났다.
- 3) 침출수 혼합비율을 증가시킴에 따라 슬러지의 침전성은 저하되는 것으로 나타났다.
- 4) 비산소소비율(kg O₂/kg MLVSS-day)은 침출수의 혼합비율을 증가시킴에 따라 증가하여 3% 혼합시 평균 0.72에서 7% 혼합시 평균 1.2로 증가하였으며 하수만을 사용한 경우에 비하여 약 2배 높게 나타났다.

참고문헌

1. 환경처, 전국 일반 쓰레기 처리 실적('91) 및 계획('92), 1992.
2. Boyle, W.C. and Ham, R.K., Biological Treatability of Landfill Leachate, J.WPCF, pp. 860-872, 1974.
3. 장지희, 고농도 매립지 침출수가 도시하수의 생물학적 처리에 미치는 영향, 석사학위 논문, 강원대학교 환경공학과, 1995.

4. APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed., Washington, D.C., 1992.
5. Kelly, G.K., Pilot Testing for Combined Treatment of Leachate from a Domestic Waste Landfill Site, J.WPCF, Vol. 59, pp. 254-261, 1987.
6. Lawrence, A.W. and McCarty, P.L., Unified Basis for Biological Treatment Design and Operation, Sanitary Eng. Div., ASCE, Vol. 96, SA3, pp. 757-772, 1970.