

## 다공성 Media가 투여된 반응조를 이용한 매립지 침출수의 호기성 생물학적 처리시 미소생물상의 특성

홍성철 · 박연규

밀양산업대학교 환경공학과  
(1994년 12월 27일 접수)

## Characteristics of Microfauna in Biological Treatment of Landfil Leachate with Reactor Including Porous Media

Sung-Chul Hong and Yeon-Kyu Park

*Dept. of Environmental Engineering, Miryang National University, Miryang, Korea*  
(Manuscript received 27 December 1994)

### Abstract

The combined wastewater of municipal landfill leachate and municipal sewage was treated using several sets of bench-scale aerated circulating system including porous media. Investigated items in this experiment were the dominant protozoa and metazoa in this system, the variation of microfauna relationship between operating condition and dominant genera. Also considered the factors determining dominant genera and their role.

The outcome of this research is as follows:

1. *Aspidisca*, *Vorticella*, *Trachellophyllum*, *Lecane*, *Philodina*, *Cyclops* were mainly appeared prior to combining leachate, while *Trachelocerca*, *Bodo*, *Glaucoma* were the dominant genera after combining leachate.

2. As to metazoa, *Nematode* and *Philodina* were not influenced by 5% leachate mixing ratio, meanwhile *Crustacea* has high sensitivity for increased leachate mixing ratio and it was not appeared in 5% leachate mixing ratio.

3. The appropriate treatability could'nt be expected at the above 10% leachate mixing ratio. Especially, in the condition of 20% leachate mixing ratio, all of the microfauna were affected damage seriously on their existence. Meanwhile hydraulic retention time, substrate loading rate and sludge production rate didn't give notable influence on increasing the number of microfauna.

4. As to protozoa, saprozoic and holozoic species were appeared commonly and polysaprobic species were dominant.

5. Filamentous organsms were nearly not affected by leachate mixing. It seems that they could live without any trouble at the 10% leachate mixing ratio, if the substrate is sufficient.

6. Diversity of microfauna had a reducing trend as the sewage was mixed with leachate.

Key Words : leachate, aerated circulating system, sewage, protozoa, metazoa, dominant microfauna, diversity

## 1. 서론

쓰레기 처리의 매립의존도가 높은 국내 여건에서는 침출수의 적절한 처리문제가 많이 언급되고 있으나 침출수 성분의 복합성, 유독성, 난분해성 등으로 인하여 처리에 어려움을 겪고 있다.

침출수처리의 한 방안으로서 별도의 처리장을 설치하지 않고 기존의 도시하수처리장에서 도시하수와 병합처리하는 방안을 모색하였으며, 폭기조 내에 다공성 Polyurethane media 를 투여함으로써 미생물을 고정화시켜 처리효율의 증대를 기하였다. 이렇게 함으로서 1) 폭기조내 고농도 생물량 유지 2) 폭기시 기체이전율의 향상 3) 수리학적 부하변동에 강하며 4) 고.액분리가 용이하고 5) 유기물 충격부하에 강하고 6) 난분해성 및 독성물질의 제거가 유리할 것으로 기대된다.

생물학적 처리시 반응조의 처리상태를 나타내는 지표생물로서 흔히 원생동물과 후생동물을 사용하고 있으며, 활성슬러지법이나 살수여상, 회전원판 생물막접촉법 등의 미소생물상에 관하여 구미와 일본에서 연구가 된 바 있다(Walker *et al.*, 1981; William *et al.*, 1986; 盛下, 1964; 須藤稻森, 1972, 1983)

본 연구에서는 다공성 media를 함유하는 반응기내에서의 미소생물상과 침출수에 의한 생물상의 변화, 그리고 종의 분포특성, 운전조건과 개체수와 의 관계에 관하여 연구함과 아울러 우점종을 결정하는 요인과 그들의 역할 등을 고찰하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 실험재료

반응조는 원통형 아크릴로 제작하여 유효용적 6.5L가 되게 하였고 산기식으로 포기하였다. 반응조 내부에는 10mm 정방형 polyurethane foam sponge를 유동매체로 투여하였다. 전체적인 구성은 그림 1 에서 보듯이 내부온도가 4℃정도로 조정된 냉장고에 인공하수와 침출수가 혼합된 유입

수조를 설치하였고 미량펌프와 ON-OFF timer에 의해 유입 수량을 조절하였다. 반응조는 25℃의 항온조내에 설치하였고 유입공기량은 공기유량계에 의해 적절하게 조정하였다.

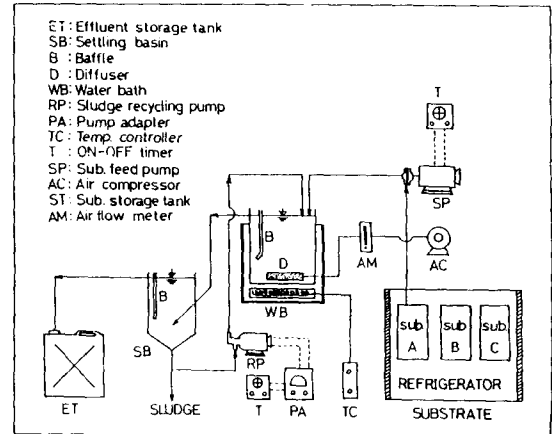


Fig. 1. Schematic of experiment system.

침출수는 서울의 난지도 쓰레기 매립장으로부터 주기적으로 채취하여 침전관에서 30분 침전후 mixing paddle이 설치된 100L 용량의 밀폐형 보관 용기에 넣어 4℃에서 보관하였으며, 필요시 충분히 교반시킨 후 분취하여 사용하였다. 보관기간이 1개월을 초과하지 않도록 하였으며 보관기간동안의 성장변화는 무시할만 하였다. 가능한한 균질한 침출수를 확보하기위해 강우직후의 시료채취는 피하였다. 침출수 원수의 성상은 표 1과 같다. 침출수와 혼합시킬 하수는 인공조제하여 사용하였다. 일반적으로 도시하수는 시간별, 일별, 계절별로 성상이 다소 변하므로 인공하수의 사용이 적절할 것으로 판단되었기 때문이다. 탄소원으로는 glucose를 사용하였고 가능한한 도시하수의 특성을 대표할수 있도록 표 2 와 같이 조제하였으며 100배 농축액을 사용시 희석하여 침출수와 혼합하였다. 침출수와와의 혼합비율은 부피비로 침출수함량 5%, 10%, 20%의 세가지로 하였다.

### 2.2 실험방법

하수종말처리장의 폭기조 슬러지를 채취하여 처

음에는 인공하수로 순용시킨 후 점차 침출수 혼합비를 증가시키면서 침출수에 순용시켰다. 침출수 혼합에 따른 생물상의 변화를 혼합전과 비교하기 위하여 동일한 운전조건에서 인공하수만을 유입시키면서 생물상을 관찰하였다.

유입수와 유출수의 분석은 환경오염공정시험법(환경처, 1992)으로 하였으며, 본 실험에서와 같이 다공성 유동매체를 포함하는 생물막법에서는 정량적인 출현생물상의 계수가 곤란하므로 현미경 시야법을 이용하였으며, 검경시료는 운전중인 반응조로부터 50mL beaker를 사용하여 매체가 5개 포함되도록 용액과 함께 채취한 후 매체를 충분히 교반하여 탈리되도록 하였다. 생물막이 탈리된 매체는 전량 beaker로부터 제거하였고 최종 시료량이 20mL가 되도록 반응조내 용액으로 조정하였다.

Table 2. Characteristics of synthetic sewage

Composition	Concentration
Dipotassium hydrogen phosphate	Variable
Magnesium sulfate	3mg/L
Calcium chloride	2mg/L
Sodium bicarbonate	300mg/L
Ferric chloride	0.8mg/L
Ammonium chloride	Variable
Glucose	Variable

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 출현 생물상의 특성

침출수가 유입되기 전까지 반응조 내의 생물상

Table 1. Characteristics of Nanji landfill leachate used in the experiment

Constituents	Range(mg/L)	Average(mg/L)
Temperature(℃)	40 ~ 44	43
pH	7.4 ~ 7.6	7.5
DO	0.3 ~ 2.4	1.6
BOD	580 ~ 650	614.0
COD	1300 ~ 1350	1329.0
TSS	8.0 ~ 11.0	10.0
T-N	2021 ~ 2110	2078.0
NH <sub>4</sub> -N	1400 ~ 1450	1428.0
NO <sub>3</sub> -N	0.5 ~ 1.1	0.7
T-P	2.7 ~ 3.2	3.1
Cl <sup>-</sup>	3540 ~ 4085	3852.0
Phenol	16.3 ~ 19.1	18.2
Alkalinity	6335 ~ 6547	6482.0
CN <sup>-</sup>	1.8 ~ 2.1	2.0
SO <sub>4</sub>	14.7 ~ 17.4	16.9
Metalics-Mg	8.8 ~ 11.4	9.5/9.5*
Zn	0.024 ~ 0.028	0.026/0.086*
Mn	0.029 ~ 0.032	0.031/0.031*
Cr	0.540 ~ 0.545	0.542/0.919*
Cu	below limits	-
Fe	0.228 ~ 0.243	0.236/0.236*
Cd	0.014 ~ 0.018	0.016
Pb	below limits	-

\* : Non-filtered

은 통상 활성슬러지성 생물로 알려져 있는 *Aspidisca*, *Vorticella*, *Trachelophyllum*, *Lecane*, *Philodina*, *Cyclops* 등이 다수 출현하였으나 침출수로 적응되면서 *Trachelocerca*, *Bodo*, *Glaucoma* 등이 원생동물로서 우점하기 시작하였고 후생동물은 *Philodina* 와 *Nematode*만이 존재하고 나머지는 모두 유실되거나 사멸하는 특이성을 나타냈다. 침출수 혼합비에 따른 원생동물과 후생동물의 현미경 10시아당 출현 개체수는(No.x10/Microscopic field, 400X) 그림 2, 3 과 같은데, 혼합비 5%에서는 다소 출현수가 감소하였으나 처리효율에는 지장을 초래하지 않았다. 그러나 혼합비 20%에서는 원생동물과 후생동물 모두 생존이 어려운 것으로 나타났다. 한편 당초의 예상은 수리학적 체류시간, 기질부하율, 기질제거율, 슬러지발생량 등과도 연관이 있을 것으로 생각되었으나 *Nematode*를 제외한 모든 종이 실제로는 유의한 차이를 발견하기 어려웠고, 가장 큰 영향을 미치는 요소는 침출수의 혼합비이었다. 이러한 측면을 고려하여 수리학적체류시간 8시간을 기준으로 그림과 표를 작성하였다.

원생동물(protozoa)의 성장과 생존 및 구성에 가장 많은 영향을 주는 요소로서 원생동물의 영양형태(nutrition), 유입기질 형태, 반응조 용액의 오염수준

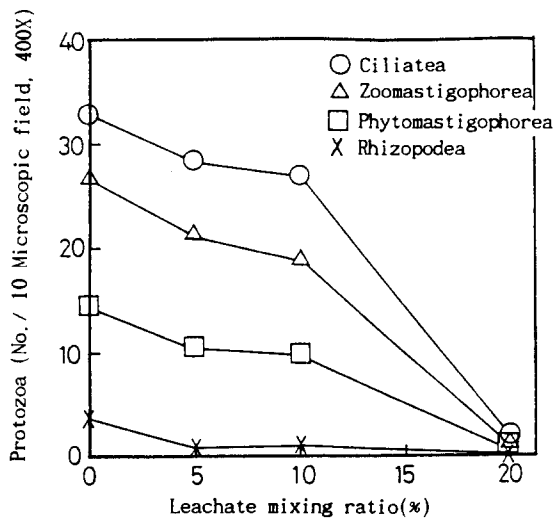


Fig. 2. Effect of leachate mixing ratio on protozoa (HRT=8hr).

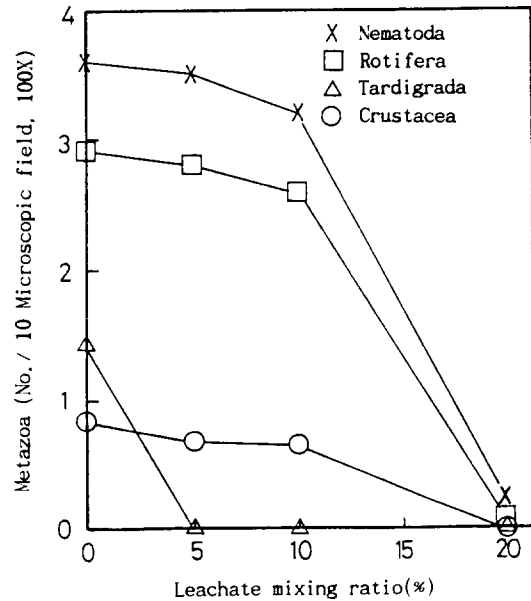


Fig. 3. Effect of leachate mixing ratio on metazoa (HRT=8hr).

(saprobic state), 그리고 원생동물 상호간의 경쟁관계 등을 생각할 수 있다. 영양 형태별로는 크게 용존 유기물을 섭취하는 saprozoic, 그리고 세균 같은 고형물질을 섭취하는 holozoic 원생동물로 구분되며, 구체적으로는 무기물을 이용하여 유기물을 합성하는 독립영양계의 *Phytomastigophorea*, 용존유기물을 섭취하는 *Zoomastigophorea*, 고형물질을 섭취하는 *Phagotrophs*로서 대부분의 *Ciliatea*가 여기에 속하지만, *Phytomastigophorea*에 속하는 *Oikomonas*도 포함된다. 또한 원생동물을 포식하는 predators도 있다.

본 실험에서 우점하고 있는 *Ciliatea* 강의 원생동물은 stalked *Ciliatea*중에서 *Vorticella*가 가장 많았고 *Glaucoma*, *Tetrahymena(Colpidium)* *Trachelocerca* 등도 다수 출현하였다. *Zoomastigophorea* 강에서는 *Bodo*, *Cercobodo*, *keranema* 등이 주종을 이루었고 *Phytomastigophorea*는 *Oikomonas*만이 유일하게 출현하였다. 이러한 종들은 상기의 구분에 의하면 saprozoic 및 holozoic 원생동물이 골고루 분포하는 편이며, 오염수준에 따른 구분으로 보면 polysaprobic 수준의 원생동물이 대부분을 차지하

였다.

한편 Curds(1971)는 컴퓨터 모형연구를 통하여 활성 슬러지법에서의 생물상 천이과정을 규명한 결과 자유유영형 원생동물은 초기에만 나타나며, 시간이 경과할 수록 부착성장형의 Ciliata 만이 우점한다고 하였다. 이러한 변화에 대하여 Mckinney와 Gram(1956)의 연구에 기초하면, *Flagellates*는 에너지 요구량이 낮으며, *Ciliata*는 먹이를 신속히 취득할 수 있기 때문이라는 해석이 가능하다. 그러나 본 실험에서는 침출수 혼합비 10% 까지에서 *Vorticella*가 식종 초기보다 숫적인 감소 뿐만 아니라 활성도가 다소 떨어진 상태로 있었으며, 오히려 자유유영형 *Ciliata*의 경우는 숫적인 감소현상도 두드러지지 않았으며, 활성은 거의 비슷한 것으로 보였다. 또한 문헌(盛下, 1964; 黒川正博과 栗原康, 1976; 須藤, 1972)에 의하면 *Bodo*, *Oikomonas*, *Glaucocystis*, *Peranema* 등은 처리상태가 악화되거나 슬러지가 분산, 또는 해체시 숫적인 증가를 보이는 원생동물로 알려져 있으나 본 실험에서는 유입수의 기질농도가 증가함에 따라 다소 증가하는 경향을 나타내었고 지속적인 우점종으로 존재하였다. 이와같이 출현종이 다른 이유는 floc의 형태적 차이에서 비롯된 것 같다. 활성슬러지법에서는 부유 floc을 중심으로 세균을 포식하는 holozoic 원생동물이 밀집되어 있으며, saprozoic 원생동물은 전 반응조에 걸쳐 존재한다. 그러나 매디아를 사용한 본 실험의 경우는 제한된 매디아 수와, 세균의 서식처가 표면보다는 내부에 더 많이 존재함으로 인하여 stalked *Ciliata*의 부착 성장이 다소 어려웠을 것으로 생각된다. 또한 부유 floc의 수가 매우 적었기 때문에 holozoic 원생동물의 대부분이 매디아를 중심으로 서식하므로서 검경시에 많이 출현 되었을 가능성도 있다.

Curds(1963)는 활성슬러지법에서 원생동물의 역할은 *Ciliata*의 경우 glucose와 arabinose의 중합체인 용존성 polysaccharide를 분비하여 수중에 부유하는 colloid 입자의 표면전하를 변화시킴으로써 floc을 형성하거나, 고형물 입자를 섭취하는 과정에서 mucin을 분비하여 부유물질을 응결시킴으로

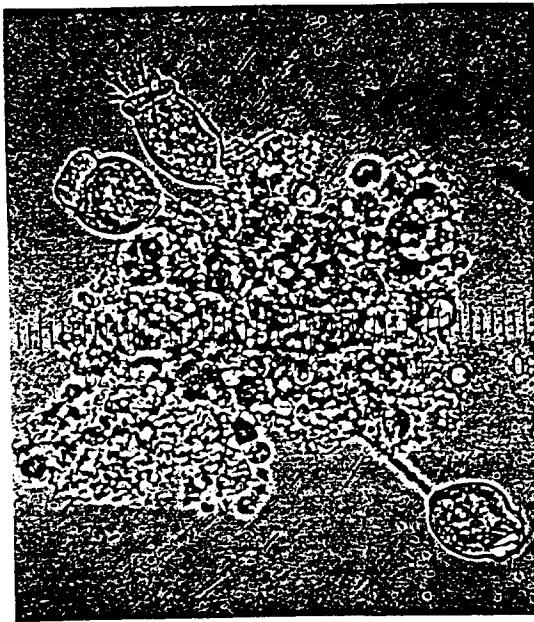
서 유출수의 탁도 및 전반적인 수질을 개선한다고 하였다. 그러나 본 실험에서와 같이 유입기질의 대부분이 용존성이고, 부유 세포량이 적은 경우는 그 역할이 다소 다를 것으로 여겨진다. 즉 polysaccharide 와 mucin 성분은 매디아의 표면에 생성되어 세균과 같은 고형물의 포착, 또는 기질의 저장에 사용됨으로서 매디아 내부로의 기질 공급 촉진과 holozoic 원생동물의 증가에 기여했을 가능성이 클 것으로 판단된다. 출현 원생동물의 사진은 그림 4의 (a), (b)와 같다.

침출수가 유입되지 않은 시종 초기 출현한 후생동물은 일반적인 활성슬러지법 반응조에서 흔히 나타나는 *Daphnia*, *Nematode*, *Philodina*, *Lecane*, *Macrobrotus* 등으로서 갑각류가 존재하는 양호한 상태를 보였으나 침출수가 유입됨에 따라 *Nematode*와 *Philodina* 만이 존재하였고 나머지는 점차 보이지 않으므로서 갑각류가 침출수에 매우 취약함을 나타내었다.

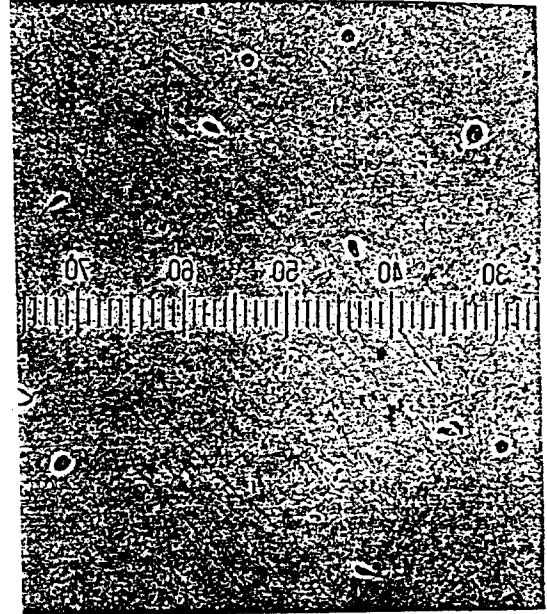
Mckinney(1962)는 *Philodina*가 활성슬러지법으로 95~100% 처리된 유출수의 지표생물이라고 제안한 바 있고, 통상 DO가 높은 청정수에 존재하는 것으로 알려져 있으며, *Nematode*는 산소, 기질 등에 영향을 받는데 주된 먹이는 세균으로 알려져 있고(Cryan, 1963), 최적 성장온도는 17-18°C로서 호기성 상태를 선호하지만 혐기성 상태에서 생존하는 종도 있다(Roger, 1962). 한편 *Nematode*는 DO가 낮고 잉여슬러지가 많을때 출현한다는 연구(須藤, 1983; 千種, 1979; 櫻井 외, 1980)가 있는데, 본 연구에서도 세포물질 실생산계수( $Y_{66}$ )가 큰 경우, 즉 HRT가 2hr일 때 많이 나타나는 것으로 보아 유입기질양에 민감한 것으로 보이며, 본 실험에서의 반응조 온도가 25°C였고 용존산소도 3.5mg/L 이상이였으므로 *Nematode*의 최적 성장 조건이 아니었음에도 다수 출현한 것으로 보아 어느정도 침출수에 적응력이 있는 것으로 생각된다. *Philodina*가 우점 후생동물로서 존재하는 것에는 의문의 여지가 많다. 다만 COD 제거율이 최고 90% 정도가 되며 유출수질이 33.4~90.0 mgCOD/L 였던 침출수 5%에서는 비교적 유출수질이 좋았다고 할

수 있으나, 한편으로 유출수 중의 대부분이 침출수 성분에서 비롯된 것일수도 있다는 가정을 한다면 *Philodina*도 침출수에 강한 종으로 봐도 좋을 것 같다. 그러나 이들 두 종의 서식 형태가 포복 및 부착 침투 등이므로 유실에 강한 점도 작용했을 가능성이 크다.

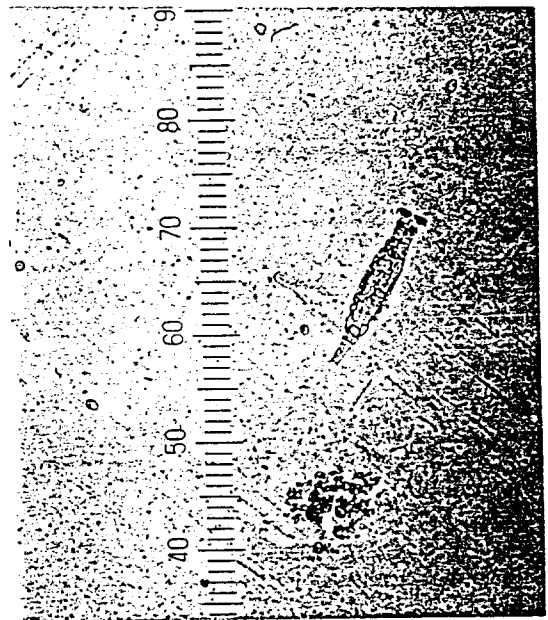
후생동물의 역할로서는 Reynoldson(1948)이 실험한 결과 *Annelida*의 존재시 유출수질이 더 맑고 깨끗해졌다고 하였으며, Williams 와 Taylor(1968)는 여러 종이 있을 경우 더 처리효율이 높다고 하였다. 이러한 원인으로서는 미디어 사용시 조공작용(channelling)에 의한 폐색방지와 토양에서의 역할과 유사한 응결핵의 제공이라는 점을 생각할 수 있는데, 역할의 정량적 평가는 쉽지 않지만 본 실험에서와 같은 다공성 미디어를 함유한 경우 특히, 조공작용에 의한 기질 확산효율 증대와 포식에 의한 미디어 표면 부착 생물막의 세정작용(polishing)에 많은 도움이 있었을 것으로 판단된다. 출현 후생동물의 사진은 그림 4의 (c), (d)와 같고 침출수 유입 전·후 생물상의 변화를 표 3에 요약하였다.



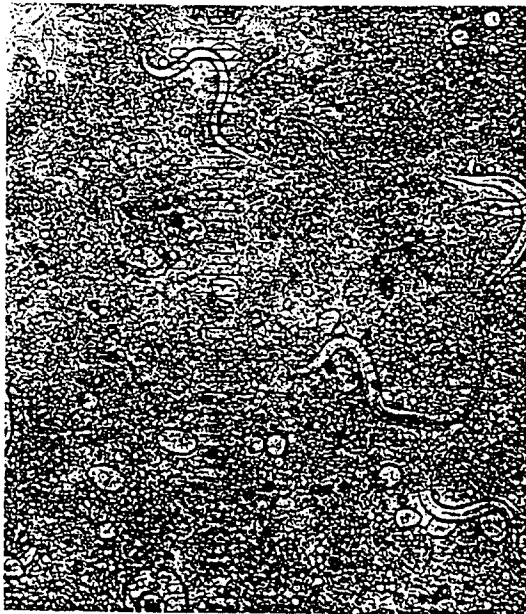
(a) Stalked ciliatea



(b) Free swimming protozoa



(c) *Philodina* sp.



(d) Nematode

Fig. 4. Photograph of dominant microfauna in aerated media-bed circulating system in leachate treatment (× 400).

#### 4. 결론

다공성 polyurethane media가 투여된 호기성 반응조를 이용하여 쓰레기 매립지 침출수와 인공하수를 혼합처리한 결과 침출수 혼합비 5%로 양호한 처리수질을 얻을 수 있었으며, 이러한 조건에서 미소생물상의 반응조내 거동을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 원생동물은 침출수가 유입되기 이전에는 활성슬러지성 미생물로 알려져있는 *Aspidisca*, *Vorticella*, *Trachellophyllum*, *Lecane*, *Philodina*, *Cyclops* 등이 다수 출현하였고, 비활성슬러지성으로 알려져있는 *Bodo*, *Monas* 등은 출현빈도가 낮았으나 침출수가 유입된후 *Trachelocerca*, *Bodo*, *Glaucoma* 등이 우점하는 것으로 나타났다.

2. 침출수의 유입전 후생동물은 *Daphnia*, *Nematode*, *Philodina*, *Lecane*, *Macrobiotus* 등이 다수 출현하였으나 유입 후 갑각류는 거의 존재하지 않으므로서 침출수에 매우 민감한 것으로 나타

Table 3. Dominant microfauna taxonomy

Classification	Class	Order	Group			
			Prior & posterior to leachate mixing			
			Prior	Posterior		
Protozoa	<i>Ciliatea</i>	<i>Hypotrichida</i>	<i>Aspidisca</i>	little		
		<i>Gymnostomatida</i>	<i>Trachellophyllum</i>	absent		
		<i>Peritrichida</i>	<i>Carchesium</i>	<i>Carchesium</i>		
			<i>Vorticella</i>	<i>Vorticella</i>		
			<i>Opercularia</i>	a little		
			<i>Hymenostomatida</i>	a little	<i>Glaucoma</i>	
			<i>Gymnostomatida</i>	little	<i>Tetrahymena</i>	
					<i>Trachelocerca</i>	
			<i>Zoomastigophorea</i>	<i>Kinotoplastida</i>	<i>Bodo</i>	<i>Bodo</i>
				<i>Euglenida</i>	little	<i>Cercobodo</i>
			little	<i>Peranema</i>		
	<i>Phytomastigophorea</i>	<i>Chrysomonadida</i>	<i>Monas</i>	<i>Oikomonas</i>		
Metazoa	<i>Rhizopodea</i>	<i>Amoebida</i>	<i>Amoeba</i>	absent		
	<i>Tardigrada</i>		<i>Macrobiotus</i>	little		
	<i>Crustacea</i>	<i>Copepoda</i>	<i>Daphnia</i>	absent		
			<i>Cyclops</i>	absent		
	<i>Rotifera</i>	<i>Bdelloidea</i>	<i>Philodina</i>	<i>Philodina</i>		
		<i>Monogononta</i>	<i>Lecane</i>	absent		
	<i>Nematoda</i>	<i>Rhabditida</i>	<i>Nematode</i>	<i>Nematode</i>		

났다. 반면 *Philodina*는 활성슬러지법에서 95~100% 처리된 양호한 유출수질에서 출현하는 지표 생물로 간주되고 있으나 침출수 처리시에도 다수 출현하였고, *Nematode* 와 더불어 우점종을 이루었다.

3. 미소생물의 출현개체수에 가장 큰 영향을 주는 인자는 침출수의 혼합비로서 그 비가 20%인 경우는 거의 모든 미소생물의 생존이 어려운 것으로 나타났다. 또한 수리학적 체류시간, 기질 부하율, 슬러지발생량 등과는 유의할 만한 연관성을 나타내지 않았다.

4. 원생동물의 경우 침출수의 처리시 saprozoic과 holozoic 종들이 골고루 분포하였고 polysaprobic 종이 우점하고 있었다.

5. 다공성 media를 함유한 본 실험에서와 같은 반응조에서 후생동물의 주된 역할은 조공작용(channelling)에 의한 기질확산효율 증대와 포식에 의한 media 표면부착 생물막의 세정작용(polishing)에 도움이 있었을 것으로 판단된다.

6. 사상균은 침출수의 유입에도 불구하고 새로이 발생되었고, 기질이 적절히 있을 경우 침출수 혼합비 10%에서도 정상적 생존이 가능하였다.

7. 침출수의 혼합으로 인하여 미소생물의 출현종이 단순화되는 경향을 나타내었다.

## 참고문헌

- 환경처, 1992, 환경처고시 제91-85호.
- Atkinson, B., Black, G.M. and pinches, A., 1980, Process Intensification Using Cell Support Systems, Process Biochem., 20, 24.
- Cryan W. W., 1963, Nematologica, 9, 213-319.
- Curds. C. R., 1963, Studies on the ecology of ciliated protozoa in activated sludge and their role in the process of sewage purification., Ph.D.Thesis, London University(1963a), CURDS, C.R.J.gen. Microbiol., 33(1963b), 357-363.
- Curds, C. R., 1971c, Wat.Res. 5, 1049-1066.
- Edward Chian S. K. and F. B. Dewalle, 1976, Sanitary landfill leachates and their treatment, JSED, ASCE, 102, EE2.
- McKinney, R. E. and A. Gram, 1956, Sew Ind. Wastes 28, 1219-37.
- McKinney. R. E., 1962, J. sanit. Engng. Div., Am. Soc. civ. Engrs, SA3, 87-113.
- Reynoldson, T. B., 1948, J. Anim. Ecol. 17, 27-38.
- Robert D. C. and A. K. Frederic, 1980, Toxicity of landfill leachates. J., WPCF, 52, 4, 760-760.
- Roger, W. P., 1962, The Nature of Parasitism., Academic Press. New York and London.
- Sawhney, B. L. and R. P. Kozloski, 1984, Organic pollutants in Leachate from Landfill Sites, J. Envi. Qual., 13, 3., 349-352.
- Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WPCF, 17th Ed., 1988.
- Walker, I. and E. P. Austin, 1981, The Use of Plastic, Porous, Biomass Supports in a Pseudo Fluidised Bed for Effluent Treatment. In P. F. Cooper and B. Atkinson(eds.), Biological Fluidised Bed Treatment of Water and Wastewater, Ellis Horwood, Chichester, 272.
- William C. Boyle and Aifred T.Wallace, 1986, Status of Porous Biomass Support System for Wastewater Treatment:An Innovatibe/Alternative Technology Assesment, U.S.EPA, 600/2-86/019.
- Williams, N. V. and H. M. Taylor, 1968, Wat. Res. 2. 139-150.
- Wong-Chong G. M. and S. C. Caruso, 1977, Biological oxidation of coke plant wastewater for the control of nitrogen compounds in a single-stage reactor, Presented at the Wastewater Technology Center of the Canada Centre for Inland



- Waters, October.
- 盛下, 1964, 分流式下水 生活汚泥 原生動物相 について, 用水と廢水, 6, 13-20.
- 須藤稻森, 1972, 廢水の生物處理 について(1), 日本醸造 協會誌, 68, 150.
- 須藤稻森, 1983, 水處理にあける 微生物制御, 微生物の生態 11, 113-114.
- 櫻井 外 10人, 1980, 活性汚泥法と 維持管理, 産業用水調査會, 63-64.
- 日本下水道試験法, 1984, 日本下水道協會.
- 千種, 1979, 活性汚泥の生物相, 西原環境衛研究所, 12-13.
- 黒川正博, 栗原康, 1976, エアレーションタンク中 生物的 化學的 性質に對する 付着基質の 投與率果, 用水, 18, 19-32.