Kor. J. Microbiol. Biotechnol.
Vol. 31, No. 3, 264–270 (2003)

혐기/무산소/호기공법의 원생동물 군집구조

이찬형* · 문경숙[1]
대구광역시보건환경연구원, [1]대구광역시환경시설공단

Protozoa Structure of Anaerobic/Anoxic/Oxic Process. Lee, Chan-Hyung* and Kyung-Sook Moon[1]. *Public Health and Environment Institute of Daegu City 706-732, Korea, [1]Environmental Installations Corporation of Daegu City 703-825, Korea* – A quantitative survey of the protozoa microfauna at bioreactor of advanced sewage treatment plant was carried out during a period of 11 months. In this study, 32 genera were identified, including 17 ciliates. The abundance of the important protozoa were compared with the operating parameters and water quality of the effluent of the plant using statistical procedure. Statistical analysis revealed a relationship between the abundance of some genera and removal rate. In particular, correlation analysis on the quality of effluent and protozoa indicated that *Lepadella* may be used as the bioindicator of TP removal and *Trochilia, Entosiphon, Colepus* may be used as the bioindicator of TN removal when water temperature was below 20°C.

Key words: Protozoa, sewage plant, anaerobic/anoxic/oxic process

하수의 생물학적 처리는 미생물의 대사기능을 이용하여 유기성 오염물질 및 영양염류를 제거하는 방법의 하나로서, 활성슬러지 생물상이 처리수의 수질을 결정하는 중요한 인자이다. 그러나 지금까지 생물상의 조사결과가 실제 활성슬러지 포기탱크의 유지관리에 많이 반영되지 않고 있는데 이는 생물실험을 측정하는데 시간이 많이 소요되고 실험결과를 유지관리에 바로 적용하기가 어려웠기 때문이다. 미생물을 유지관리 지표로 삼는 것은 관찰에 전문적인 지식을 필요로 하기 때문에 생물상에 의한 관리가 번거로운 일로 인식되어 현장에서 기피하는 경향이 있었다. 그러나 활성슬러지의 유지관리에 원생동물 등을 이용하는 방법은 현미경 관찰만으로도 가능하기 때문에 약간의 노력만 하면 생물학을 전공하지 않은 사람이라도 쉽게 이용할 수 있으며, 정화기능과 유해물질의 유무를 판단하는데 유력한 방법이 될 수 있다. 이미 외국[4, 5, 9, 12]에서는 이러한 지표미생물에 대한 연구가 활발히 진행되어왔고 체계적인 연구나 문헌이 구축되어 있으나 국내에는 황[6]이 서울지역 6개 식품공장을 대상으로 수질과 지표미생물의 분포를 조사하였고, 김[8]이 대구 달서천 하수처리장에서 수질지표와 원생동물과의 회귀분석을 수행하였고, 정[2]이 도시하수처리장 6개소와 산업폐수처리장 5개소를 대상으로 연구하였으나 그 외에는 하폐수처리 관련 연구에서 미생물학 지표에 관한 보고가 거의 없는 실정이다. 국내자료는 표준활성슬러지법을 사용한 처리장의 결과이며, 하천 부영양화의 원인물질인 인 · 질소제거를 위해 설치된 고도처리하수처리장의 연구결과는 없다. 이번 연구에서는 고도처리시설이 있는 대구시 북부하수처리장을 대상으로 2002년 2월부터 12월까지의 수질, 운영조건을 조사하고, 원생동물 및 미소후생동물을 현미경을 통한 형태학적 관찰에 의해 동정, 계수하여 그 결과와 유기물 및 질소, 인 제거와의 상관관계를 분석하였다.

*Corresponding author
Tel: 82-53-760-1321, Fax : 82-53-760-1334
E-mail: chlee@daegumail.net

재료 및 방법

분석 시료

북부하수처리장은 이현천, 팔거천, 매립장 침출수 등의 고농도의 하폐수가 유입되고 있다. 고도처리공법은 생물반응조(Bioreactor)를 혐기조(Anaerobic tank)/무산소조(Anoxic tank)/호기조(Oxic tank)로 나누고, 질산성 질소를 제거하기 위한 내부반송(Nitrifier Recycle)과 2차침전지 슬러지 반송(Return Activated Sludge)으로 구성되어 있다. 혐기성조에서는 혐기성조건에서 인을 방출시켜 호기성조에서 미생물이 과잉섭취(Luxury uptake)할 수 있도록 하며, 무산소조는 호기성조의 내부반송수의 Nitrate를 탈질시키는 역할을 하여 인과 질소를 동시에 제거할수 있다[10]. 분석지점은 1차 침전처리된 생물반응조 유입수, 혐기조, 무산소조, 호기조, 2차 침전후의 유출수를 거의 매주 1회 채수하여 분석을 하였다.

원생동물 동정 및 계수

혐기조, 무산소조 시료는 시료병에 가득 채워 마개를 닫고, 호기조 시료는 시료병에 1/2정도를 채워 넣어 공기와 접

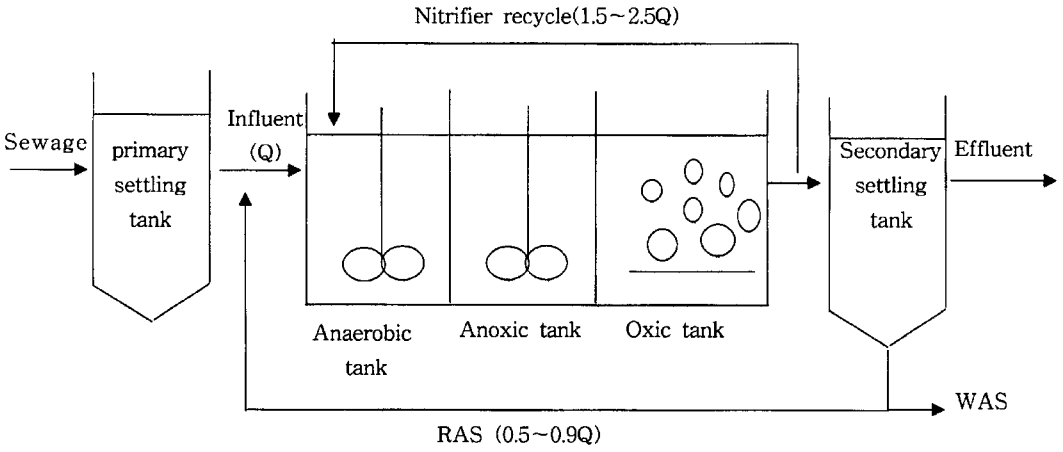

Fig. 1. Schematic diagram of sewage plant.

촉을 유지하도록 한 후 즉시 위상차현미경을 사용하여 검경하였으며 2시간이내에 완료되도록 하였다. 검경은 ×200, ×400배율로 관찰 동정하였으며 동일시료를 2회 측정하여 평균값을 계산하였다. 원생동물 및 미소후생동물의 동정은 일본하수도협회(JWA) 분류기준[7]과 Sudo[15], Sensukun[13], Sharon[14]의 자료에 의해 속까지 동정하였다. 원생동물의 계수는 시료 0.05 ml를 1000개의 구역이 나누어진 슬라이드 글라스에 놓고 100구역에 나타나는 수치를 평균하여 총구역수를 곱하였다. *Epistylis*속, *Opercularia*속 같이 군체를 형성하는 경우에는 각 개체를 1개체로 계수하였다.

이화학적 분석

생물반응조 유입수, 유출수의 BOD, COD, SS, TN, TP, MLSS는 환경부의 수질오염공정시험방법[11]에 의하여 시험하였다. BOD는 윙클러 - 아지드화나트륨 변법에 의해 5일동안 소비된 용존산소량으로부터 계산하였다. 부유물질인 SS(Suspended Solid)는 처리수를 유리섬유여지(GF/C)로 여과한후 항량으로 건조하여 무게를 달아 여과전후의 무게차를 산출하여 구하였다. 포기조내 미생물량을 나타내는 MLSS(Mixed Liquor Suspended Solid)는 포기조액을 유리섬유여지(GF/C)로 여과한후 항량으로 건조하여 무게를 달아 여과전후의 무게차를 산출하여 구하였다. 슬러지 체류시간인 SRT(Sludge Retention Time)는 [생물반응조용적×생물반응조내 MLSS농도÷폐슬러지농도÷폐슬러지유량]으로 구하고, 포기조내 MLSS당 가해지는 BOD무게인 F/M비는 [BOD농도×유입수량÷MLSS농도÷생물반응조용적]으로 계산하였다. 고도처리관련 분석항목인 NH_4-N, NO_3-N, PO_4-P 및 유입수량, 슬러지량 등의 생물반응조 운전조건은 사업소의 월보 데이터를 참고로 하였다.

데이터 분석

데이터의 정리는 엑셀 프로그램을 사용하였고, 원생동물 분포상과 수질과의 관계를 파악하기 위한 상관분석은 SPSS사의 SPSS Program[17](ver 8.0)을 이용하였다.

결과 및 고찰

수질 현황

생물반응조 유입수질, 유출수질 및 제거율은 Fig. 2에 나타내었다.

유입유량은 45,687 m^3/d (39,203 m^3/d~52,960 m^3/d)이며, 생물반응조 유입수질은 8, 9월에 다소 낮으나 월별변화는 크지 않는 편이다. 유출수질은 SS농도가 6, 7월에 일시 증가하였다가 감소하였으며, 다른 항목은 하절기에 감소하였다가 하반기로 접어들면서 오염농도가 증가하고 있다. 유기물 제거율은 BOD가 평균 95.5%로 높은편이며, 월별 변화정도

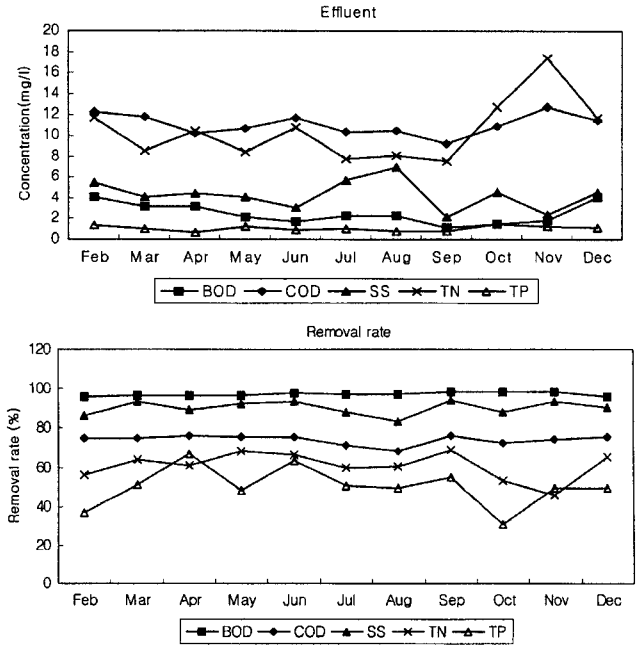

Fig. 2. Water quality and removal rate.

Table 1. Operating parameters.

	Influent (m^3/d)	Water Temp.(°C)	Anaerobic tank DO (mg/l)	Anaerobic tank MLSS (mg/l)	Anaerobic tank ORP	Anoxic tank DO (mg/l)	Anoxic tank MLSS (mg/l)	Anoxic tank ORP	Aerobic tank DO (mg/l)	Aerobic tank MLSS (mg/l)	Aerobic tank SVI	Aerobic tank RAS Rate(%)	Aerobic tank F/M (Δ^1)	Aerobic tank N.RR[2] (%)	Bioreactor SRT(d)
Feb	40966	10.8	0.4	2530	164	0.4	2730	167	9.6	2680	300	68	0.08	250	26.0
Mar	50081	13.0	0.3	2410	160	0.3	2765	60	6.3	2648	335	58	0.08	213	35.9
Apr	43583	18.1	0.3	2560	180	0.3	2510	50	2.8	2680	262	66	0.07	150	45.2
May	45466	20.0	0.4	2535	158	0.4	2455	42	2.5	3028	206	63	0.05	150	35.6
Jun	46097	26.1	0.4	2450	38	0.2	2650	-34	3.8	3160	139	62	0.08	150	31.4
Jul	49479	27.0	0.3	2995	180	0.2	3000	161	5.0	3210	95	61	0.06	150	21.6
Aug	47974	26.9	0.2	2363	169	0.2	2300	152	4.2	2313	120	63	0.07	150	29.9
Sep	47066	23.6	0.2	2820	153	0.2	2953	135	5.8	3288	127	67	0.06	150	31.9
Oct	41479	18.1	0.2	2160	120	0.2	2447	87	6.2	3045	184	69	0.06	188	19.2
Nov	39140	13.7	0.2	2178	103	0.2	2603	59	5.4	2823	226	78	0.07	175	22.9
Dec	41132	11.0	0.2	2080	114	0.2	2258	41	4.0	2485	260	87	0.09	150	16.7
Avg.	44769	18.9	0.3	2462	140	0.2	2606	83	5.0	2851	205	67	0.07	170	28.8
Max.	50081	27.0	0.4	2995	180	0.4	3000	167	9.6	3288	335	87	0.09	250	45.2
Min.	39140	10.8	0.2	2080	38	0.2	2258	-34	2.5	2313	95	58	0.05	150	16.7

[1]kg BOD/kg MLSS · day, [2]Nitrifier Recycle Rate.

는 TP을 제외하고는 안정적인 제거율을 나타낸다.

수온은 10.8~27.0°C범위로 하절기에 상승하였다가 감소하며, 호기조 DO는 2.5~9.6 mg/l로 2월에 높고 5월에 낮게 운전되었다. 호기조 MLSS는 2,313~3,288 mg/l 범위에서 운영되었으며 하반기에 수치가 감소하는 경향을 나타내었다. 월평균 F/M비는 0.05~0.09(kgBOD/kgMLSS·day)로 3월의 경우에는 유량 및 유입수질의 상승으로 인해 상승하였고, 8월의 경우에는 강우에 의한 MLSS농도의 감소로 인해 수치가 상승하였다. 생물반응조SRT는 16.7~45.2일로서 비교적 길게 운전되었으며 수치 변화폭도 크게 나타났다. 그러나 하반기로 갈수록 SRT를 줄이기 위해 잉여 인발량을 늘임으로 SRT 값이 낮아지고 있다.

원생동물 개체수

동정된 원생동물 및 후생동물의 종류는 32속으로 총개체수는 연평균 5,266개체/ml(2,631~9,744)이며, 개체수는 *Trachelophyllum*이 가장 많았다. 종류별로는 편모충류가 6속, 육질충류 3속, 섬모충류 17속, 후생동물이 6속이며, 개체수 비율은 편모충류 11%, 육질충류 7%, 섬모충류 78%, 후생동물이 4%을 차지하여 활성슬러지법에서 원생동물의 70%가 섬모충류로 구성된다는 Curd의 연구[3]와 유사한 결과를 얻었다. 섬모충류중에서는 *Trachelophyllum*이 포함된 나구류와 *Aspidisca*가 포함되는 시모류가 각각 33%, 23%을 차지하여 우점속이었다.

이러한 우점속의 분포는 기존의 연구결과[2, 6, 8]와는 다른

Table 2. Predominant genera. (Unit : No/ml)

	Trachelophyllum	*Aspidisca*	*Vorticella*	*Amoeba*	*Trochillia*	*Epistylis*	*Peranema*	*Lepadella*	Total Number
Feb	3543	1055	1844	504	0	49	16	16	6916
Mar	2077	959	823	604	0	33	125	68	4413
Apr	618	1235	211	0	0	374	49	195	3060
May	413	1590	57	0	12	307	35	111	2631
Jun	4133	41	83	19	0	330	223	88	4037
Jul	884	1420	274	53	347	78	170	233	3749
Aug	1275	715	154	61	529	58	40	17	3420
Sep	819	1212	975	949	865	91	466	0	6203
Oct	1601	1347	312	170	385	127	197	28	5720
Nov	2174	1280	318	498	544	380	61	46	8028
Dec	2925	2319	2001	1053	426	463	14	13	9744
Avg.	1860	1198	641	356	283	208	127	74	5266
Max.	4133	2319	2001	1053	865	463	466	233	9744
Min.	413	41	57	0	0	33	0	0	2631

분포로서 원생동물 구성에 차이가 나타나는데, Al-Shahwani [1]의 보고처럼 유입수의 성상이 달라짐으로 변화된 환경에 적응하는 원생동물 종류에 변화가 생겨 원생동물 군집구조에 차이가 발생한 것이라 사료된다.

공정별 우점종 현황

각 처리장의 월별 원생동물 총 개체수를 공정단계별로 Fig. 3에 나타내었다.

동절기에 개체수가 많고 하절기에 적은 개체수를 나타내고, 혐기조 · 무산소조보다 호기조에서 높은 개체수를 나타내었다. 전체적 개체수의 변동은 *Trachelophyllum*의 개체수 변화에 의한 영향을 받는것으로 보인다. 혐기조는 총개체수가 2,004~8,275(개체/ml), 무산소조는 2,156~7,378(개체/ml), 호기조는 3,120~11,867(개체/ml)로서 호기조는 혐기조 및 무산소조의 1.5배 개체수를 나타내었다. 공정단계별 원생동물의 종류에는 차이가 없으나, 개체수에 있어서는 몇 속의 원생동물들이 뚜렷하게 다른 양상을 나타내었으며 이들 대부분이 호기조에서 높은 개체수를 발생시키고 출현빈도가 높은 원생동물들이므로 이 원생동물속들에 의해 호기조의 개체수가 다른 공정단계에 비해 높게 나타나게 된 것으로 추정된다. *Aspidisca*, *Trachelophyllum*, *Trochilia*가 항상 호기조에서 높은 수치를 나타냈으며, *Amoeba*는 혐기조 및 무산소조에서 높게 나타났다.

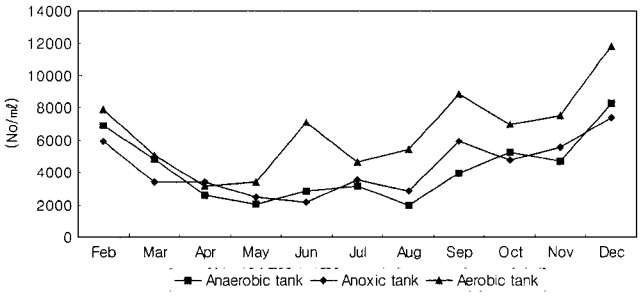

Fig. 3. The number of protozoa.

상관분석

미생물의 총 개체수의 변동은 여러 원인이 있지만, 대상 처리장의 유입수의 변동이 크지않고 운전조건도 큰 변화없이 운전되었으므로, 주요원인을 생물반응조 수온으로 추정하여, 수온 20°C를 기준으로 20°C 이상 및 20°C 미만의 그룹으로 나누어 상관관계를 조사하였다. 양의 상관계수는 0.6 이상, 음의 상관계수 -0.5이하의 데이터를 중심으로 출현빈도가 높은 10종의 미생물 및 상관계수가 매우 높은 소수 미생물과의 상관관계를 조사하였다.

처리수질(효율)과 미생물

수질항목별로 상관계수 경향의 차이가 나타났다. 원생동물의 개체수는 전반적으로 유출수 BOD, SS와는 음의 상관관계가, 유출수 COD, TN, TP농도와는 양의 상관관계가 형성되어 있다. *Litonotus*, *Entosiphon*, *Amoeba*, *Macrobiotus*가 COD농도에 대해 양의 상관관계를 나타내고 있다. *Lepadella*는 TP제거율과 0.60의 높은 상관관계를 나타내었다.

20°C 미만의 경우보다 전반적으로 상관계수가 낮으며 수질항목들에 대해 음의 상관관계가 형성되었다. *Entosiphon*, *Paramecium*은 출현빈도는 낮지만 유출수 TP농도와 양의 상관관계를, TP제거율과 음의 상관관계를 형성함으로 이들 원생동물속의 개체수 증가시에는 유출수 TP가 악화된다는 점에 주의하면서 운전하여야 한다.

운전변수와 미생물

수온은 음의 상관관계를 형성하는 원생동물이 많으며, *Trachelophyllum*, *Amoeba*, *Litonotus*가 높은 수치를 나타내었다. DO가 높은 농도로 운전되고 있어 대부분의 미생물과

Table 3. Correlation coefficients between protozoan number and water quality of effluent (water temperature was under 20°C).

Genus	Effluent (mg/l)					Removal rate(%)				
	BOD	COD	SS	TN	TP	BOD	COD	SS	TN	TP
Aspidisca	0.11	0.03	-0.14	-0.25	0.08	0.02	0.21	0.27	0.53	0.20
Trachelophyllum	-0.14	0.35	-0.24	0.15	0.20	0.27	-0.20	0.19	0.02	-0.19
Vorticella	0.25	0.26	0.21	0.30	0.26	-0.05	-0.22	-0.26	-0.30	-0.21
Epistylis	-0.19	0.17	-0.32	0.40	-0.19	0.11	-0.07	0.28	-0.18	0.12
Rotaria	-0.22	0.14	**-0.49**	0.45	0.01	0.23	-0.13	0.43	-0.17	0.04
Amoeba	-0.13	**0.69**	-0.01	0.44	0.35	0.25	**-0.65**	-0.14	-0.46	-0.45
Lepadella	-0.08	-0.49	-0.35	-0.37	-0.47	0.09	**0.54**	0.44	**0.54**	**0.60**
Peranema	0.30	0.01	-0.04	-0.11	0.00	-0.24	-0.06	0.11	-0.03	-0.22
Trochilia	-0.46	0.22	-0.49	**0.67**	0.15	0.34	**-0.60**	0.16	**-0.54**	-0.42
Litonotus	-0.02	**0.65**	-0.25	**0.77**	0.14	0.00	**-0.60**	0.04	**-0.61**	-0.35
Entosiphon	-0.20	0.45	-0.34	**0.53**	0.09	0.14	**-0.59**	0.15	**-0.59**	-0.29
Colepus	-0.38	0.38	-0.15	**0.60**	0.23	0.25	**-0.63**	-0.11	**-0.68**	-0.45
Macrobiotus	-0.28	0.43	-0.29	**0.50**	0.06	0.16	**-0.60**	0.06	**-0.59**	-0.34

음의 상관관계를 형성하고 있으나, *Vorticella*, *Amoeba*, *Litonotus*는 높은 양의 상관관계를 나타내었다.

F/M과는 전반적으로 낮은 상관을 형성하고 있으나 *Epistylis*와는 -0.50으로 비교적 높은 상관계수가 나타났다. SRT는 상관관계가 낮게 나타나는데 적정 SRT를 벗어난 운전에 의해 상관관계 형성이 어려운 것 같다. SVI와는 *Aspidisca*와 *Rotaria*가 각각 -0.55, -0.52의 상관계수를 얻었다.

ORP(산화환원전위)는 혐기조 운전에 중요한 인자로서 수

Table 4. Correlation coefficients between protozoan number and water quality of effluent (water temperature was more than 20°C).

Genus	Effluent (mg/l)					Removal rate(%)				
	BOD	COD	SS	TN	TP	BOD	COD	SS	TN	TP
Aspidisca	-0.34	**-0.52**	-0.26	-0.05	-0.07	0.18	0.35	0.27	0.12	0.10
Trachelophyllum	-0.08	0.35	-0.12	0.41	0.17	0.13	-0.25	0.01	-0.12	-0.28
Vorticella	-0.25	**-0.54**	-0.39	-0.29	-0.36	-0.04	0.20	0.30	**0.55**	0.27
Epistylis	-0.06	0.34	-0.19	0.38	0.12	0.11	0.01	0.08	-0.22	-0.03
Rotaria	-0.28	-0.01	-0.23	0.15	0.20	0.30	-0.11	0.03	**0.51**	-0.13
Amoeba	-0.48	-0.33	-0.32	-0.07	-0.14	0.30	-0.18	0.20	0.31	-0.04
Lepadella	**0.52**	0.32	0.11	0.14	0.13	-0.22	0.19	0.11	-0.34	0.13
Peranema	-0.33	-0.03	0.03	0.01	0.20	-0.26	**-0.62**	-0.13	-0.04	**-0.55**
Trochilia	0.06	-0.46	0.05	**-0.56**	-0.42	-0.47	-0.07	-0.13	0.18	0.12
Litonotus	-0.23	-0.19	0.09	-0.44	0.14	-0.18	-0.12	-0.20	0.13	-0.17
Entosiphon	-0.24	0.25	0.02	0.26	0.49	0.15	-0.39	-0.18	0.20	**-0.59**
Paramecium	-0.25	-0.02	-0.13	0.23	0.53	0.07	-0.24	0.01	-0.05	**-0.76**

Table 5-a. Correlation coefficients between protozoan number and operating parameters (water temperature was under 20°C).

Genus	Water Temp.	Oxic tank			Bioreactor	
		DO	MLSS	SVI	F/M	SRT
Aspidisca	0.45	-0.43	0.41	**-0.55**	-0.19	0.10
Trachelophyllum	**-0.60**	0.42	0.23	0.25	0.13	0.12
Vorticella	-0.49	**0.63**	-0.34	0.36	0.31	-0.45
Epistylis	0.17	-0.19	0.28	-0.25	**-0.50**	-0.12
Rotaria	0.18	-0.03	0.16	**-0.52**	-0.37	-0.20
Amoeba	**-0.65**	**0.62**	0.16	0.38	0.08	-0.14
Lepadella	**0.52**	-0.30	0.15	-0.08	0.03	0.27
Peranema	-0.37	-0.08	-0.17	0.32	0.19	0.45
Trochilia	-0.20	0.08	-0.04	-0.32	-0.40	-0.33
Litonotus	**-0.60**	**0.64**	-0.10	0.16	-0.18	-0.42
Lecane	-0.17	0.19	-0.13	-0.34	-0.41	-0.39

Table 5-b. Correlation coefficients between protozoan number and operating parameters (water temperature was under 20°C).

Genus	Anaerobic tank	Anoxic tank		Oxic tank		
	ORP	PO_4-P	PO_4-P	NO_3-N	PO_4-P	NH_4-N	NO_3-N
Aspidisca	0.00	0.16	0.22	0.11	-0.15	0.15	0.17
Trachelophyllum	-0.05	-0.18	-0.03	-0.12	0.33	-0.06	-0.05
Vorticella	-0.20	-0.17	-0.07	-0.04	0.29	-0.05	0.01
Epistylis	-0.38	0.19	0.05	0.33	-0.05	-0.11	0.17
Rotaria	-0.49	-0.05	0.02	0.31	0.16	-0.20	0.15
Amoeba	-0.34	-0.33	-0.17	0.20	**0.53**	-0.17	0.20
Lepadella	0.32	**0.66**	**0.71**	-0.23	-0.48	0.28	-0.03
Peranema	0.02	0.08	0.00	0.00	0.20	-0.03	0.04
Trochilia	**-0.79**	-0.29	-0.25	**0.75**	0.45	**-0.54**	0.49
Litonotus	**-0.61**	-0.37	-0.29	0.37	**0.52**	-0.28	0.19
Entosiphon	**-0.53**	-0.21	-0.18	**0.66**	0.32	-0.21	**0.51**
Colepus	**-0.63**	-0.24	-0.20	**0.57**	0.40	-0.38	0.39
Lecane	**-0.68**	-0.24	-0.22	0.48	0.41	**-0.58**	0.25

치가 낮을수록 PO_4-P의 방출이 원활한 조건임을 나타낸다. 혐기조 ORP의 경우, 전반적인 음의 상관관계가 형성되며 *Trochilia*, *Lecane*, *Entosiphon*, *Colepus*가 높은 수치를 나타내었다. 혐기조, 무산소조의 PO_4-P(인산염 인, 용출 인)는 Lepadellap가 각각 0.66, 0.71의 높은 상관계수를 형성하였고 호기조 PO_4-P는 *Ameoba*와 *Litonotus*가 높게 나타났다. 혐기조의 인 방출이 많을수록 호기조에서 인의 과잉섭취로 유출수의 TP제거율이 높아지는데, *Lepadella*은 혐기조, 무산소조의 PO_4-P농도와 유출수의 TP제거율과 높은 상관관계(0.6)를 가지는 것으로 나타나 TP제거율에 대한 지표 미생물로의 가능성이 나타난다. TN제거율과 높은 음의 상관관계를 형성한 *Trochilia*, *Entosiphon*, *Colepus*은 무산소조 NO_3-N농도와 높은 양의 상관관계를 형성하고 있다. 무산소조의 NO_3-N농도는 호기조에서 질산화된 질소성분이 무산소조에서 탈질된 후 남아 있는 질소농도를 의미하는 것이므로 무산소조 NO_3-N농도는 유출수의 TN농도의 상승을 초래하게 되는데, NO_3-N농도 증가와 *Trochilia*, *Entosiphon*, *Colepus*의 개체수증가가 비례하고, TN제거율이 반비례하므로 TN제거율의 지표미생물로의 가능성이 추정된다.

수온은 20°C 미만의 경우같이 전반적으로 음의 상관관계이며, *Peranema*는 -0.61, *Entosiphon*는 -0.60을 나타내었다. DO는 전체적으로 양의 상관이나 상관계수가 낮게 나타났다. F/M는 음의 상관관계를 나타내며, *Peranema*는 -0.57의 수치를 나타내었다. Epistylis는 SVI와 0.65로 양의 상관관계를 나타내었다.

ORP는 20°C미만의 경우와 같이 전체적으로 음의 상관관계가 형성되었으나 높은 수치는 나타나지 않았다. PO_4-P는 20°C 미만의 경우와 같이 *Lepadella*와 혐기조의 PO_4-P농도가 높은 0.66의 높은 상관계수를 나타냈으나 TP제거율이 0.1로 상관관계가 낮게 나타나 지표미생물로 활용이 어렵다. NH_4-N, NO_3-N의 경우는 20°C 미만에서 높게 나타났던 *Trochilia*, *Entosiphon*, *Colepus*의 상관관계가 낮게 나타났다. *Peranema*는 호기조 NO_3-N농도와 높은 상관계수가 형성되었으나 수질과의 연관성은 낮았다. 상관분석의 결과 20°C미만의 자료에서 *Lepadella*가 TP제거율에 대한 지표 미생물로의 가능성이 나타나며, *Trochilia*, *Entosiphon*, *Colepus*는 TN제거율의 지표미생물로의 가능성이 추정된다. 수온이 20°C 이상 인 5월부터 9월까지 기간은 각 속의 개체수가 20°C 미

Table 6-a. Correlation coefficients between protozoan number and operating parameters (water temperature was more than 20°C).

Genus	Water temp.	Oxic tank			Bioreactor	
		DO	MLSS	SVI	F/M	SRT
Aspidisca	-0.14	0.33	-0.20	-0.01	-0.07	-0.08
Trachelophyllum	0.06	-0.27	0.33	0.01	-0.16	0.41
Vorticella	-0.13	0.37	0.23	-0.13	-0.38	0.10
Epistylis	-0.07	-0.21	0.12	**0.65**	-0.13	0.19
Rotaria	-0.42	0.33	0.38	0.14	-0.19	0.38
Amoeba	-0.42	0.20	0.14	-0.03	-0.12	0.16
Lepadella	0.43	-0.33	0.30	-0.09	-0.03	0.14
Peranema	**-0.61**	0.29	**0.52**	0.04	**-0.57**	0.15
Trochilia	0.06	0.10	0.01	-0.28	-0.35	-0.38
Litonotus	-0.23	0.40	-0.09	-0.10	-0.34	-0.20
Entosiphon	**-0.60**	0.15	0.16	**0.56**	-0.22	-0.30
Paramecium	-0.44	-0.04	**0.55**	0.34	-0.35	0.06

Table 6-b. Correlation coefficients between protozoan number and operating parameters (water temperature was more than 20°C).

Genus	Anaerobic tank	Anoxic tank		Oxic tank		
	ORP	PO_4-P	PO_4-P	NO_3-N	PO_4-P	NH_4-N	NO_3-N
Aspidisca	0.09	-0.47	-0.34	0.16	0.01	0.05	-0.20
Trachelophyllum	-0.44	-0.04	-0.22	0.01	0.08	-0.23	0.27
Vorticella	-0.02	-0.28	-0.33	0.13	-0.30	-0.08	-0.01
Epistylis	-0.32	0.02	0.03	-0.09	0.29	-0.06	0.24
Rotaria	-0.21	0.03	-0.05	0.26	0.16	-0.14	0.41
Amoeba	-0.28	-0.21	-0.21	0.02	-0.08	-0.13	0.12
Lepadella	0.32	**0.66**	0.34	-0.47	0.33	0.39	-0.20
Peranema	-0.06	0.11	0.36	0.26	-0.01	0.28	**0.53**
Trochilia	0.18	-0.21	-0.11	0.10	-0.15	-0.21	-0.16
Litonotus	0.02	-0.09	0.13	0.11	0.07	-0.09	-0.17

만보다 낮음으로 개체수의 변동을 상관관계로 파악하기는 어려운 것으로 사료된다. 생물반응조는 수많은 미생물들이 성장하는 혼합배양계이므로 여러 변수의 복합적인 작용이 나타난다. 하수처리장에서 미생물상을 조절하는 주요한 운전변수로는 1) BOD부하, 2) 생물반응조나 포기조의 온도, pH와 DO, 3) SRT, 4) 미생물량(Biomass)와 미생물의 활동성 5) 포기조내 교반등을 들 수 있다[16]. 이번 조사연구는 하수처리장 운전조건을 임의로 조정한 것이 아니고 하수처리장 운전에 따른 원생동물상을 조사하여 각 변수와 상관계수가 비교적 낮게 나타났으나, 이 결과를 통해 하수처리장의 연간 원생동물상의 변화를 파악할 수 있었으며, 하수처리장의 원생동물 군집구조분석을 위해서는 운전조건을 임의로 변경 · 운영에 따른 원생동물상변화에 대한 연구가 수행되어야 된다고 사료된다.

요 약

1. 북부 하수처리장에서 동정된 원생동물 및 후생동물의 종류는 32속으로 섬모충류는 17속이었다. 총 개체수는 연평균 5,266개체/ml(2,631~9,744)이며, 속별 개체수는 *Trachelophyllum*이 가장 많았다. 종류별로는 편모충류가 6속(11%), 육질충류 3속(7%), 섬모충류 17속(78%), 후생동물이 6속(4%)이며, 섬모충류는 나구류와 시모류가 각각 33%, 23%을 차지하였다. 총 개체수는 하절기에 감소하고 동절기에 상승하는 경향을 나타내었다. 2. 수온 20°C 미만인 경우, 속별 개체수와 유출수 BOD, SS농도는 음의 상관관계가 형성되고, 속별 개체수와 유출수 COD, TN, TP농도는 양의 상관관계가 형성되었다. 상관분석의 결과 20°C미만의 자료에서 *Lepadella*가 TP제거율에 대한 지표 미생물로의 가능성이 나타나며, *Trochilia*, *Entosiphon*, *Colepus*는 TN제거율의 지표미생물로의 가능성이 추정된다. 3. 수온 20°C 이상인 경우, 20°C 미만인 경우보다 상관계수가 낮았으며, 전반적으로 속별 개체수와 수질 항목이 음의 상관관계를 형성하였다. *Entosiphon*, *Paramecium*은 출현빈도는 낮지만 유출수 TP농도와 양의 상관관계를, TP제거율과 음의 상관관계를 형성함으로 이들 원생동물속의 개체수 증가시에는 유출수 TP가 악화된다는 점에 주의하면서 운전하여야 한다.

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. 1970. Protozoa. p. 203-268. *In Ecological aspects of used water treatment.* Academic process, London.
4. Curds, C. R. and A. Cockburn. 1970. Protozoa in biological sewage treatment processes: Protozoa as indicators in the activated sludge process. *Wat. Res.* **4**: 273-249.
5. Curds, C. R. 1982. The ecology and role of protozoa in aerobic sewage treatment process. *Ann. Rev. Microbiol.* **36**: 27-46.
6. Hwang, U. Y. 1987. Quality determination of the treated waste water in food manufacturing plant. *M. Sc. Thesis*, Konkuk Univ., Korea.
7. JWA. 1997. *Microorganism of the aeration tank.* Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul.
8. Kim, S. S. 1989. Relationship between water quality index and protozoa at the sewage plant. *M. Sc. Thesis*, Yeungnam Univ., Korea.
9. 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.
10. Metcalf and Eddy. 1991. Advanced wastewater treatment. p.651-744. *In* Wastewater engineering. McGraw-Hill, Inc., New York.
11. MOE. 1999. *Water quality pollution examination method.* Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul.
12. 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.
13. Sensukun, K. 1979. Controlling by activated sludge biota. p16-85. Seowon environmental institute. Tokyo, Japan.
14. Sharon, G. B. and J. H. Gunderson. 1993. *Wastewater organisms.* Lewis Publishers, New York.
15. Sudo, R. 1975. Diagnosis of treating efficiency using activated sludge biota. Invesigation association of industrial water. Tokyo, Japan.
16. Sudo, R. 1991. Prospect and problem of biological wastewater treatment technology. J. KSWPRC. **7**: 193-199
17. Yoo, D. K. and Y. S. Kwan. 1999. *SPSSWIN 8.0 for statistics analysis.* Kihanjae Press. Seoul.

(Received April 10, 2003/Accepted July 23, 2003)