

A₂O 공법 처리장의 Bioindicator

이찬형 · 문경숙*

대구광역시 보건환경연구원, *대구광역시 환경시설공단

Bioindicator at A₂O Wastewater Treatment Plant

Chan Hyung Lee · Kyung Sook Moon*

Public Health and Environment Institute of Daegu City

*Environmental Installations Corporation of Daegu City

(Received December 2, 2004; Accepted February 17, 2005)

ABSTRACT

The occurrence and abundance of protozoa at advanced wastewater treatment plant were compared with operating parameters and effluent quality using statistical procedures. In correlation analysis between the distribution of protozoa and operating parameters, the distribution of protozoa was showed the operating condition of plant. Regression analysis between the distribution of protozoa and effluent quality up to 7 days, showed the R-square values of most regression equation were more than 0.6 and constant was higher than slope and could indicate effluent quality from sampling day to 7 days. Once enough data concerning protozoa, operating parameters and effluent has been gathered, the operator has a valuable tool for predicting plant performance and near-future effluent quality based on microscopic examination. Plant operator manipulates operating conditions if he knows near-future data of effluent is deteriorating. Perhaps more importantly it can be used to actually control the plant to adjust the operating conditions to obtain the protozoal populations that have been shown to provide the best effluent quality.

Keywords: A₂O process, wastewater, protozoa, ciliates, bioindicator

I. 서 론

하·폐수의 생물학적 처리는 미생물의 대사기능을 이용하여 유기성 오염물질 및 영양염류를 제거하는 방법의 하나로서, 활성슬러지 생물상이 처리수의 수질을 결정하는 중요한 인자이다. 생물실험을 하는데 시간이 많이 소요되고 실험결과를 유지관리에 바로 적용하기가 어려워 생물상의 조사결과가 실제 활성슬러지 포기탱크의 유지관리에 많이 반영되지 않고 있다. 미생물을 유지관리 지표로 삼는 것은 관찰에 전문적인 지식을 필요로 하기 때문에 생물상에 의한 관리가 번거로운 일로 인식되어 현장에서 오히려 기피하는 경향이 있었다. 활성슬러지의 대부분을 차지하는 세균은 수백종 이상으로 개체수는 $10^7 \sim 10^8$ CFU/ml 범위이며 세균동정은 많은 노력과 시간이 소요됨으로 처리장 규모에서는

조사하기가 어렵다. 원생동물은 세균보다 크며 현미경을 이용한 형태학적 관찰만으로 동정이 가능하기 때문에 약간의 노력만 하면 생물학을 전공하지 않은 사람이라도 쉽게 이용할 수 있어, 처리장의 정화기능과 유해물질의 유무를 판단하는데 유력한 방법이 될 수 있다. 외국에서는 이러한 지표미생물에 대한 연구가 활발히 진행되어왔고 체계적인 연구나 문헌이 구축되어 있으나^{1,3)} 국내에서는 황⁴⁾이 서울지역 6개 식품공장을 대상으로 수질과 지표미생물의 분포를 조사하였고, 김⁵⁾이 대구 달서천 하수처리장에서 수질지표와 원생동물과의 회귀분석을 수행하였고, 정⁶⁾이 도시하수처리장과 6개소와 산업폐수처리장 5개소를 대상으로 연구하였으나 그 외에는 하·폐수처리 관련 연구에서 미생물학적 지표에 관한 보고는 적은 편이다. 이러한 자료들도 표준화 활성슬러지법 등 2차 처리방식 처리장의 연구결과로, 하천의 부영양화를 방지하기 위해 건설되고 있으며 2003년 기준으로 국내처리량의 16.9%를 처리하는 고도처리장의 자료는 문⁷⁾의 자료외에는 거의 없는 실정이다. 이번 연구에서는 고도처리장의 효율적 운영을 위해 원생

*Corresponding author : Public Health and Environment Institute of Daegu City
Tel: 82-53-760-1324, Fax : 82-53-760-1334
E-mail : chlee@daegumail.net

동물의 분포를 조사하고 수질자료의 예측을 위한 bioindicator로의 가능성을 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 분석 시료

대구시에 위치한 신천처리장을 대상으로 2003년 1월부터 12월까지 매주단위로 분석하였다. 신천처리장은 유입수의 대부분이 생활하수이며 음식물병합처리장 전처리 음식물 등을 통합 처리한다. 고도처리공법은 생물반응조(Bioreactor)를 혐기조(Anaerobic tank)무산소조(Anoxic tank)호기조(Oxic tank)로 나누고, 질산성 질소를 제거하기 위한 내부반송(Nitrifier Recycle)과 2차 침전지 슬러지 반송(Return Activated Sludge)으로 구성되어 있다. 혐기조에서는 혐기조건에서 인을 방출시켜 호기조에서 미생물이 인을 과잉섭취(Luxury uptake)할 수 있도록 하며, 무산소조는 호기조에서 내부반송되는 반송수의 Nitrate를 탈질시키는 역할을 하여 인과 질소를 동시에 제거할 수 있다.⁸⁾ 분석지점은 1차 침전 처리된 유입수, 호기조, 2차 침전후의 유출수를 채수하여 분석을 하였다.

2. 원생동물 동정 및 계수

원생동물 시료는 시료병에 1/2 정도를 채워 넣어 공기 및 접촉을 유지하도록 한 후 즉시 위상차현미경을 사용하여 검경하였으며 2시간 이내에 완료되도록 하였다. 검경은 200×, 400× 배율로 관찰 동정하였으며 시료를 2회 측정하여 평균값을 계산하였다. 원생동물 및 미소후생동물의 동정은 Patterson의 분류⁹⁾ 외에 일본하수도협회 분류기준¹⁰⁾과 Jahn 자료¹¹⁾를 참조하였고, 섬모충류는 Foissner의 가이드¹²⁾를 추가로 참조하여 속(Genus)까지 동정하였다. 원생동물의 계수는 시료 0.05 ml를 1000개의 구역이 나누어진 슬라이드 글라스에 놓고 90구역에 나타나는 수치를 평균하여 총구역수를 곱하였다. *Epistylis*속, *Opercularia*속 같이 군체를 형성하는 경우에는 각 개체를 1개체로 계수하였다.

3. 이화학적 분석

생물반응조 유입수 및 유출수의 BOD, COD, SS, TN, TP와 생물반응조 MLSS는 환경부의 수질오염공정시험방법¹³⁾에 의하여 시험하였다. BOD는 Winkler-Sodium Azide 변법에 의해 5일 동안 소비된 용존산소량으로부터 계산하였다. 유입, 유출수의 부유물질인 SS(Suspended Solid)와 생물반응조내 미생물량을 나타내는 MLSS(Mixed Liquor Suspended Solid)는 각각

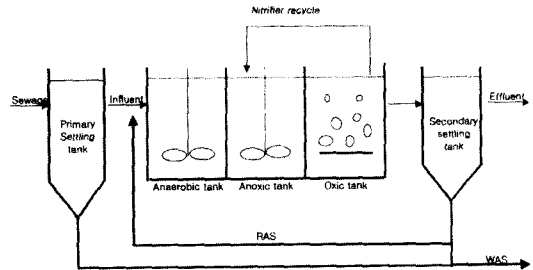


Fig. 1. Schematic diagram of A₂O plant.

의 액을 유리섬유여지(GF/C)로 여과한 후 항량으로 건조하여 무게를 달아 여과 전후의 무게차를 산출하여 구하였다. 유입수량, 슬러지량 등 생물반응조 운전조건은 사업소의 월보 데이터를 참고로 하였다.

4. 데이터 분석

데이터의 정리는 엑셀 프로그램을 사용하였고, 원생동물 분포상과 수질과의 관계를 파악하기 위한 상관과 회귀분석은 SPSS Program(ver 11.0)을 이용하였다. 처리장 운영변수와 원생동물의 상관분석은 시료채취일을 대상으로 하였고, 처리수 수질항목 및 유기물 제거율과 원생동물의 상관관계는 시료채취일을 기준으로 7일전부터 7일후까지의 자료를 대상으로 하여 원생동물의 분포가 과거의 수질을 반영하고 가까운 미래의 수질변화를 예측할 수 있는지를 조사하였다. 상관계수가 0.4 이상이거나 -0.4 이하인 경우의 원생동물 종류를 나타내었으며, 상관계수가 0.3 정도로 다소 낮더라도 유의도가 나타나면 포함시켰다.

III. 결과 및 고찰

1. 원생동물 분포

연 평균 원생동물 분포는 Fig. 2, 3과 같이 편모충류 1,629개체/ml(최소 432~최대 4,896), 육질충류 3,098개체/ml(216~6,264), 섬모충류 6,160개체/ml(2,448~11,880)로 원생동물의 개체수가 10,886개체/ml(5,832~15,552)를 나타내었으며, 미소후생동물은 259개체/ml(0~504)로 전체 원생동물과 미소후생동물의 총 개체수는 35속, 11146개체/ml(5,832~15,840)이었다. 원생동물 구성비는 편모충류 15.2%, 육질충류 26.9%, 섬모충류 55.5%로 원생동물이 97.7%를 차지하며 미소후생동물은 2.3%를 나타내었다. 섬모충류 비율이 55.5%로 활성슬러지법에서 원생동물의 70%가 섬모충류라는 Curd의 연구¹⁴⁾보다 낮지만, 섬모충류의 개체수는 6×10^6 개체수/로 정상 가동중인 처리장의 섬모충류 개체수는 약 10^6 개체수//

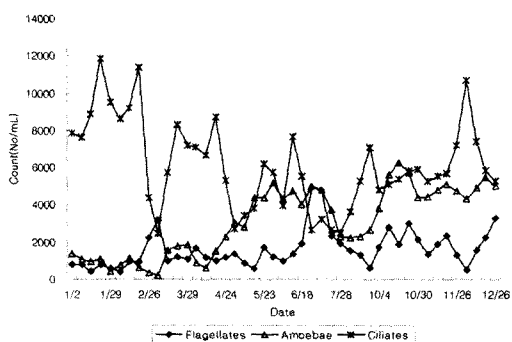


Fig. 2. The distribution of Flagellates, Amoebae and Ciliates.

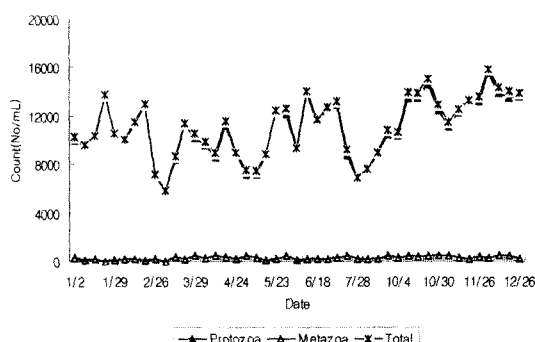


Fig. 3. The distribution of Protozoa and Metazoa.

Table 1. Abundance and occurrence of protozoa and their rank

Genus	Count (No/ml)	Abundance (%)	Genus	Occurrence (%)	Rank
<i>Aspidisca</i>	2246	20.2	<i>Aspidisca</i>	100	1
<i>Euglypha</i>	1197	10.7	<i>Euglypha</i>	100	1
<i>Trachelophyllum</i>	1186	10.6	<i>Trachelophyllum</i>	100	1
<i>Pyxidicula</i>	1030	9.2	<i>Arcella</i>	100	1
<i>Epistylis</i>	851	7.6	<i>Oikomonas</i>	100	1
<i>Arcella</i>	763	6.8	<i>Vorticella</i>	96	6
<i>Vorticella</i>	709	6.4	<i>Pyxidicula</i>	93	7
<i>Oikomonas</i>	602	5.4	<i>Epistylis</i>	91	8
<i>Pleuromonas</i>	400	3.6	<i>Monas</i>	89	9
<i>Cinetochilum</i>	370	3.3	<i>Pleuromonas</i>	84	10
<i>Monas</i>	338	3.0	<i>Cinetochilum</i>	78	11
<i>Litonotus</i>	296	2.7	<i>Rotaria</i>	69	12
<i>Childonella</i>	251	2.3	<i>Lecane</i>	69	12
<i>Poteriodendron</i>	134	1.2	<i>Peranema</i>	69	12
<i>Coleps</i>	120	1.1	<i>Childonella</i>	62	15
<i>Rotaria</i>	110	1.0	<i>Coleps</i>	53	16
<i>Lecane</i>	110	1.0	<i>Litonotus</i>	49	17
<i>Peranema</i>	104	0.9	<i>Amoeba</i>	44	18
<i>Amoeba</i>	75	0.7	<i>Macrobotus</i>	36	19
<i>Opercularia</i>	54	0.5	<i>Chaetospira</i>	33	20
<i>Chaetospira</i>	32	0.3	<i>Bodo</i>	33	20
<i>Macrobotus</i>	32	0.3	<i>Tokophyra</i>	20	22
<i>Bodo</i>	30	0.3	<i>Vaginicola</i>	18	23
<i>Actinophrys</i>	29	0.3	<i>Actinophrys</i>	13	24
<i>Entosiphon</i>	21	0.2	<i>Poteriodendron</i>	11	25
<i>Tokophyra</i>	16	0.1	<i>Opercularia</i>	11	25
<i>Vaginicola</i>	14	0.1	<i>Entosiphon</i>	9	27
<i>Amphileptus</i>	5	0.0	<i>Amphileptus</i>	4	28
<i>Dyplogaster</i>	5	0.0	<i>Dyplogaster</i>	4	28
<i>Paramecium</i>	3	0.0	<i>Paramecium</i>	4	28
<i>Prorodon</i>	2	0.0	<i>Prorodon</i>	2	31
<i>Podophyra</i>	2	0.0	<i>Podophyra</i>	2	31
<i>Sphaerophrya</i>	2	0.0	<i>Sphaerophrya</i>	2	31
<i>Euplotes</i>	2	0.0	<i>Euplotes</i>	2	31
<i>Chaetonotus</i>	2	0.0	<i>Chaetonotus</i>	2	31

라는 Madoni의 연구¹⁵⁾ 결과보다는 많았다. 월별분포를 보면 편모충류는 연초에 6% 내외에서 2월 26일~3월 7일 주간에 급속히 증가하여 점유율이 54%까지 올라갔다가 낮아지면서 12%대를 유지하다가 6월 18일부터 8월 3일 주간까지 20% 이상의 점유율을 나타내며 이후로는 큰 변동은 없었다. 육질충류는 4월 24일 주간부터 증가하여 20% 이상의 점유율을 나타낸다. 섬모충류는 연초에 80% 이상을 나타내나 차츰 낮아져 간헐적인 증가를 제외하고는 50% 내외를 유지한다. 편모충류와 육질충류가 증가하면 섬모충류의 분포는 작아진다. 원생동물은 연중 일정하게 97% 정도를 유지하며, 후생동물도 연중 변화폭이 적다. 원생동물은 폐수중에서 직접 유기물을 섭취하는 경우도 있지만 대부분은 세균을 먹이원으로 하며, 특정한 세균을 선호하는 먹이 특이성이 있다. 원생동물의 분포는 세균의 분포상에 의존하며, 폐수중의 세균의 분포상은 조사하기 어려운 원생동물의 분포의 원인을 파악하기가 어렵다.

Amphileptus 같이 출현빈도가 5% 미만인 경우는 처리장에서 정상적으로 증식하는 원생동물이라고 보기 어렵고 유입수 성상이나 운전조건이 급변하는 경우에 일시적으로 출현하는 원생동물로 판단된다.

개체수 분포는 출현빈도가 높으면 개체수도 많은 편으로 관찰되었다. *Aspidisca* 개체수가 가장 높게 나타났으며, *Euglypha*, *Trachelophyllum*, *Arcella*, *Oikomonas* 가 항상 출현하였다. 폐수처리장내에서 원생동물의 연간 분포 특성은 유입수 성상, 미생물간의 상호작용, 수온, 운영조건 등에 따라 달라진다. 유입수의 성상은 연간 변화보다는 시간적 변화폭이 심하나, 월별 평균 유

입수질은 크게 변화하지 않는다. 유입수량이나 HRT, SRT 등과 같은 운영조건은 처리장의 사정에 따라 일시적으로는 크게 변할 수 있지만 연간 크게 변화하는 것은 아니다. 환경요인 중에서 가장 크게 변동하는 것은 수온으로 2003년 신천처리장의 경우 최저와 최고사이에 15.3°C의 차이가 있었다. 수온은 세균이나 원생동물의 증식속도에 큰 영향을 미치므로 저온시에는 증식속도가 작은 생물은 활성슬러지에서 생존할 수 없다. 미생물의 대사활성도 온도에 의존하고 있으므로, 수온의 변화에 따라 활성슬러지에 존재하는 유기물의 농도 및 존재형태가 다르게 된다. 수온의 변화에 따라 환경조건이 변화하게 되면, 미생물간의 상호작용에 큰 영향을 미치게 된다. 즉 수온이 세균의 대사 및 증식에 영향을 주고, 변화된 세균분포에 적합하게 원생동물분포가 이루어진다.

2. 상관분석

신천처리장의 운전조건과 원생동물 종류의 상관분석에서는 Table 2와 같이 원생동물 개체수와 총 개체수는 MLSS와 음의 상관($p < 0.05$)을 나타내므로 MLSS 운전 범위 2,020 mg/l~4,990 mg/l에서는 저농도로 MLSS를 유지하면 원생동물 개체수 및 총 개체수는 증가한다. 후생동물은 SRT와 양의 상관을 나타내 슬러지 체류시간(SRT)이 길수록 후생동물의 개체수가 증가한다. 후생동물은 원생동물에 비해 분열시간이 길므로 체류시간이 증가하면 후생동물 개체수가 증가한다는 점을 반영한다. 원생동물 개체수와 총 개체수는 수리학적체류시간(HRT)과 양의 상관($p < 0.05$)을 나타내므로 신천처리

Table 2. Correlation between operating parameters and protozoa

Operating parameters	Taxa	
	Positive correlation	Negative correlation
DO		<i>Chaetospora</i>
MLSS	<i>Trachelophyllum</i> , <i>Vorticella</i>	<i>Peranema</i> , <i>Oikomonas</i> , Flagellates, <i>Pyxidicula</i> , <i>Euglypha</i> , Testate amoebae, Amoebae, <i>Cinetochillum</i> , Hymenostomes, Prostomes, Protozoa, Total number
SVI	<i>Litonotus</i> , <i>Chilonella</i> , Cyrtophores, Haptorids	<i>Oikomonas</i> , <i>Pyxidicula</i> , <i>Euglypha</i> , Testate amoebae, Amoebae, <i>Chaetospora</i> , Hymenostomes, Prostomes, <i>Lepadella</i> , Metazoa
F/M	<i>Arcella</i> , <i>Coleps</i> ,	<i>Chilonella</i> , <i>Cinetochillum</i> , Hymenostomes, Ciliates
SRT	<i>Peranema</i> , <i>Pyxidicula</i> , Testate amoebae, Amoebae, <i>Cinetochillum</i> , Hymenostomes, Prostomes, Protozoa, Metazoa, Total number	Cyrtophores
HRT	<i>Bodo</i> , <i>Amoeba</i> , <i>Pyxidicula</i> , <i>Cinetochillum</i> , <i>Aspidisca</i> , Oligohymenophora, Hymenostomes, Hypotrichs, Ciliates, Protozoa, Total number	Chrysophytes

Table 3. Correlation between effluent and protozoa

Taxa	Positive correlation	Negative correlation
<i>Peranema</i>	BODr	BOD
<i>Monas</i> , <i>Vorticella</i> , Haptorids	TPr	TP
<i>Arcella</i>	CODr	COD
<i>Pyxidicula</i>	BODr, TP	BOD, TPr
<i>Euglypha</i> , <i>Epistylis</i> , Protozoa, Total number	TP	TPr
Testate amoebae, Amoebae	BODr, TN, TP	BOD, TNr, TPr
<i>Trachelophyllum</i>	TNr, TPr	TN, TP
<i>Cinetochillum</i>	TN	TNr
<i>Cyrtophores</i>	BOD	BODr

BODr : BOD removal efficiency

장의 경우는 HRT을 길게 하여 운전하는 것이 원생동물 개체수를 증가하는 방법이다. DO와 음의 관계인 *Chaetospira*의 증가는 생물반응조내 용존산소의 부족을 나타내는 지표속으로 활용이 가능하다.

원생동물 종류와 유출수 자료의 상관분석에서는 BOD와 음의 상관관계를 가지고 BOD 제거율(BODr)과는 양의 상관관계를 가지는 경우와 같이 수질항목과 제거율의 상관성이 반대로 나오는 경우가 지표로 가능성이 있다. 그러나 수질항목과 제거율의 상관성이 동일하게 나타나거나, 수질항목에만 상관성이 나타나고, 제거율에서는 상관성이 나타나지 않는 경우가 많았다. 시료채취일 7일전부터 7일후까지의 상관성이 양이나 음으로 일정하게 나타나고, 수질항목과 제거율의 상관성이 반대로 나타나 수질지표로 사용될 수 있는 원생동물 종류를 Table 3에 나타내었다.

Peranema, *Pyxidicula*, Testate amoebae, Amoebae가 나타나면 BOD의 제거율이 높아져서 유출수의 BOD가

낮아진다. *Arcella*는 COD 제거율과 관련 있어, 개체수가 증가하면 유출수의 COD 값이 낮아진다. 고도처리와 관련있는 TN, TP 제거율은 *Trachelophyllum*이 두 항목과 양의 상관성을 나타내며, *Monas*, *Vorticella*, Haptorids는 TP 제거율과 양의 상관성을 나타냈다. 그러나 *Cyrtophores*는 BOD 제거율과 음의 상관관계를 나타내며, *Pyxidicula*, *Euglypha*, Protozoa, Total number는 TP 제거율과 음의 상관성을 나타낸다. Testate amoebae와 Amoebae는 TN, TP 두 항목의 제거율, *Cinetochillum*은 TN 제거율과 음의 상관성을 나타냄으로 이들 원생동물 개체수가 증가할 때는 처리수의 수질이 악화되고 있다는 점에 유의하면서 운영을 하여야 할 것이다.

일자별 유출수 BOD의 회귀방정식 결정계수는 Table 4와 같이 대부분이 0.6 이상으로 자료수에 비교하여 결정계수가 높게 나온 편이며 0.87 정도의 결정계수도 나타난다. 그러나 원생동물의 개체수인 기울기보다는 y 절편값인 상수가 크게 나타나는데, 조사 처리장이 대규모이며 처리시설이 비교적 최근에 건설되어 설비가 양호하며 현장근무자의 장기 근무로 운영능력이 우수하여 유입수의 변동에 따른 운영조건의 변동과 유출수의 수질 악화시 비교적 빠른 시간 내 조치함으로 처리장의 유기물 제거율 및 수질항목의 변화폭이 적게 나타남으로 기울기보다는 상수쪽에 의존도가 높게 나타났다. 회귀방정식을 이용함으로 날자별로 처리장 수질항목의 예상값을 예측할 수 있으며 상관분석과 같이 사용하면 처리장의 수질변화를 미리 예상할 수 있다.

처리장의 원생동물 분포, 유출수질, 운영조건의 자료들이 충분히 확보되면 원생동물 분포를 가지고 운영현황 및 가까운 미래의 수질예측이 가능해진다. 수질예측이 가능함으로 수질이 악화된다고 예측되면 처리장의 운영조건을 변경하여 처리수질의 변동폭을 감소하고 양호한 수질을 연중 유지할 수 있을 것이다. 장기적으로

Table 4. The regression equation

Day	Regression equation	R ²
S	Testate amoebae $\times (-2.87 \times 10^{-3})$ + Amoebae $\times (2.344 \times 10^{-3})$ + <i>Vorticella</i> $\times (2.767 \times 10^{-4})$ + Metazoa $\times (-1.63 \times 10^{-3})$ + 4.584	0.868
S+1	Testate amoebae $\times (-5.55 \times 10^{-4})$ + 4.613	0.640
S+2	Testate amoebae $\times (-3.91 \times 10^{-4})$ + <i>Monas</i> $\times (1.558 \times 10^{-3})$ + 3.576	0.756
S+3	<i>Euglypha</i> $\times (-1.5 \times 10^{-3})$ + 5.086	0.577
S+4	Amoebae $\times (-4.76 \times 10^{-4})$ + <i>Vorticella</i> $\times (1.384 \times 10^{-3})$ + 3.724	0.664
S+5	Testate Amoebae $\times (-4.63 \times 10^{-4})$ + <i>Monas</i> $\times (1.479 \times 10^{-3})$ + 3.729	0.724
S+6	Testate amoebae $\times (-6.07 \times 10^{-4})$ + 4.722	0.659
S+7	Testate amoebae $\times (-4.1 \times 10^{-4})$ + <i>Monas</i> $\times (2.239 \times 10^{-3})$ + Metazoa $\times (-2.63 \times 10^{-3})$ + 4.334	0.671

는 가장 좋은 유출수질을 나타내는 원생동물 분포를 얻을 수 있는 방향으로 처리장의 운영조건을 변동하여야 한다.

처리장 운영에 미생물의 활용은 여러 장점이 있으나 여러 처리장에 적용될 수 있는 지표속을 발견하기는 어렵다. 미생물은 여러 가지 환경요인의 지배를 받으므로 처리방법이 같다고 동일하거나 비슷한 원생동물이 출현되리라는 예상은 잘못이다. 출현 원생동물 군집구조 구성에 가장 크게 영향을 미치는 인자는 처리대상 유입수내에 포함된 오염물질의 종류이다. 처리장별 유입수 성상과 요구되는 유출수의 수질이 달라 운전조건도 달라지고, 달라진 운전조건에 적응되는 원생동물 종류가 증식함으로 처리장별로 원생동물의 분포가 다르다. 원생동물과 수질항목, 운전조건과의 상관 정도도 달라진다. 생물실험의 해석은 물리화학적 실험과 비교하면 기술적인 요소가 포함되므로 해석도 처리장에 따라 모두 동일하지 않다. 처음으로 원생동물을 이용하여 처리장운영의 지표로 하고자 하는 운영자는 해당처리장과 운영조건, 유입수 성상이 가장 유사한 처리장의 자료를 참고하면서 최소 1년 동안 원생동물자료와 운영자료를 확보하여야 한다. 유지관리에 이용하기위한 일상적인 미생물실험은 정밀함보다도 측정빈도가 더욱 중요함으로 자주 주기적으로 관찰하여야 하며, 운전조건이 변화가 있을 때에는 매일 측정하여 운전조건의 변화에 따른 원생동물의 변동을 파악하여야 한다. 확보된 자료를 통계프로그램 같은 해석프로그램을 이용하여 지표로서의 가능성을 분석하여야 한다. 분석된 자료를 처리장 운영에 적용하고 부족한 부분을 보완하면서 운영하면 원생동물을 처리장 운영의 지표로 하여 처리장의 효율적이며 경제적인 운영이 가능하다고 판단된다.

IV. 결 론

고도처리장의 효율적 운영을 위해 원생동물의 분포를 조사하고 수질자료의 예측을 위한 bioindicator의 가능성을 분석하였다. 원생동물 종류별 개체수 분포는 출현 빈도가 높으면 개체수도 많은 편으로 관찰되었다. *Aspidisca* 개체수가 가장 높게 나타났으며, *Euglypha*, *Trachelophyllum*, *Arcella*, *Oikomonas*가 항상 출현하였다. 처리장의 원생동물 분포는 유입수의 성상과 운영조건에 따라 원생동물의 서식환경이 달라져 원생동물 분포에 영향을 미친 것으로 판단된다. 상관분석과 회귀방정식을 이용함으로 날자별로 처리장 수질항목의 수질변화와 예상값을 미리 예상할 수 있다. 처리장의 원생동물 분포, 유출수질, 운영조건에 대한 자료들이 충분히

확보되면 원생동물 분포를 가지고 운영현황 및 가까운 미래의 수질예측이 가능해진다. 수질예측이 가능함으로 운영조건을 조기변동으로 처리수질을 양호하게 유지할 수 있다. 미생물분포는 처리장마다 다르므로 원생동물을 이용하여 처리장운영의 지표로 하고자 하는 운영자는 해당처리장과 운영조건과 유입수 성상이 가장 유사한 처리장의 자료를 참고하면서 운영하여 최소 1년 동안 원생동물자료와 운영자료를 확보하여야 한다.

참고문헌

1. Al-Shahwani, S. M. and Horan, N. J. : The use of protozoa to indicate changes in the performance of activated sludge plants. *Water Research*, **25**(6), 633-638, 1991.
2. Curds, C. R. : The ecology and role of protozoa in aerobic sewage treatment process. *Annual Review of Microbiology*, **36**, 27-46, 1982.
3. Madoni, P., Davoli, D. and Chierici, E. : Comparative analysis of the activated sludge microfauna in several sewage treatment works. *Water Research*, **27**(9), 1485-1491, 1993.
4. 황운영 : 식품공장의 폐수처리에 있어서 지표미생물을 이용한 수질판정. 건국대학교 석사학위논문, 1987.
5. 김선숙 : 하수처리장에서 수질오염지표와 원생동물과의 상호관계. 영남대학교 석사학위논문, 1989.
6. 정재춘, 김남천 : 활성오니에서 발견된 사상세균, 원생동물 및 후생동물의 유형과 우점도 분석. *한국산업미생물학회지*, **23**(3), 365-371, 1995.
7. 문경숙, 김승민, 석미정, 이찬형 : 무산소/호기공법의 원생동물 분포. *대한환경공학회지*, **25**(8), 991-995, 2003.
8. Metcalf and Eddy : *Wastewater engineering*, McGraw-Hill, Inc., New York, 651-744, 1991.
9. Patterson, D. J. : *Free-Living Freshwater Protozoa*, John Wiley and Sons, New York, 23-191, 1996.
10. JWA : 활성슬러지포기탱크의 미생물, 동화기술, 서울, 47-258, 1997.
11. Jahn, T. L., Bovee, E. C. and Jahn, F. F. : *How to know protozoa*, 2nd ed. WCB/McGraw-Hill, Iowa, 46-266, 1979.
12. Foissner, W. and Berger, H. : 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 Biology*, **35**, 375-482, 1996.
13. 환경부, 수질오염공정시험방법, 동화기술, 서울, 2001.
14. Curds, C. R. : *Ecological aspects of used-water treatment*, Vol. 1 The organisms and their ecology, Academic press, London, 203-268, 1975.
15. Madoni, P. : A sludge biotic index(SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. *Water Research*, **28**(1), 67-75, 1994.