

원생동물을 이용한 하수처리장의 수질 예측

이찬형* · 문경숙¹

대구시 보건환경연구원, ¹대구시 환경시설공단

Protozoa as an Indicator of Activated In Sludge Plant Effluent Quality. Lee, Chan-Hyung* and Kyung-Sook Moon¹. Public Health and Environment Institute of Taegu City, 706-090, Korea, ¹Environmental Installations Corporation of Taegu City, 703-825, Korea – Genera and number of protozoa were investigated in the conventional activated sludge pilot plant used for the treatment of municipal sewage and pre-treated night soil-containing sewage. In both cases, the predominant protozoa was ciliates and among them, *Vorticella* was the most common. In the pilot plant where pre-treated night soil was mixed with municipal sewage, genera of free-swimming ciliates, flagellates and amoeba was higher than in those without night soil. Correlation analysis on the quality of effluent and protozoa indicates that municipal sewage has positive correlation with protozoa. However, in the pilot plant of sewage containing pre-treated night soil more samples show negative correlation. Followed equations were derived by the regression analysis of BOD in both the pilot plants. In case of pilot plant A of municipal sewage, the analysis of BOD showed $4.490 \times 10^{-4} \times \text{Total} + 5.772 \times 10^{-3} \times \text{Amoeba} + 1.892$ (Adjusted $R^2=0.995$) and in case of pilot plant B of municipal and pre-treated night soil-containing sewage, the analysis of BOD was $6.731 \times 10^{-2} \times \text{Bodo} + 0.306$ (Adjusted $R^2=0.864$). At low temperature, number of protozoa was decreased to 35% and among them, *Aspidisca* was the most common genus. Therefore, protozoa can be used as indicator of quality of the effluent in sewage treatment plants.

Key words: Protozoa, sewage, activated sludge, ciliates

수질오염을 방지하기 위하여 하수처리장이 건설되고 있으며, 전국 하수처리장의 90% 이상이 활성슬러지법을 처리 공법으로 채택하고 있다. 활성슬러지는 혼합 배양계로서 세균 또는 균류로 구성되며 원생동물 및 후생동물을 종속생물로 이루어진 생물군집이다. 원생동물은 활성슬러지 미생물의 5%를 차지하며, 분포나 개체수는 세균의 구성에 의존하고, 처리수의 수질과도 관련이 있다. 원생동물의 지표 미생물로서의 가능성은 활성슬러지법 시행초기부터 인식되었다. 1970년에 Curds와 Cockburn[4]은 영국내 56개 활성슬러지처리장 처리수의 월별 평균 BOD와 섬모충류 분포의 관련성을 조사한 후 34개 처리장에 적용하여 83%의 월별 BOD 예측율을 보고하였다. Al-shahwani와 Horan[1]은 포기조 원생동물 군집구조에 기초하여 하수처리장 운영과 방류수 수질을 예측하기 위하여 중회귀분석을 하였다. 포기조 내 원생동물의 분포를 알면 처리장의 처리기능이나 관리 불량여부를 유추할 수 있으며 다른 지표들보다 빠르고 손쉽게 처리상황을 파악할 수 있다. 이러한 활성슬러지 원생동물에 관한 생태학적 분류학적 연구는 대부분이 외국에서 보고된 것이다. 국내에서는 Hwang[6]이 서울지역 6개 식품공

장을 대상으로 수질과 지표미생물의 분포를 조사하였고, Kim[8]이 대구 달서천 하수처리장에서 수질지표와 원생동물과의 회귀분석을 수행하였으나 그 외에는 하폐수처리 관련 연구에서 미생물학 지표에 관한 보고가 거의 없는 실정이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 국내 하수처리장의 포기조내의 변화와 수질의 현황을 지표미생물의 분포, 즉 원생동물과 하수처리에 자주 출현하는 후생동물인 윤충류를 이용하여 신속하게 파악하고 효율적인 처리장 운영에 기초자료로 이용하고자 하였다.

재료 및 방법

Pilot Plant

국내 하수처리장의 대표적 처리조건인 도시 하수가 유입되는 경우와 전처리 된 분뇨가 하수에 연계 처리되는 경우를 실험조건으로 하여 Pilot Plant 실험을 하였다. Fig. 1과 같은 Pilot Plant를 제작하여 하수처리장의 여름철 포기조 평균수온인 25°C 유지를 위하여 항온실에 설치하였다. 포기조(Aeration Tank)에서는 포기조 미생물이 호기성조건에서 유입수와 생물학적으로 반응하여 유기물의 산화 및 제거가 일어나며 침전조(Settling Tank)로 월류된다. 침전조에서는 중력침전에 의해 미생물은 바닥에 가라앉는데 경사가 있으므로 포기조 하부로 유입되어 포기조 미생물로 재공급

*Corresponding author

Tel. 82-53-760-1264, Fax. 82-53-760-1333

E-mail: chlee@mail.metro.taegu.kr

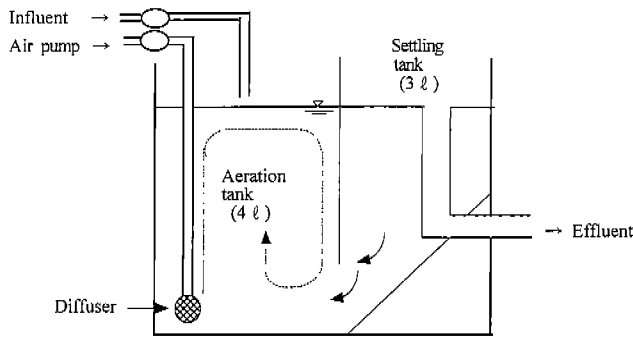


Fig. 1. Schematic diagram of pilot plant.

Table 1. The main characteristics of the two sewages used in this study

Characteristics	Sewage used	
	pilot plant A	pilot plant B
Sewage type	Municipal	Municipal+ pre-treated night soil
Influent BOD ¹⁾ (mg/l)	47.3	129.5
Influent SS ²⁾ (mg/l)	53.7	147.3
Average MLSS ³⁾ (mg/l)	720	1350
SRT ⁴⁾ (day)	8.5	7.4
F/M ⁵⁾ (kgBOD/kgMLSS)	0.09	0.12
Effluent BOD (mg/l)	3.5	8.4

- 1) BOD means Biochemical Oxygen Demand.
- 2) SS means Suspended Solid.
- 3) MLSS means Mixed Liquor Suspended Solid.
- 4) SRT means Sludge Retention Time.
- 5) F/M means Food / Microorganism.

된다. 침전조 상부의 처리수는 외부로 방류된다. 실험하수로는 대구시 A처리장과 B처리장의 1차 침전지를 거친 하수를 실험의 유입수로 사용하였다. A처리장은 유입수중 대부분이 도시 생활하수로 구성되어 처리되며, B처리장은 전처리된 분뇨와 도시 생활하수가 섞여서 처리된다. 처리장의 유입수 성상은 Table 1에 나타내었다. Pilot Plant A는 A처리장의 포기조 미생물을 식종하고 A처리장 하수를 유입시켜 안정화시킨 후 시료채집을 하여 분석하였다. Pilot Plant B도 동일한 방법으로 분석하였다. 수온변화에 따른 영향을 보고자 겨울철 포기조 평균 수온인 9°C에서도 실험을 하였다.

시료채집

유입수, 포기조, 침전지처리수를 매주 2회 채수하여 이화학적분석을 하였다. 현미경적 관찰은 위상차 현미경을 사용하여 즉시 하였으며 1시간 이내에 완료되도록 하였다.

원생동물 동정 및 계수

포기조 시료의 원생동물에 대한 동정은 일본하수도협회

(JWA) 분류기준[7]과 Sharon과 Gunderson[15]의 도감에 의해 속까지 동정하였다. 원생동물의 계수는 시료 1 ml를 1000개의 구역이 나누어진 Sedgwick-Rafter chamber에 놓아 100구역에 나타나는 수치를 평균하여 총구역수를 곱하였다. *Epistylis*속, *Opercularia*속 같이 군체를 형성하는 경우에는 각 개체를 1개체로 계수하였다.

이화학적 분석

BOD, SS, MLSS는 환경부의 수질오염공정시험방법[11]에 의하여 시험하였다. SRT, F/M비는 운영자료를 토대로 하여 계산하였다. BOD는 윙클러-아지드화나트륨 변법에 의해 5일동안 소비된 용존산소량으로부터 계산하였다. 부유물질인 SS(Suspended Solid)는 유입수와 침전지처리수를 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 [포기조용적 × 포기조내 MLSS농도 ÷ 폐슬러지농도 ÷ 폐슬러지유량]으로 구하고, 포기조내 MLSS당 가해지는 BOD무게인 F/M비는 [BOD농도 × 유입수량 ÷ MLSS농도 ÷ 포기조용적]으로 계산하였다.

데이터 분석

데이터의 정리는 엑셀 프로그램을 사용하였고, 원생동물 분포상과 수질과의 관계를 정량화하기 위한 상관분석과 회귀분석 등 통계처리는 SPSS사의 SPSS Program(ver 8.0)을 이용하였다.

결과 및 고찰

원생동물의 개체수 및 종류

약 40회의 시료채집 결과로 나타난 원생동물 속 개체수의 평균치를 Table 2에 나타내었다. 출현속들 중 개체수가 50개/ml이상인 속들만 나타내었다.

포기조에 나타나는 원생동물 개체수는 도시하수가 유입되는 Pilot Plant A의 경우 330~7465개/ml범위이며, 평균은 3461개/ml이다. 전처리된 분뇨가 하수와 연계처리되는 Pilot Plant B는 3255~7150개/ml 범위이고 평균은 5660개/ml이다. 출현 원생동물 속은 섬모충류가 80%이상을 차지하였고, 그 중에서도 *Vorticella*속이 가장 많았다. 활성슬러지법에서 섬모충류가 대부분을 차지하는 경우는 대부분의 문헌[10,13,14]과 Kim[8], Hwang[6]의 결과와는 일치하지만, Curds[3]의 출현 원생동물 중 섬모충류가 70%정도 나타난다는 결과보다 높은 수치이다. 섬모충류 중에서는 *Vorticella*속, *Zoothamnium*속, *Carchesium*속 같은 고착형 섬모충류

Table 2. Number of protozoa at each aeration tanks of the pilot plants

Genus	Count (No./ml)	
	Pilot Plant A of municipal sewage	Pilot Plant B of municipal and pre-treated night soil-containing sewage
Flagellate		
<i>Bodo</i>	102	126
<i>Monas</i>	86	265
Sarcodina		
<i>Amoeba</i>	91	459
Ciliate		
<i>Trachelophyllum</i>	188	484
<i>Litonotus</i>	313	709
<i>Chilodonella</i>	255	521
<i>Vorticella</i>	638	1000
<i>Zoothamnium</i>	361	486
<i>Carchesium</i>	380	211
<i>Epistylis</i>	391	416
<i>Opercularia</i>	253	417
<i>Aspidisca</i>	135	292
Rotifer		
<i>Rotaria</i>	142	142
<i>Lecane</i>	126	132

가 *Trachelophyllum*속, *Litonotus*속 같은 자유유영형 섬모충류수보다 많았다. 도시 하수가 유입되는 Pilot Plant A에서는 자유유영형 섬모충류가 26%이지만, 전처리 된 분뇨가 섞여 들어오는 Pilot Plant B는 38%로 자유유영형 섬모충류의 출현빈도가 증가하였다. 이러한 점은 BOD 부하가 높은 처리장의 경우 자주 나타나는 현상으로 자유유영형 섬모충류는 먹이 세균을 포획하여 섭식함으로써 효율이 낮아 세균이 많이 존재하는 BOD 부하가 높은 곳에 분포비가 크다[9]. 고착형 섬모충류는 여과하여 세균을 섭취함으로써 세균이 상대적으로 적게 존재하여도 생장이 가능하여 BOD 부하가 적은 처리장에 존재비가 높다. 편모충류와 아메바의 분포비는 도시하수가 유입되는 Pilot Plant A의 경우 8%이며, 전처리된 분뇨가 섞여 들어오는 Pilot Plant B는 15%정도로 2배 가량 높다. 이러한 결과는 Curds[4]의 연구에서 편모충류와 최종 유출수의 높은 BOD 사이에는 상관성이 양호했으며, Hawkes[5]의 연구에서는 편모충류와 아메바가 수질정화정도가 낮을 때 많이 나타난다고 보고한 결과와 일치한다.

수질과의 관련성

수질과 원생동물 군집간의 관련성을 알아보기 위하여 처리수의 BOD와 원생동물의 분포를 Table 3과 4에 각각 나타내었다.

전반적으로는 방류수의 BOD가 증가할수록 원생동물 개체수는 증가하는 경향을 나타내는데, 도시하수가 유입되는 Pilot Plant A는 BOD가 2ppm일 때 330개/ml 나타나며, BOD가 증가할수록 출현 원생동물수가 증가하였다. 분뇨가 섞여

들어오는 Pilot Plant B는 BOD 8ppm을 정점으로 양쪽으로 갈수록 개체수가 낮아지는 종 모양의 분포를 보였다. 후생동물인 운충류도 원생동물과 비슷한 분포를 나타낸다. Pilot Plant A에서는 유출수의 BOD가 2, 6, 7 ppm을 나타내는 경우는 각각 2, 3, 1회로 전체 41회 중 15%를 차지하며, Pilot Plant B에서도 유출수의 BOD가 4, 14 ppm인 경우가 각각 2, 4회로 전체 40회 중 15% 출현정도를 보였다. 유출수 BOD 범위의 양 끝부분을 제외한 범위에서 원생동물의 개체수와 출현속의 변화는 크게 나타나지 않는데 수온과 운전조건을 일정하게 유지하고 일차 침전을 거친 하수를 유입수로 사용함으로써 유입수의 정상변화가 크지 않은데 기인한 것으로 보여진다.

통계분석

수질지표인 BOD와 출현 원생동물간의 관련성을 알아보기 위하여 상관관계분석을 실시하였다 (Table 5).

도시 하수가 유입되는 Pilot Plant A는 상관계수가 0.9이상인 양의 상관관계를 나타내는 경우가 많았으며, 분뇨가 연계처리되는 Pilot Plant B는 BOD가 증가할수록 개체수가 적어지는 음의 상관관계를 나타내는 경우가 양의 상관관계를 나타내는 경우보다 다소 많았다. Pilot Plant A에서는 BOD가 증가할수록 원생동물 개체수가 증가함으로 높은 양의 상관관계가 나타났으며, Pilot Plant B는 종 모양의 분포이므로 속에 따라 양과 음의 상관관계를 나타내며 상관계수도 일정하지 않았다. 원생동물 분포와 수질과의 관계를 찾기 위해 상관계수가 0.9이상인 원생동물속과 BOD간의 회귀분석을 실시하였다[2,16]. 변수투입방법으로는 단

Table 3. Protozoa distribution as a function of effluent BOD in pilot plant A of municipal sewage

Genus	Effluent BOD (ppm)					
	2	3	4	5	6	7
Flagellate						
<i>Bodo</i>	10	35	65	210	280	394
<i>Monas</i>	15	66	67	100	220	297
Sarcodina						
<i>Amoeba</i>	0	19	40	160	380	584
Ciliate						
<i>Trachelophyllum</i>	25	53	149	396	413	625
<i>Litonotus</i>	20	146	313	486	697	536
<i>Chilodonella</i>	15	34	333	449	357	486
<i>Vorticella</i>	75	255	755	856	1290	1008
<i>Zoothamnium</i>	25	78	373	780	570	682
<i>Carchesium</i>	70	141	426	590	697	712
<i>Epistylis</i>	15	278	389	700	350	486
<i>Opercularia</i>	5	64	297	380	567	483
<i>Aspidisca</i>	15	57	89	237	390	578
Rotifer						
<i>Rotaria</i>	25	74	161	203	190	336
<i>Lecane</i>	15	88	146	143	147	258
Total	330	1388	3603	5690	6548	7465

Table 4. Protozoa distribution as a function of effluent BOD in pilot plant B of municipal and pre-treated night soil-containing sewage

Genus	Effluent BOD (ppm)					
	4	6	8	10	12	14
Flagellate						
<i>Bodo</i>	88	73	103	127	179	205
<i>Monas</i>	85	274	140	378	263	370
Sarcodina						
<i>Amoeba</i>	155	231	374	464	780	650
Ciliate						
<i>Trachelophyllum</i>	270	441	382	761	469	255
<i>Litonotus</i>	380	563	685	782	866	735
<i>Chilodonella</i>	240	389	556	691	446	515
<i>Vorticella</i>	440	1169	1355	1043	837	278
<i>Zoothamnium</i>	450	641	858	419	159	45
<i>Carchesium</i>	440	299	155	283	126	55
<i>Epistylis</i>	420	357	733	385	151	265
<i>Opercularia</i>	155	380	684	303	456	160
<i>Aspidisca</i>	390	480	372	256	146	60
Rotifer						
<i>Rotaria</i>	155	254	161	90	108	83
<i>Lecane</i>	50	70	250	149	86	28
Total	3718	5621	6808	6131	5072	3704

계별로 독립변수의 유의도에 따라 최적화되도록 투입하는 방법인 단계별(stepwise)회귀를 사용하였다. 회귀분석결과로 Pilot Plant A는 $BOD = 4.490 \times 10^{-4} \times Total + 5.772 \times 10^{-3} \times Amoeba + 1.892$ (Adjusted $R^2 = 0.995$)이며, Pilot Plant B

는 $BOD = 6.731 \times 10^{-2} \times Bodo + 0.306$ (Adjusted $R^2 = 0.864$)의 회귀방정식을 얻었다. 회귀선의 수정결정계수(Adjusted R^2)가 0.995와 0.864로 Kim[8]의 경우보다 높고, 독립변수가 하나 또는 두 개로서 현장적용이 용이하다. Pilot Plant A

Table 5. Correlation coefficients between protozoa genus and effluent BOD

Genus	pilot plant A ¹⁾	pilot plant B ²⁾
<i>Bodo</i>	0.972**	0.944**
<i>Monas</i>	0.944**	0.732
<i>Amoeba</i>	0.932**	0.936**
<i>Trachelophyllum</i>	0.971**	0.113
<i>Litonotus</i>	0.925**	0.856*
<i>Chilodonella</i>	0.896*	0.584
<i>Vorticella</i>	0.914*	-0.268
<i>Zoothamnium</i>	0.877*	-0.697
<i>Carchesium</i>	0.966**	-0.881*
<i>Epistylis</i>	0.679	-0.475
<i>Opercularia</i>	0.945**	-0.034
<i>Aspidisca</i>	0.961**	-0.927**
<i>Rotaria</i>	0.955**	-0.727
<i>Lecane</i>	0.928**	-0.106
Sample size	41	40

*: Indicates that correlation coefficient is significant at a level of 0.05.

** : Indicates that correlation coefficient is significant at a level of 0.01.

1) Municipal sewage without pre-treated night soil was stabilized in the pilot plant A and each protozoa was detected in its effluent BOD.

2) Municipal sewage with pre-treated night soil was stabilized in the pilot plant B and each protozoa was detected in its effluent BOD.

경우는 수정결정계수가 높지만 기온기가 적은데, 이는 BOD의 범위가 5로 좁기 때문인 것 같다. Pilot Plant B는 수정결정계수가 Pilot Plant A보다는 낮지만 BOD의 범위가 10으로 상대적으로 넓기 때문에 실제 적용하기에는 더 적합한 것으로 사료된다. 두 경우의 지표미생물이 다르고 Kim [8]의 경우도 *Vorticella*속이 지표 미생물이므로, Al-shahwani와 Horan[1]의 연구결과처럼 유입수의 성상이 원생동물군집의 구조결정에 있어 중요한 역할을 하여 지표 미생물이 달라짐을 알 수 있다.

저수온에서의 원생동물 분포

실제 하폐수처리장에서 원생동물의 분포는 계절에 따라 다르게 나타나며 Kim[8]은 수온이 그 변동조건의 유발인자라고 보고하였다. 수온에 따른 원생동물의 분포를 조사하고자 수온을 겨울철 평균수온인 9°C로 조정하여 그 결과를 Table 6에 나타내었다. 겨울철 평균수온인 9°C의 경우에는 원생동물의 수가 35 %로 줄어들며, 포기조 1 ml 당 50개 체이하의 속수가 4속이며 100개체이하의 속 수는 10속이다. 우점 원생동물은 25 °C에서는 *Aspidisca*속이 가장 많았다. *Aspidisca*속은 수온이 낮을 때 개체수가 증가하는 특이한 현상을 보였는데, *Aspidisca*속은 규모가 발달해 있어 활성슬러지 플록 위를 포복하여 이동하고 플록에서 먹이를 구

Table 6. Protozoa distribution as a function of water temperature in pilot plant A of municipal sewage

Genus	Count (No./ml)	
	25°C	9°C
Flagellate		
<i>Bodo</i>	102	74
<i>Monas</i>	86	31
Sarcodina		
<i>Amoeba</i>	91	11
Ciliate		
<i>Trachelophyllum</i>	188	52
<i>Litonotus</i>	313	46
<i>Chilodonella</i>	255	52
<i>Vorticella</i>	638	216
<i>Zoothamnium</i>	361	71
<i>Carchesium</i>	380	103
<i>Epistylis</i>	391	42
<i>Opercularia</i>	253	141
<i>Aspidisca</i>	135	325
Rotifer		
<i>Rotaria</i>	142	41
<i>Lecane</i>	126	17
Total	3461	1222

함으로 낮은 수온일 때 다른 원생동물보다 생존에 유리한 것으로 사료된다. Kim[8]의 경우도 겨울철에는 *Aspidisca*속이 우점으로 나타남으로 대구지역 하폐수처리장에 잘 나타나고 있다. 9°C일 때 유출수의 평균 BOD는 16.3 ppm으로 수질이 나빠지는데 섬모충류가 존재하지 않을 때에 유출수의 BOD, COD, SS, 탁도가 높아지는 등 수질이 나빠지고 세균수가 저하되지 않는 Pike와 Curds[12]의 실험결과와 유사하다. 이러한 점은 원생동물이 먹이로 하는 세균들의 범위가 정해져 있으므로, 수온저하로 인해 생장이 어려워진 세균 종의 개체수가 감소하면 이들을 먹이로 하는 원생동물의 종도 영향을 받는 것으로 추정된다. 그러므로 수온이 낮을 경우에는 먹이 세균도 적고 비증식 속도도 늦어 개체수가 감소하거나 나타나지 않는다. 이렇게 속 다양성이 낮고 개체수가 감소하면 다양한 유기물을 처리할 수 없고, 부유하는 세균을 섭취하여 제거하는 비율도 낮아짐으로 처리수질은 나빠진다고 사료된다. 수온에 따라 원생동물의 분포에 차이가 나타남으로 수온을 더 세분하여 수온에 따른 원생동물의 분포에 대한 연구를 계속하여야 한다.

요 약

Pilot Plant에서 도시하수가 처리되는 경우와 전처리된 분뇨가 하수에 섞여 처리되는 두가지 종류의 하수를 표준 활성슬러지 공법으로 처리하면서 매주 2회씩 시료채집하여 원생동물의 종류 및 개체수와 처리수질을 조사하였다. 우점

원생동물은 두 경우 모두 섬모충류였으며, 섬모충류 중에서는 *Vorticella*속이 가장 많았다. 전처리 된 분뇨가 섞여 들어오는 경우는 도시하수가 유입되는 경우에 비하여 자유유영형 섬모충류, 편모충류와 아메바의 분포비가 높았다. 처리수질과 원생동물의 상관분석에서는 도시하수의 경우 양의 상관관계가 높게 나타난 경우가 많으며, 전처리 된 분뇨가 섞여 유입되는 경우는 음의 상관관계를 나타내는 경우가 다소 많았다. 회귀분석 결과, Pilot Plant A의 경우는 $BOD = 4.490 \times 10^{-4} \times \text{Total} + 5.772 \times 10^{-3} \times \text{Amoeba} + 1.892$ (Adjusted $R^2=0.995$)이며, Pilot Plant B는 $BOD = 6.731 \times 10^{-2} \times \text{Bodo} + 0.306$ (Adjusted $R^2=0.864$)의 회귀식을 얻었다. 저수온에서는 원생동물수가 35%로 줄어들며 *Aspidisca*속이 가장 많았다. 그러므로 원생동물은 하수처리장 유출수의 수질을 예측하는 지표로서 이용이 가능하다고 사료된다.

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. Berthouex, P. M and L. C. Brown. 1994. *Statistics for environmental engineers*. Lewis publishers, New York.
3. Curds, C. R. 1970. Protozoa. pp. 203-268. *In Ecological aspects of used water treatment*. Academic Press, London.
4. Curds, C. R. and A. Cockburn. 1970. Protozoa in biological sewage treatment processes-II. Protozoa as indicators in the activated sludge process. *Wat. Res.* **4**: 237-249.
5. Hawkes, H. A. 1960. Ecology of activated sludge and bacteria beds. pp. 52-98. *In Treatment of wastewater*. Pergamon Press, Oxford.
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. Lee, M. H. 1999. *Biological sewage treatment*. Environment Management Research Center. Seoul.
10. 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.
11. MOE. 1999. *Water quality pollution examination method*. Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul.
12. Pike, E. B. and C. R. Curds. 1971. The microbial ecology of the activated sludge process. pp. 123-147. *In Microbial aspects of pollution*. Academic Press, London.
13. 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.
14. Ratsak, C. H., K. A. Maarsen, and S. A. L. M. Kooijman. 1996. Effects of protozoa on carbon mineralization in activated sludge. *Wat. Res.* **30**: 1-12.
15. Sharon, G. B. and J. H. Gunderson. 1993. *Wastewater organisms*. Lewis Publishers, New York.
16. Yoo, D. K. and Y. S. Kwan. 1999. *SPSSWIN 8.0 for statistics analysis*. Kihanjae Press. Seoul.

(Received October 9, 2000)