

하수처리장의 원생동물 천이

이찬형* · 문경숙¹ · 진익렬

경북대학교 미생물학과, ¹대구광역시 환경시설공단

Growth and Succession of Protozoa Population in the Activated Sludge Plant. Lee, Chan-Hyung*, Kyung-Suk Moon¹, and Ing-Nyol Jin. Department of Microbiology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea, ¹Environmental Installations Corporation of Daegu City, Daegu 703-825, Korea – This study concerns the succession process of protozoa populations in two activated sludge pilot plants. Protozoa populations with similar structures developed and succeeded each other in two plants. It was observed that initial sludge inoculum did not influence the protozoan composition but shorten the period of the plant stabilization. It seemed the protozoan in aeration tank was come from the influent. The composition of the influent sewage influenced the structure of protozoa in the pilot plants. The flagellates was very abundant during the initial starting phase. These rapidly decreased after growth peak. Then sarcodina, ciliates were increased in succession. In ciliates, free-swimming forms appeared at first and crawling forms and stalked forms were followed. After 36 days from the start, the sludge stabilization phase was characterized by a populations of ciliates dominated by stalked and crawling type and low value of effluent BOD was achieved.

Key words: Protozoa, sewage, activated sludge, ciliates, pilot plant

수질오염을 방지하기 위하여 하수처리장이 건설되고 있으며, 전국 하수처리장의 90% 이상이 활성슬러지법을 처리공법으로 채택하고 있다. 하수의 생물학적 처리는 미생물의 증식과 대사기능을 이용하는 처리법이며, 주로 유기성 오염물질과 영양염류를 제거하는데 이용된다. 활성슬러지는 세균과 원생동물을 주로 하여 수백 종 이상의 미생물로 구성된 혼합배양계로 미생물상과 처리효율은 밀접한 관계가 있으며 특정한 미생물들이 우점하고 있을 때 양호한 처리수가 얻어진다. 지금까지 미생물상의 조사결과가 실제 활성슬러지 처리장의 유지관리에 많이 반영되지 않고 있는데 이는 미생물 실험을 하는데 시간이 많이 소요되고 실험결과를 유지관리에 바로 적용하기가 어려웠기 때문이다. 미생물을 유지관리 지표로 삼는 것은 관찰에 전문적인 지식을 필요로 하기 때문에 미생물상에 의한 관리가 번거로운 일로 인식되어 현장에서 기피하는 경향이 있었다. 그러나 활성슬러지의 유지관리에 원생동물을 이용하는 방법은 현미경 관찰만으로도 가능하기 때문에 전문적인 지식이 없는 사람이라도 쉽게 이용할 수 있으며, 정화기능과 유해물질의 유무를 판단하는데 주요한 방법이 될 수 있다. 이미 외국에서는 이러한 지표미생물에 대한 연구[4, 13, 17]가 활발히 진행되어왔고 체계적인 연구나 문헌이 구축되어 있으나 국내에는 황[6]이 서울지역 6개 식품공장을 대상으로 수질과 지표미생물의 분포를 조사

하였고, 김[10]이 대구 달서천 하수처리장에서 수질지표와 원생동물과의 회귀분석을 수행하였고, 정 등[2]이 도시하수처리장 6개소와 산업폐수처리장 5개소를 대상으로, 문 등[15]이 하천 부영양화의 원인물질인 인·질소제거를 위해 설치된 고도처리하수처리장에 대해 연구하였다. 이러한 자료는 현재 가동 중인 처리장의 원생동물 분포에 관한 것으로 처리장의 시운전에서 정상가동까지의 기간 동안의 연구는 Madoni[12]와 일본[9]의 연구가 있으나 국내에는 관련 자료가 없는 실정이다. 이번 연구에서는 유입수의 성상이 다른 처리장을 대상으로 pilot plant을 제작하여 처리장에서의 활성오니의 생성과정과 천이과정을 조사하고, 활성오니의 미생물 군집구조형성에 슬러지 식종(sludge inoculation)의 영향을 조사하고자 한다.

재료 및 방법

Pilot Plant

국내 하수처리장의 대표적 처리조건인 도시 하수가 유입되는 경우와 전 처리된 분뇨가 하수에 연계 처리되는 경우를 실험조건으로 하여 Fig. 1과 같은 pilot plant를 2개 제작하여 실험을 하였다. 포기조(aeration tank)에서는 포기조 미생물이 호기성조건에서 유입수와 생물학적으로 반응하여 유기물의 산화 및 제거가 일어나며 미생물 혼합액이 침전조(settling tank)로 월류된다. 침전조에서는 형성된 미생물 플록이 중력침전에 의해 바닥에 가라앉는데 경사가 있음으로 포기조 하부로 유입되어 포기조 미생물로 재공급된다. 침전

*Corresponding author

Tel: 82-53-760-1322, Fax: 82-53-760-1334

E-mail: chlee@daegumail.net

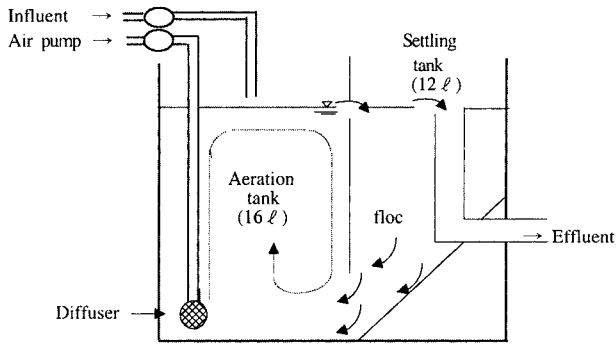


Fig. 1. Schematic diagram of pilot plant.

조 상부의 처리수는 월류되어 외부로 방류된다. 실험하수는 대구시 신천처리장과 서부처리장의 1차 침전지를 거친 하수를 실험의 유입수로 사용하였다. 신천처리장은 유입수 중 대부분이 도시 생활하수로 구성되어 처리되며, 서부처리장은 전 처리된 분뇨와 도시 생활하수가 섞여서 처리된다. 유입수 정상 및 정상적인 가동일 때의 pilot plant의 운전조건을 Table 1에 나타내었다. Pilot plant A는 신천처리장의 포기조 미생물을 식종하고 신천처리장 하수를 유입시킨 경우와 신천처리장 하수만 유입한 경우로 나누어 분석하였다. Pilot plant B는 서부처리장의 하수를 사용하여 동일한 방법으로 분석하였다.

원생동물 동정 및 계수

원생동물 동정을 위한 유입수 및 포기조 시료는 매주 2회 시료병에 1/2 정도를 채수하여 공기와 접촉을 유지하도록 한 후 즉시 광학현미경을 사용하여 검경하였으며 2시간 이내에 완료되도록 하였다. 검경은 $\times 200$, $\times 400$ 배율로 관찰 동정하였으며, 동일 시료를 2회 측정하여 평균값을 계산하였다. 포기조 시료는 구역이 나누어진 슬라이드 글라스에 시료 0.05 ml 넣고 18 \times 18 mm의 cover glass를 덮어 90 구역에 나타나는 수치를 평균하여 총구역수를 곱하였다. 포기조에서 개체수가 낮은 종을 고려하여 시료 1 ml를 Sedgwick-

Rafter chamber에 놓아 1회 검경하는 것을 병행하였다. 미생물 개체수가 적은 유입수 시료는 시료 1 ml를 Sedgwick-Rafter chamber에 놓아 검경하였다. *Epistylis*, *Opercularia* 같이 군체를 형성하는 경우에는 각 개체를 1개체로 계수하였다. 원생동물 및 미소후생동물의 동정은 Jahn의 분류체계 [7]에 의해 분류하였으며, Ciliophora(Ciliates)는 Foissner의 방법 [5]에 의하여 분류하였다. 동정은 분류 방법 외에 일본 하수도협회 분류기준 [8]과 Patterson [15] 자료를 참조하여 종 단위까지 동정하였다.

이화학적 분석

유입수와 침전지 처리수는 매주 2회 채수하여 환경부의 수질오염공정시험방법 [11]에 의하여 시험하였다. BOD는 윙클러-아지드화나트륨 변법에 의해 5일 동안 소비된 용존산소량으로부터 계산하였다. 부유물질인 SS(Suspended Solid)는 유입수와 침전지처리수를 유리섬유여지(GF/C)로 여과한 후 항량으로 건조하여 무게를 달아 여과전후의 무게차를 산출하여 구하였다. 포기조 내 미생물량을 나타내는 MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid)는 포기조액을 유리섬유여지(GF/C)로 여과한 후 항량으로 건조하여 무게를 달아 여과전후의 무게차를 산출하여 구하였다. 운전조건인 SRT, F/M비는 운영 자료를 토대로 하여 계산하였다. 슬러지 체류시간인 SRT(Sludge Retention Time)는 [포기조용적 \times 포기조내 MLSS농도 \div 폐슬러지농도 \div 폐슬러지유량]으로 구하고, 포기조 내 MLSS당 가해지는 BOD 무게인 F/M비는 [BOD농도 \times 유입수량 \div MLSS농도 \div 포기조용적]으로 계산하였다.

결과 및 고찰

유입수 및 식종액의 원생동물 분포

처리장 유입수에 존재하는 원생동물의 조성을 Table 2에 나타내었다. 두 처리장 모두 유입수 중 원생동물 분포는 14속 17종이었다. 편모충류가 3속 3종이며 섬모충류는 10속 12종이며, 개체수는 신천처리장은 110 개체/ml이었으며, 서부처리장은 167 개체/ml으로 개체수가 더 많았다. 서부처리장 유입수는 전 처리된 분뇨가 섞여 들어옴으로 도시하수만으로 구성되는 신천처리장 유입수보다 원생동물증식에 유리한 조건으로 판단됨으로 개체수가 증가한 것으로 사료된다. 편모충류와 섬모충류가 비슷한 개체수를 나타내었으나 섬모충류가 다소 많았다.

식종액내의 원생동물 분포는 Table 3에 나타내었다. 식종액은 각 처리장의 포기조 미생물 현탁액을 사용하였으므로 가동 중인 처리장 포기조의 미생물분포와 동일하다. 두 처리장의 식종액 원생동물 분포는 26속 37종이며, *Potერიодendron*의 6.2배 차이를 제외하고는 대부분이 2배 이내의 개체수 차이를 나타낸다. 처리장별로는 *Paramecium*은 신천처리장에만 나타나고 *Opercularia*는 서부처리장에만 분포한다. 편모

Table 1. The main characteristics of the two pilot plants.

Characteristics	Pilot plant	
	A	B
Sewage type	Municipal	Municipal + pre-treated night soil
Influent BOD (mg/l)	86.4	127.9
Influent SS (mg/l)	76.5	147.3
Average MLSS (mg/l)	950	1350
SRT (day)	8.1	7.1
F/M (kg BOD/kg MLSS)	0.10	0.14
Effluent BOD (mg/l)	3.4	4.2

Table 2. Protozoa distribution in the influent.

Group	Species	Count (No./ml)	
		Pilot plant A	Pilot plant B
Flagellates	<i>Bodo angustus</i>	12	19
	<i>Monas vulgaris</i>	16	26
	<i>Oikomonas termo</i>	21	31
	Total	49	76
Sarcodina	<i>Amoeba proteus</i>	3	5
	<i>Amoeba radiosa</i>	5	8
	Total	8	13
Ciliates	<i>Chilodonella uncinata</i>	2	16
	<i>Podophrya fixa</i>	5	4
	<i>Tokophrya infusionum</i>	1	2
	<i>Tokophrya lemnae</i>	2	2
	<i>Cinetochillum margaritaceum</i>	16	12
	<i>Coleps nolandi</i>	9	4
	<i>Amphileptus pleurosigma</i>	4	7
	<i>Aspidisca lynceus</i>	3	7
	<i>Aspidisca cicada</i>	5	6
	<i>Vorticella campanula</i>	2	3
	<i>Litonotus carinatus</i>	2	4
	<i>Trachelophyllum pusillum</i>	2	11
	Total	53	78

Table 3. Protozoa distribution in the inoculum.

Groups	Species	Count (No./ml)		Groups	Species	Count (No./ml)	
		Pilot plant A	Pilot plant B			Pilot plant A	Pilot plant B
Flagellates	<i>Peranema trichophorum</i>	56	43	Ciliates	<i>Tokophrya mollis</i>	16	19
	<i>Entosiphon sulcatum</i>	32	96		<i>Litonotus fasciolla</i>	273	208
	<i>Poteriodendron petiolatum</i>	168	1,044		<i>Litonotus anguilla</i>	215	90
	<i>Oikomonas termo</i>	324	428		<i>Paramecium caudatum</i>	0	14
	<i>Oikomonas socialis</i>	164	203		<i>Cinetochillum margaritaceum</i>	165	385
	<i>Monas vulgaris</i>	163	360		<i>Vorticella convallaria</i>	552	325
	<i>Monas obliqua</i>	202	200		<i>Vorticella microstoma</i>	214	338
	<i>Bodo edax</i>	11	20		<i>Vorticella campanula</i>	127	244
	<i>Bodo angustus</i>	24	10		<i>Epistylis plicatilis</i>	432	385
	<i>Pleuromonas jaculans</i>	336	160		<i>Epistylis anastatica</i>	261	256
Sarcodina	Total	1,480	2,564	<i>Opercularia coarctata</i>	91	0	
	<i>Amoeba proteus</i>	16	133	<i>Vaginicola striata</i>	16	49	
	<i>Amoeba radiosa</i>	3	6	<i>Aspidisca costata</i>	1,462	1,632	
	<i>Arcella vulgaris</i>	840	791	<i>Aspidisca turrita</i>	778	426	
	<i>Pyxidicula operculata</i>	536	362	<i>Chaetospora mulleri</i>	11	458	
	<i>Euglypha tubercuata</i>	835	230	<i>Eulpotes patella</i>	3	3	
	<i>Actinophrys sol</i>	45	329	Total	6,126	7,175	
Ciliates	Total	2,275	1,851	Metazoa	<i>Rotaria rotatoria</i>	109	128
	<i>Coleps hirtus</i>	51	14		<i>Lepadella acuminata</i>	20	19
	<i>Trachelophyllum pusillum</i>	1,243	1,896		<i>Lecane ohionensis</i>	57	105
	<i>Trachelophyllum clavetum</i>	216	433		Total	186	252

충류가 7속 10종, 육질충류가 1속 2종, 섬모충류가 16속 22종이며, 후생동물은 2속 3종이 출현하였다. 신천처리장의 분포는 편모충류 16%, 육질충류 25%, 섬모충류 66%로 원생동물이 총 개체수의 98%를 차지하며 후생동물이 2%였다. 서부처리장은 편모충류 21%, 육질충류 15%, 섬모충류 58%로 원생동물이 총 개체수의 98%를 차지하며 후생동물이 2%였다.

원생동물의 천이과정

Pilot plant A에서의 원생동물과 섬모충류의 천이과정을 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 무식종의 경우 원생동물 개체수는 18일에 최대 개체수를 나타내며, 편모충류는 초기에 급속히 증가하다가 18일에 최대 값을 나타낸 후 감소하다가 39일부터 변동폭이 적어진다. 육질충류도 편모충류와 비슷한 경향을 나타낸다. 후생동물은 22일부터 나타나기 시작한다. 섬모충류는 꾸준히 증가하다가 36일부터 안정적인 개체수를 나타내며 총 개체수의 70%정도를 구성한다. 섬모충류 내에서는 자유 유형형이 초기에 증가하고, 차츰 고착형과 포복형이 증가하여 천이가 일어난다. 유출수의 BOD는 80 ppm대에서 완만하게 감소하여 36일부터 수질이 안정적인 수치를 나타낸다. BOD의 감소는 섬모충류의 증가와 반비례하며, 섬모충류 내에서는 포복형과 반비례 관계를 나타낸다.

식종의 경우는 원생동물 개체수는 15일에 최대치를 나타내며 36일까지 감소하다가 다소 증가하면서 일정한 개체수

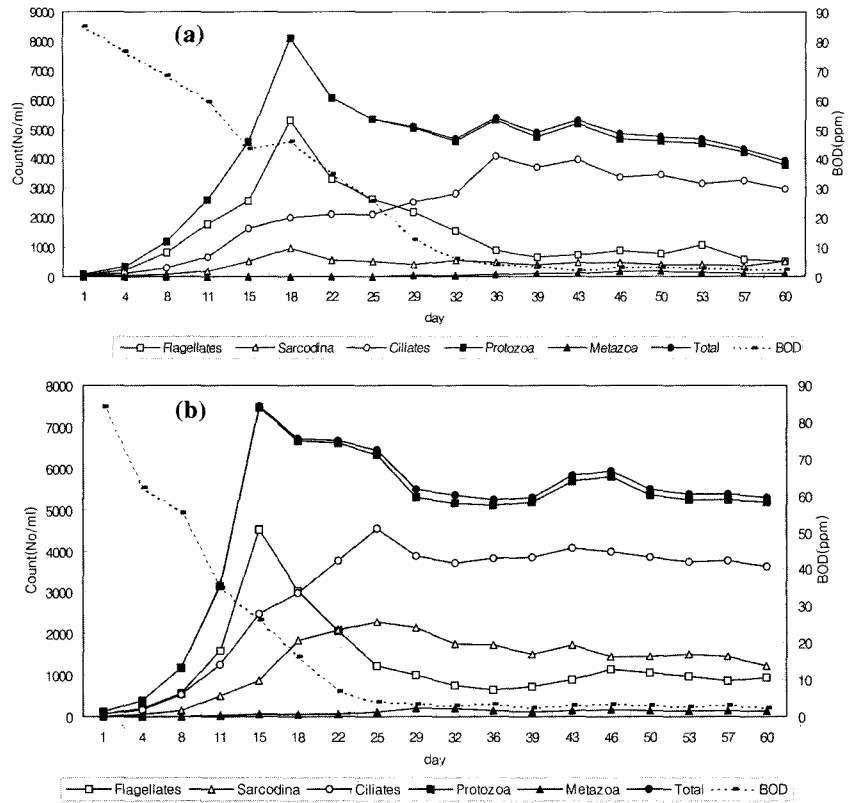


Fig. 2. Protozoa distribution in pilot plant A without sludge inoculation (a) and with sludge inoculation (b).

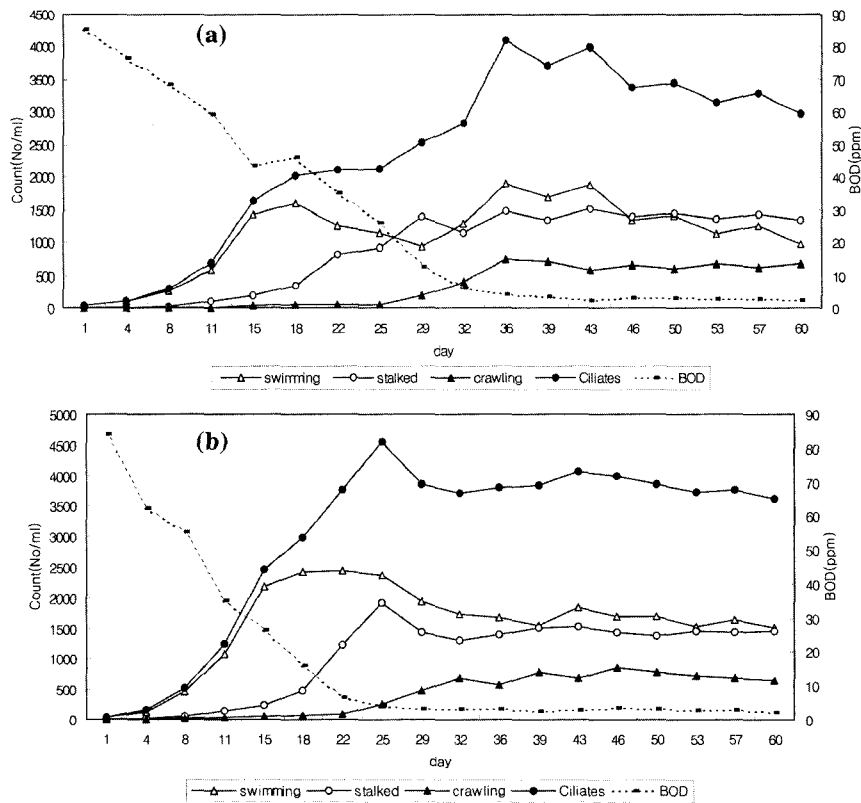


Fig. 3. Succession of ciliates in pilot plant A without sludge inoculation (a) and with sludge inoculation (b).

를 유지한다. 편모충류는 초기부터 15일까지 증가하다가 계속 감소하며, 육질충류도 25일까지 증가하다가 차츰 감소한다. 후생동물은 8일부터 출현하기 시작하여 13일부터 안정적인 개체수를 나타낸다. 섬모충류는 25일까지 증가하다가 32일부터 안정적인 개체수를 나타낸다. 섬모충류에서는 초기에 자유 유영형이 증가하고, 고착형, 포복형의 순으로 개체수 증가가 일어난다. 수질의 경우 유출수의 BOD는 무식종의 경우보다 급속하게 감소하여 29일부터 안정적인 값을 나타낸다. 섬모충류의 증가와 유출수 BOD의 감소가 반비례하는 것은 무식종의 경우와 같으나 섬모충류 내에서는 포복형보다는 고착형과 반비례관계를 나타낸다. Pilot plant A의 식종 및 무식종의 경우 원생동물의 분포형태가 유사하게 나타난다. 초기단계에는 유입수중에 포함된 편모충류 *Oikomonas*와 *Monas*에 의해, 육질충류는 *Amoeba*에 의해 편모충류와 육질충류의 증식이 일어나고, 섬모충류의 증식과 더불어 편모충류와 육질충류의 감소가 시작된다. 섬모충류의 증식은 *Trachelophyllum*, *Cinetochilum*같이 유입수에 포함된 자유유영형 섬모충류의 증식이 먼저 일어나고 차츰 *Aspidisca*를 포함하는 고착형, *Vorticella*, *Epistylis* 등의 포복형 섬모충류로 대체된다. 고착형 섬모충류의 증식이 안정화된 기간은 편모충류가 현저하게 감소되었으며 *Vorticella*, *Aspidisca*, *Epistylis*, *Opercuraria*, *Tokophrya*, *Rotaria* 같이

활성슬러지가 양호할 때 출현하는 원생동물로 구성되는 전형적인 활성슬러지 생물상을 구성하였다. 원생동물의 총 개체수는 운전초기 100 개체/ml가 활성슬러지가 안정화된 후에는 4,000~5,000 개체/ml로 증가하였다. 원생동물의 천이 과정은 가용성 유기물의 감소 및 세균의 존재 상태에 의해 일어난다고 생각된다. 초기에 분산세균을 먹이로 하는 편모충류, 육질충류와 자유유영형 섬모충류가 증가하게 된다. 가용성 유기물의 감소와 포식으로 세균이 플록을 형성하게 되면 침전지의 침전량이 증가하고, 플록화하고 있는 세균만이 선택적으로 포기조로 되돌아가게 된다. 포기조 내 분산세균이 적어지면 먹이 세균을 포획하여 섭식함으로써 포식효율이 낮은 자유 유영형 섬모충류는 생장에 불리하게 되고, 고착형 섬모충류는 여과하여 세균을 섭취함으로써 세균이 상대적으로 적게 존재하여도 생장이 가능하여 경쟁에서 유리하게 된다. 고착형 원생동물은 세균플록에 고착함으로써 생존 장소를 제공받으며, 포복형 원생동물은 세균 플록위를 돌아다니며 먹이를 얻음으로 플록의 반송은 고착형 및 포복형 원생동물의 증식에 극히 유리하게 작용하는 것으로 판단되며, 이러한 방식으로 원생동물의 천이가 일어난다고 사료된다.

Pilot plant B에서의 원생동물과 섬모충류의 천이과정은 Fig. 4와 5에 나타내었다. pilot plant B의 천이과정은 pilot plant A의 과정과 유사하게 나타났다. 편모충류의 증가 후,

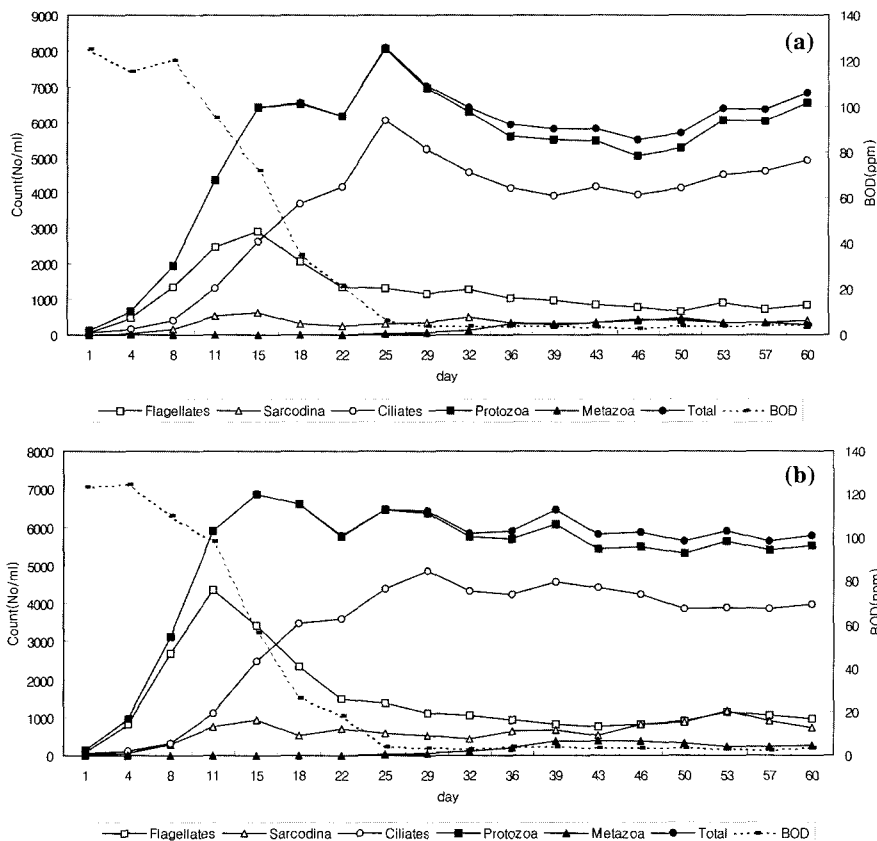


Fig. 4. Protozoa distribution in pilot plant B without sludge inoculation (a) with sludge inoculation (b).

육질충류의 증가가 나타나며, 섬모충류는 초기부터 꾸준히 증가한 후 일정한 개체수를 유지한다. 섬모충류 내에서도 자유 유영형이 증가한 후 고착형과 포복형이 성장한다. 식종의 경우 개체수의 정점 이후의 기간에서 개체수의 변화폭이 적어, 총 개체수 및 섬모충류의 개체수가 정점을 이룬 후 다소 감소하다가 일정한 개체수를 유지하는 무식종과 pilot plant A의 경우와 다른 것이 특징이다. 포복형 섬모충류도 다른 경우와 달리 최고 개체수 이후 개체수가 감소하고 있음을 나타낸다. 유입수의 BOD는 120 ppm부근으로 pilot plant A보다 높은 편이다. 유출수의 BOD감소는 pilot plant A의 식종의 경우처럼 급격하며, 섬모충류의 증가와 유출수 BOD의 감소가 반비례하여 나타남은 pilot plant A와 유사하다. 섬모충류 내에서는 pilot plant A 경우처럼 뚜렷하지는 않지만 포복형 개체수와 유출수 BOD의 농도가 반비례관계이다.

두 pilot plant의 식종과 무식종의 경우 개체수나 그룹사이의 비율은 다르지만 원생동물의 천이과정은 비슷하다. 섬모충류 내에서의 천이과정과 식종과 무식종의 경우 원생동물 구성에 큰 차이가 나타나지 않음은 Madoni의 결과[12]와 일치하며, 활성슬러지 생성과정에서 편모충류에서 각종의 섬모충류로 계속해서 고착형 및 포복형의 섬모충류로 천이하고, 활성슬러지 생물상이 마지막 변화인 것은 일본의 결과 [9]와 같다. 무식종의 경우에도 원생동물의 분포양상은 식종

의 경우와 유사함으로, 포기조의 원생동물은 유입수에 영향을 받으며 식종은 활성슬러지 원생동물의 분포에 영향을 미치지 못하나 식종액 중의 원생동물이 초기부터 증식함으로 활성슬러지의 안정화에 걸리는 기간을 단축하였다. 유입수 중에 나타나지 않은 원생동물이 포기조에 나타남은 유입수 중 평균 개체수가 1개체/ml 미만인 종으로 pilot plant에 유입되어 성장환경에 맞아 증식한 것으로 사료된다. 포기조에 나타나는 종은 모두 담수에 서식하는 종으로 순수 가정하수에는 존재하지 않더라도 하수관로가 지나는 경로에서 관로에 유입되어 처리장에 나타난다고 추정된다.

섬모충류의 분포는 pilot plant 후반기동안 4가지 경우에 섬모충류의 분포는 총 개체수의 70% 전후를 유지하며, 개체수는 3,000~5,000 개체/ml 나타나 활성슬러지법에서 원생동물의 70%가 섬모충류라는 Curd의 연구[3]결과와 정상적으로 가동되는 처리장에서의 섬모충류의 개체수는 약 10⁶개체/l 범위라는 Madoni의 연구[14]와 일치하며, 유출수 BOD농도가 낮은 값을 나타냄으로 정상적으로 가동된다고 판단된다.

섬모충류 하위분류에서의 천이과정은 Fig. 6에 나타내었다. Foissner의 분류[5]에 의한 섬모충류의 주그룹(main group)분포는 pilot plant별로 차이가 나타나, Pilot plant A에는 Heterotrichia와 Nassulida 그룹이 나타나지 않는다. Pilot plant A에서는 Peritrichia가 최고 개체수를 나타낸 후

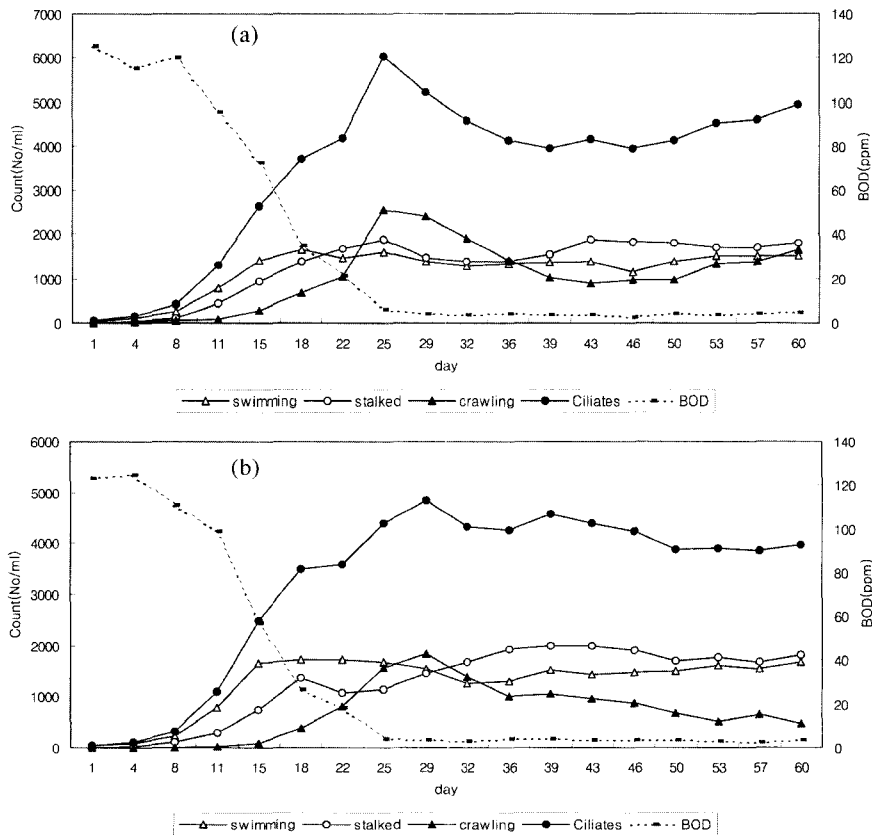


Fig. 5. Succession of ciliates in pilot plant B without sludge inoculation (a) with sludge inoculation (b).

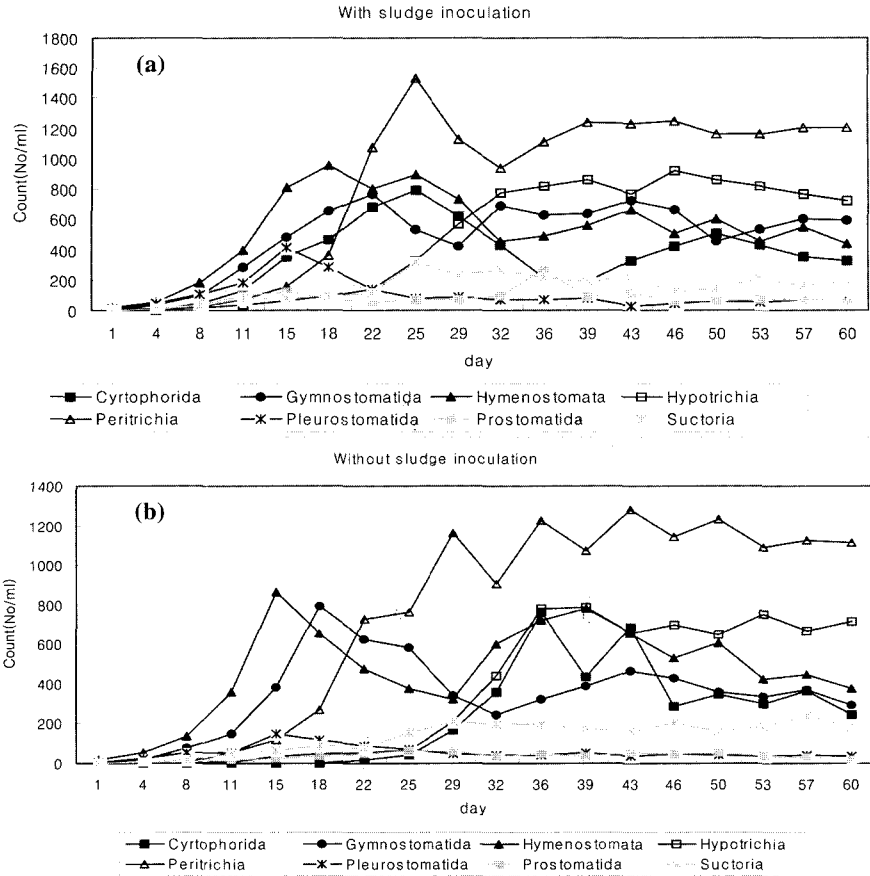


Fig. 6. Succession of main ciliates group in pilot plant A (a) and pilot plant B (b).

최고 개체수 분포를 유지하지만, Pilot plant B에서는, Peritrichia의 1차 증식후 Hypotrichia의 증식이 일어나고 그 후 Peritrichia의 2차 증식이 일어나며 개체수를 유지한다. Pilot plant별로 원생동물 분포에 차이가 나타나는 것은 Al-Shahwani[1]의 보고처럼 유입수의 성상이 달라짐으로 변화된 환경에 적응하는 원생동물 종류에 변화가 생겨 원생동물 군집구조에 차이가 발생한 것이라 사료된다.

요 약

Pilot Plant에서 도시하수가 처리되는 경우와 전 처리된 분뇨가 하수에 섞여 처리되는 두 가지 종류의 처리장하수를 대상으로 식종과 무식종의 경우로 나누어 활성슬러지의 정착 단계까지 조사하였다. 원생동물의 천이과정은 편모충류, 육질충류, 섬모충류 순이며, 섬모충류 내에서는 자유 유영형이 먼저 출현하고 포복형과 고착형이 차츰 증가하여 활성슬러지 원생동물상을 구성한다. 정상적으로 가동되는 처리장 포기조의 원생동물분포는 시운전초기단계의 원생동물 분포와 다르며, 시운전 안정화 단계에서의 원생동물 분포와 유사하였다. 포기조의 원생동물은 유입수에서

유래하는 것으로 판단되며, 포기조에 유입된 후 환경조건에 맞는 종이 증식하여 활성슬러지를 구성한다. 슬러지식종은 활성슬러지 원생동물 군집구조 형성에 영향을 미치지 못했으나 활성슬러지의 안정화기간을 다소 단축시키는 효과가 있었다. 처리장별로 활성슬러지 원생동물의 종류는 비슷하나 개체수는 달라 유입수의 성상에 영향을 받는 것으로 판단된다. Pilot plant 가동 후반기에는 섬모충류 비율이 70%전후, 개체수도 3,000~5,000 개체/ml이며, 유출수의 BOD 농도도 안정적으로 나타나 정상적으로 가동된다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 대구광역시 환경시설공단의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Al-shahwani, S. M and N. J. Horan. 1991. The use of protozoa to indicate changes in the performance of activated

- sludge plants. *Wat. Res.* **25**: 633-638.
2. Chung, J. C. and N. C. Kim. 1995. Types and abundance of filamentous bacteria, protozoa and metazoa in activated sludge. *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **23**: 363-371.
 3. Curds, C. R. 1975. Ecological aspects of used-water treatment. pp. 203-268, *In* The organisms and their ecology. Vol. 1, Academic Press, London.
 4. Curds, C. R. 1982. The ecology and role of protozoa in aerobic sewage treatment process. *Ann. Rev. Microbiol.* **36**: 27-46.
 5. Foissner, W and H. Berger. 1996. A user-friendly guide to the ciliates(Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes, and waste waters, with notes on their ecology. *Freshwater Biol.* **35**: 375-482.
 6. Hwang, U. Y. 1987. Quality determination of the treated waste water in food manufacturing plant. *M. Sc. Thesis*, Konkuk Univ., Korea.
 7. Jahn, T. L., E. C. Bovee, and F. F. Jahn. 1979. *How to know protozoa*, pp. 46-266. 2nd ed. WCB/McGraw-Hill, Iowa, U.S.A.
 8. JWA. 1997. *Microorganism of the aeration tank*. pp. 47-258. Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul.
 9. Kim, N. C. and T. S. Lee. 1995. Activated sludge process, pp. 191-294. *In* Biological wastewater treatment, Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul.
 10. Kim, S. S. 1989. Relationship between water quality index and protozoa at the sewage plant. *M.Sc. Thesis*, Yeungnam Univ., Korea.
 11. MOE. 1999. Water quality pollution examination method. Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul.
 12. Madoni, P. 1982. Growth and succession of ciliates populations during the establishment of a mature activated sludge. *Acta Hydrobiol.* **24**: 223-232.
 13. Madoni, P., D. Davoli, and E. Chierici. 1993. Comparative analysis of the activated sludge microfauna in several sewage treatment works. *Wat. Res.* **27**: 1485-1491.
 14. Madoni, P. 1994. A sludge biotic index(SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. *Wat. Res.* **28**: 67-75.
 15. Moon, K. S., S. M. Kim, M. J. Seok, and C. H. Lee. 2003. Protozoan distribution in Anoxic/Oxic process. *J. KSEE.* **25**: 991-995.
 16. Patterson, D. J. 1996. *Free-Living Freshwater Protozoa*, pp. 23-191. John Wiley and Sons., New York, U.S.A.
 17. Poole. J. E. P. 1984. A study of the relationship between the mixed liquor fauna and plant performance for a variety of activated sludge sewage treatment works. *Wat. Res.* **18**: 281-287.

(Received Dec. 29, 2003/Accepted June 12, 2004)