

## 고도처리 하수처리장 운전조건의 통계분석

이 찬 형 · 문 경 숙\*

대구광역시 보건환경연구원 · 대구광역시 환경시설공단  
(2004년 10월 28일 접수; 2005년 2월 23일 채택)

## Statistical Analysis of Operating Parameters on Advanced Wastewater Treatment Plant

Chan-Hyung Lee and Kyung-Sook Moon\*

Health and Environment Institute, Daegu 706-732, Korea  
\*Environmental Installations Corporation, Daegu 703-825, Korea  
(Manuscript received 28 October, 2004; accepted 23 February, 2005)

Statistical analysis between operating parameters and effluent quality on advanced wastewater treatment plant was performed. Through factor analysis four factors derived varimax rotation were selected each plant. Four components explained 80%, 82% of the total variance of the process, respectively. The components on MLE plant were identified in the following order : 1) HRT increase and BOD load decrease by influent decrease, 2) Biomass, 3) SVI increase by internal return increase, 4) Microbial diversity by SRT increase. On A<sub>2</sub>O plant, we defined them as follows: factor 1, high MLSS by return rate increase, HRT increase by influent decrease; factor 2, biomass; factor 3, BOD of influent; factor 4 was relate to DO.

Key Words : Advanced wastewater treatment plant, Operating parameters, Statistical analysis, Factor analysis

### 1. 서 론

생활하수와 산업폐수의 처리를 위해 2003년말 기준으로 국내에 242개소의 하수처리장이 운영되고 있으며 80%를 생물학적 처리법에 의한 2차 처리를 하고 있다<sup>1)</sup>. 하천 부영양화의 원인물질인 인·질소 제거를 위한 생물학적 3차 처리인 고도처리하수처리장의 건설도 활발하다. 처리장은 유입수질, 성상 및 유량, 기대되는 처리수질 등에 따라 각 처리장에 맞는 처리공법과 운전조건으로 운영되고 있다. 생물학적 처리는 활성슬러지를 구성하는 미생물이 처리의 주체이나 개방시스템인 처리장에서는 미생물상을 원하는 대로 제어하기가 힘들고, 미생물상을 정확하게 나타내는 변수가 나타나지 않으므로 처리수의 BOD와 같은 이화학적 분석결과를 바탕으로 경험에 의존하여 운영하는 경우가 많다. 이번 분석에서는 하수처리장을 적절하게 운전하기 위해 운전변수의 분석을 통계방법으로 접근하고자 한다. 통계적

접근 방법은 생태학 연구에서는 80년대부터 사용하는 방법으로 생태계 및 생태계 구성인자에 미치는 환경요인의 영향을 통계학과 컴퓨터를 이용하여 자료를 처리하고 분석하는 기법이다. 실제 운영되는 하수처리장에 통계적 기법을 적용한 경우는 찾아보기 어렵다. 통계분석에서는 변수상호간의 의존성과 변수들에 공통적으로 영향을 미치는 요인들을 찾아낼 수 있어 수치상에 나타나지 않는 요인을 추가로 찾아 효율적인 처리장 운영을 위한 자료를 제공할 수 있다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1. 조사지점

MLE(Modified Ludzack Ettinger)공법인 달서천공단계열(Fig. 1)과 A<sub>2</sub>O(Anaerobic-Anoxic-Oxic)공법이 적용되는 북부처리장(Fig. 2)을 대상으로 하였다. 달서천 공단계열은 염색공단의 폐수를 주 유입수로 하며, 북부처리장은 주거지역과 서대구 공단의 폐수를 처리한다. 조사지점은 고도처리장의 1차침전지, 생물반응조, 2차침전지를 대상으로 하였다. 조사기간은 2003년 1월부터 12월까지 1년간으로 주단위

Corresponding Author : Chan-Hyung Lee, Health and Environment Institute, Daegu 706-732, Korea  
Phone: +82-53-760-1324  
E-mail: chlee@daegumail.net

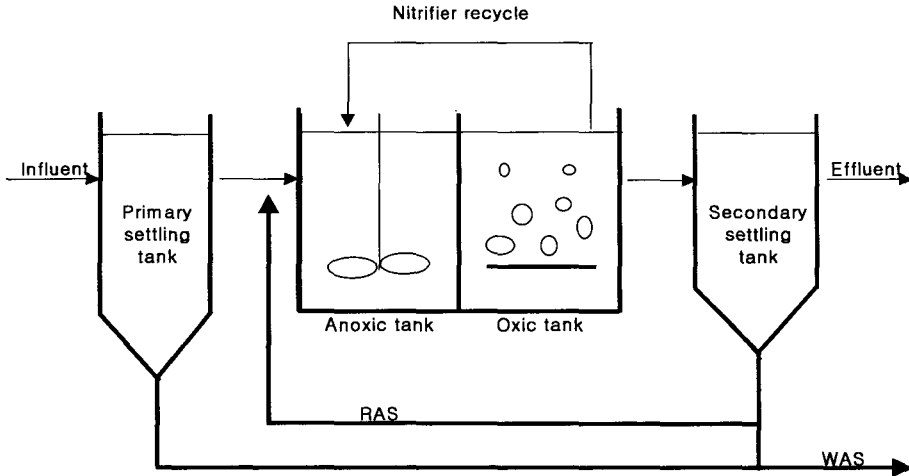


Fig. 1. Schematic diagram of MLE process plant.

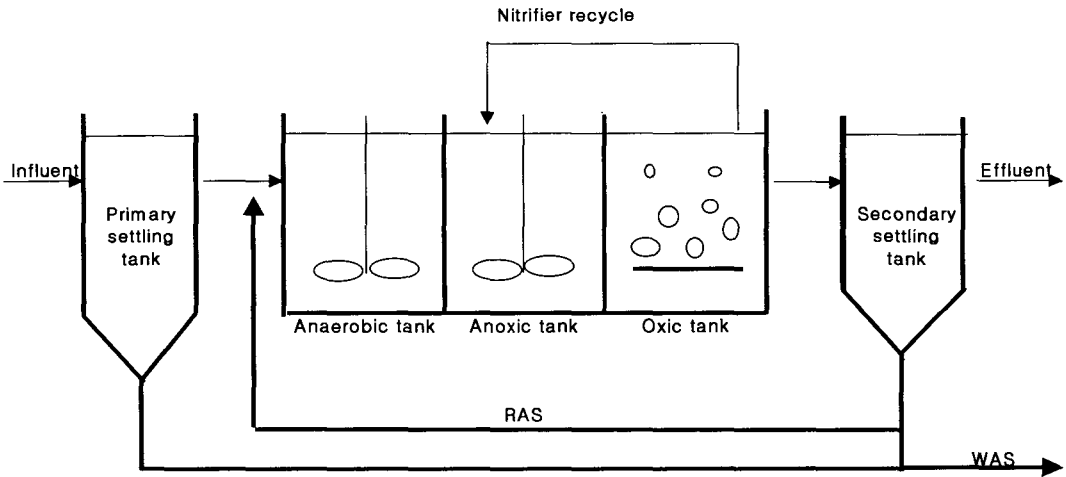


Fig. 2. Schematic diagram of A<sub>2</sub>O process plant.

로 분석하였다. 하수처리장은 운영상 강수에도 전량 처리하도록 권고 받음으로 강수기간에는 유입수량이 늘어나 처리장내 체류시간이 짧아지고, 토사 등이 유입되어 활성슬러지의 유기물 분해에 장애를 주고 미생물분포가 일시적으로 흐트러지게 됨으로 처리수가 탁해지고 처리수질이 나빠진다. 강수에 의한 영향을 줄이기 위해 강수시에는 종료 2일후를 대상으로 하여 가급적 처리장 운영이 정상상태일 때 분석을 하였다. 8, 9월은 장마가 끝났음에도 강수가 최소 3일에 한번이상 내려 분석을 못한 경우가 많았다.

### 2.2. 분석항목

수온, pH, BOD, COD, SS, TN, TP는 하수처리장

의 일일시험결과를 이용하고 운전조건 등 기타 변수는 일일운전결과를 기초로 하여 고형물 체류시간(SRT), 수리학적 체류시간(HRT), F/M비 등 변수를 계산하였다.

### 2.3. 통계처리

유출수 수질에 영향을 미치는 요소를 찾기 위하여 하수처리장의 운영조건과 유출수 수질, 오염제거율과의 통계분석을 SPSS (ver 11.0)프로그램을 사용하여 분석하였다<sup>2,3)</sup>. 수질항목과 운전변수간의 상관분석을 수행한 후 Pearson's correlation coefficient가 높은 수질항목과 운전변수간의 다중회귀분석을 실시하여 상호관련을 규명하고 수식화 하였다.

회귀분석에서는 수질에 영향을 미치는 인자를 알아보기 위해 수질항목을 종속변수로, 운전변수를 독립변수로 설정하여 단계적(Stepwise) 회귀분석방법으로 다중회귀분석을 실시하였다. 결정계수  $R^2$ 이 두 처리장에서 0.5이하인 경우는 제외하였다. 운전 변수들에 공통의 영향을 미치는 공통인자들을 찾아내어 분석이 용이하도록 적은 수의 요인으로 줄이기 위해 운전변수의 요인분석을 실시하였다. 요인의 선정은 고유치 1.0이상의 요인을 선정하였고, 요인적 재량을 제공하여 합당한 공통분산이 0.4이상인 경우를 분석하였다. 요인의 회전은 varimax방식을 사용하여, 요인간의 상호 관련성이 없도록 독립성을 유지하면서 변수를 줄여 통계적으로 유의성이 있는 요인간의 분산의 형태를 해석하고자 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 하수처리장 수질

2003년 1월부터 12월까지 달서천 공단계열과 북부처리장 주별 수질변화를 Fig. 3, 4에 나타내었다.

MLE처리장 유출수 BOD농도는 연초의 6.5ppm에서 연말의 3.9ppm까지 계속 낮아진다. BOD제거율은 4~6월 사이에 꾸준히 높은 경우의에는 변동이 조금 있다. 유출수 TN농도는 최소 6.1 ppm, 최대 24.0 ppm으로 평균 11.6 ppm이다. 유출수 TP는 연말로 갈수록 낮아지며 TP제거율은 5~9월에는 낮은 편이나 다른 기간에는 변동이 큰 편이다.

A<sub>2</sub>O공법을 적용하는 북부처리장의 BOD제거율은 겨울철로 갈수록 높아지며, 유출수의 BOD도 연초에는 높다가 연말로 갈수록 농도가 낮게 나타난다. 유출수 TN는 10 ppm의 변동범위를 가지고 있으며, TN제거율은 10~50%범위로 변동폭이 크게 나타났다. 유출수 TP는 1ppm 전후의 범위로 나타나며 TP제거율도 큰 변화가 없었다.

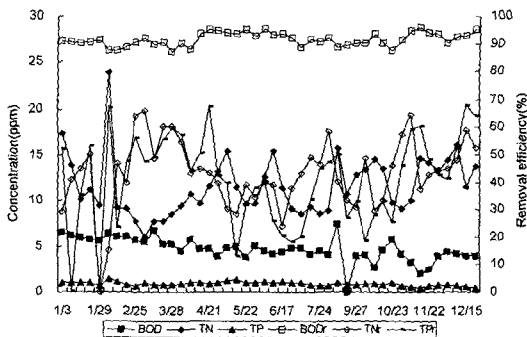


Fig. 3. The effluent quality and the removal efficiency on MLE plant.

(BODr : BOD removal efficiency, TNr : TN removal efficiency, TPr : TP removal efficiency)

#### 3.2. 운전변수의 월별변화

하수처리장의 주요 운전변수의 월별변화를 Table 1, 2에 나타내었다. 염색공단폐수를 처리하는 달서천 공단계열은 폐수자체의 수온 때문에 겨울철에도 18℃ 이상을 유지하여 미생물 증식에 좋은 온도조건을 가지고 있다. 수온상승기인 6, 7월에는 미생물증식이 활발함으로 MLSS를 낮게 유지하고 8월부터는 내부반송율을 증가시켜 생물반응조의 MLSS을 높게 유지하여 운영하였다.

북부처리장은 관음·태전·팔달동 일대와 칠곡택지지구에서 팔거천, 서대구 공단 등에서 이현천으로 유입되는 하수를 처리하므로 겨울철에도 수온이 낮게 나타난다. SVI는 평균 167정도로 처리수가 양호하기 위해서는 SVI를 50에서 150사이가 유지해야 한다는 표준활성슬러지법의 권장기준을 넘어서서 운영하고 있다. SRT는 26일 정도로 상대적으로 길게 유지하고 있다.

#### 3.3. 상관분석

처리수 수질항목과 운전조건의 상관관계(Table 3)는 처리장별로 차이가 있는 것으로 나타났다.

처리장에서는 유출수 수질에 의해 규제를 받으므로 수질값에 중점을 두지만, 유입수의 수질이 낮을 경우 제거율이 낮더라도 유출수의 수질이 낮게 나타나므로 수질제거율에 중점을 두고 분석을 하였다. MLE처리장의 BOD제거율은 F/M과 BOD load와 양의 상관관계를 나타내며 MLSS와는 음의 상관관계를 나타내 유입수의 BOD가 높을수록 BOD제거율은 높아지는 것으로 나타났다. MLE처리장은 수온이 항상 높게 유지되는 상태이므로 미생물들이 활성이 좋아져 미생물농도를 높이지 않아도 BOD제거율은 높게 유지되는 상태이다. 하수처리에 출현하는 미생물은 대개 25~32℃에서 최대 증식속도를 나타내며, 5℃

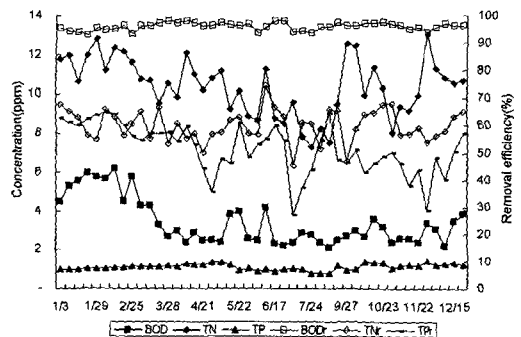


Fig. 4. The effluent quality and the removal efficiency on A2O plant.

(BODr : BOD removal efficiency, TNr : TN removal efficiency, TPr : TP removal efficiency)

Table 1. The monthly variation of operating parameters on MLE process plant

MLE	Influent (m <sup>3</sup> /d)	Temp (°C)	DO (mg/ℓ)	MLSS (mg/ℓ)	SVI	Return ratio(%)	F/M (kgBOD/kgMLSS)	BOD load (kgBOD/m <sup>3</sup> ·d)	SRT (d)	Internal return(%)
Jan	94,706	18.3	2.20	2,706	92	45	0.05	0.13	19.2	243.5
Feb	94,394	19.0	2.26	2,526	101	41	0.05	0.13	22.4	139.3
Mar	98,024	22.6	2.01	2,955	87	44	0.04	0.12	18.2	100.0
Apr	104,910	25.7	2.03	2,877	81	46	0.06	0.16	14.7	105.0
May	100,754	27.6	2.03	2,514	79	56	0.07	0.17	14.3	150.0
Jun	98,949	28.9	2.12	2,106	72	51	0.07	0.14	17.1	150.0
Jul	113,813	28.0	2.00	2,279	69	41	0.09	0.15	18.8	150.0
Aug	97,648	29.7	1.80	3,047	80	52	0.10	0.15	24.2	183.9
Sep	101,520	29.0	2.20	2,955	94	53	0.11	0.16	20.9	193.3
Oct	85,983	27.6	2.30	2,566	87	63	0.05	0.09	18.7	200.0
Nov	98,184	25.3	2.00	2,782	81	53	0.06	0.11	18.2	200.0
Dec	94,253	21.7	2.10	2,829	83	48	0.06	0.13	20.6	161.3
Avg	98,595	25.3	2.1	2,679	84	49.3	0.07	0.14	18.9	164.7
Max	113,813	29.7	2.3	3,047	101	63	0.11	0.17	24.2	243.5
Min	85,983	18.3	1.8	2,106	69	41	0.04	0.09	14.3	100.0

Table 2. The monthly variation of operating parameters on A<sub>2</sub>O process plant

A <sub>2</sub> O	Influent (m <sup>3</sup> /d)	Temp (°C)	DO (mg/ℓ)	MLSS (mg/ℓ)	SVI	Return ratio(%)	F/M (kgBOD/kgMLSS)	BOD load (kgBOD/m <sup>3</sup> ·d)	SRT (d)	Internal return(%)
Jan	111,718	9.8	1.8	2,075	218	88	0.10	0.20	21.9	150
Feb	107,731	12.0	3.4	2,616	217	92	0.09	0.23	53.2	150
Mar	113,173	14.9	2.9	2,766	214	80	0.09	0.25	23.0	162
Apr	131,266	18.2	2.7	2,880	177.3	67	0.08	0.21	19.5	187.7
May	137,420	21.2	2.9	2,657	123.0	62	0.08	0.21	22.1	239.3
Jun	153,265	23.3	3.0	2,705	119.7	58	0.08	0.21	21.2	215.3
Jul	154,123	23.2	2.9	2,466	120.3	60	0.05	0.11	46.1	131.0
Aug	146,374	25.7	2.8	2,659	157.0	61	0.06	0.16	26.6	147.3
Sep	149,945	24.8	2.5	2,787	130.6	60	0.07	0.17	23.3	138.8
Oct	143,649	21.6	2.2	2,856	160.4	62	0.12	0.25	18.6	144.5
Nov	156,461	17.7	3.0	2,633	166.9	56	0.10	0.19	17.4	135.5
Dec	140,302	14.2	3.0	2,676	195	63	0.12	0.23	18.8	119
Avg	137,119	18.9	2.8	2,648	167	67.4	0.09	0.20	26.0	160
Max	156,461	25.7	3.4	2,880	218	92	0.12	0.25	53.2	239
Min	107,731	9.8	1.8	2,075	120	56	0.05	0.11	17.4	119

Table 3. The correlation coefficient between effluent quality and operating parameters on MLE plant

MLE	BOD	COD	SS	TN	TP	BOD <sub>r</sub>	COD <sub>r</sub>	SS <sub>r</sub>	TN <sub>r</sub>	TP <sub>r</sub>
Influent	-0.078	0.044	0.164	-0.671**	-0.035	0.023	-0.02	-0.027	.369*	-0.198
Temp.	-0.454**	0.510**	-0.118	-0.302*	-0.183	0.22	-0.429**	-0.294*	0.007	-0.560*
DO	0.26	-0.144	0.114	0.103	0.362*	-0.19	0.018	-0.124	-0.284	-0.199
MLSS	0.218	0.028	-0.127	-0.05	-0.236	-0.195	0.351*	0.622**	0.351*	0.486**
MLVSS	0.403*	-0.22	-0.225	0.389*	-0.032	-0.249	0.396*	0.573**	0.25	0.566**
SVI	0.296*	-0.26	-0.017	0.24	0.187	-0.323*	0.455**	0.237	-0.073	0.174
Return rate	-0.320*	0.517**	0.108	0.192	-0.16	0.291*	-0.348*	-0.303*	-0.206	-0.213
F/M	0.001	-0.149	0.081	-0.244	0.329*	0.543**	-0.043	-0.307*	-0.128	-0.241
BOD load	0.107	-0.172	0.088	-0.278	0.269	0.536**	0.137	-0.023	0.029	0.009
SRT	0.252	-0.407**	-0.24	0.440**	0.104	-0.326*	0.189	0.109	-0.363*	0.094
HRT	0.172	-0.087	-0.221	0.680**	0.091	-0.086	0.074	0.099	-0.369*	0.217
Internal return	-0.138	0.215	0.211	0.468**	0.129	0.046	-0.316*	-0.257	-0.343*	-0.128

\*p&lt;0.05, \*\*p&lt;0.01, p : Probability

에서 45°C사이의 증식 가능한 온도범위를 가지고 있는 종류가 많다. 유기물을 제거하는 중속영양세균의 활동은 온도가 10°C상승할때마다 약 2배씩 제거속도가 증가하므로, 온도가 높을수록 처리가 쉬워진다<sup>4)</sup>. MLE처리장의 수온은 18.3°C에서 29.7°C범위로, 이러한 수온범위에서는 대부분 세균의 성장이 촉진되고 생체활동이 활발해져 유기물의 분해, 산화활동, 생세포합성 등이 왕성함으로 유기물의 제거율이 높아져 맑은 처리수를 얻을 수 있다. COD제거율은 MLSS, SVI와 양의 상관을 나타내 미생물량이 많으면 제거율이 높아진다. SS제거율은 MLSS, MLVSS와 강한 양의 상관을 나타내는데, SS는 미생물에 의해 산화되어 제거되는 경우와 미생물 표면에 흡착되어 미생물 침전시 제거되는 경우가 있다. TN제거율은 SRT나 HRT와 음의 상관을 나타내므로 TN제거율을 높이기 위해서는 현재의 운전조건보다 SRT와 HRT를 줄여 운영하여야 한다. 인의 제거는 미생물에 의한 인의 과잉섭취를 이용하는 방법이므로 TP제거율을 높이기 위해서는 생물반응조내 미생물량이 많아야 한다<sup>5)</sup>.

A<sub>2</sub>O처리장인 북부처리장의 BOD제거율(Table 4)은 F/M, BOD 부하와 양의 상관을 나타내지만, MLSS와도 양의 상관을 나타낸다. F/M이 증가하려면 MLSS는 낮아져야 하는데, 이러한 현상은 통계분석한 자료의 F/M, MLSS 범위내에서는 MLSS농도 증가시 BOD제거율이 높아진다는 것을 나타낸다. 앞으로도 BOD제거율을 높이기 위해서는 MLSS의 운영범위에서 높게 유지하며, F/M을 높이기위해서 BOD 부하를 더 높여 운영하여야 한다. 수온과의 상관은 0.327(p<0.05)을 나타내는데 북부처리장은 수온이 9.8°C에서 25.7°C범위로 일반적인 처리장과 비슷하다. 온도가 상승하면 미생물내의 화학적 효소적

반응이 촉진되고 성장이 가속화되며, 대구 달서천 처리장 연구에서도 여름철 BOD의 제거율이 높았다<sup>6)</sup>. COD제거율은 F/M, BOD 부하 등 유입수의 오염정도에 영향을 받으며, 반송율과 SVI에 의해서도 영향을 받는다. SS제거율은 미생물량과 관련이 있고 수리학적 체류시간이 길수록 높아진다. TN제거율은 MLE처리장과 다르게 F/M, BOD 부하와 양의 상관을 나타내는데 탈질반응에 에너지원으로 BOD로 대표되는 유기물이 필요한 것으로 판단된다. TP제거에는 반송율과 SVI가 관련이 있는 것으로 나타나 생물반응조내 미생물량과 관련이 있는 것으로 추정된다. COD, SS, TP제거에는 유입수량과 수온에 음의 상관성을 보이므로 겨울철 수온이 낮으며 유입수량이 적을때 제거율이 높아진다. 북부처리장의 겨울철 MLSS분포는 다른 계절과 비슷하나 유입수량이 적음으로 다른 계절보다 상대적인 미생물의 분포는 많아 수온이 낮으면 미생물의 활성이 떨어지는 것을 보완하는 것으로 판단된다. COD, SS, TP제거율은 상관성이 비슷한 경향을 나타낸다. SRT와 BOD제거율과의 상관은 두 처리장에서 음의 상관을 나타내었다. SRT의 증가는 원생동물같이 비증식속도가 낮은 미생물들의 처리장내 생존을 가능하게 하므로 미생물 군집내 종 다양성이 증가하게 되어, 유출수 수질이 향상된다고 하였다<sup>7)</sup>. 그러나 Bisgoni<sup>8)</sup>는 SRT가 너무 길면 저밀도의 불규칙적 형태의 플록이 생성되어 유출수가 탁해지고 수질이 나빠진다고 보고하였다. 현재 두 처리장은 SRT가 긴 상태로 판단되므로 SRT를 낮추어 운영하여야 한다.

### 3.4. 회귀분석

수질과 생물반응조 운영변수사이의 수식화를 위해 수질항목을 종속변수로, 운전변수를 독립변수로 설정하여 단계적 회귀분석방법으로 다중회귀분석을

Table 4. The correlation coefficient between effluent quality and operating parameters on A<sub>2</sub>O process plant

A <sub>2</sub> O	BOD	COD	SS	TN	TP	BODr	CODr	SSr	TNr	TPr
Influent	-0.628**	-0.613**	-0.309*	-0.539**	-0.049	-0.052	-0.547**	-0.403**	-0.125	-0.642**
Temp.	-0.759**	-0.703**	-0.256	-0.701**	-0.181	0.327*	-0.418**	-0.397**	0.024	-0.407**
DO	-0.107	-0.325*	-0.273	-0.173	-0.065	-0.087	-0.093	-0.008	-0.161	-0.094
MLSS	-0.499**	-0.323*	-0.395**	-0.072	0.305*	0.505**	0.136	0.253	-0.102	-0.202
MLVSS	-0.268	-0.146	-0.333*	0.045	0.162	0.395**	0.166	0.339*	-0.129	0.039
SVI	0.610**	0.554**	0.11	0.579**	0.271	-0.087	0.563**	0.568**	0.02	0.463**
Return rate	0.807**	0.710**	0.357*	0.574**	-0.089	-0.23	0.392**	0.320*	0.143	0.658**
F/M	0.322*	0.474**	0.485**	0.295	0.189	0.435**	0.461**	0.212	0.458**	0.408**
BOD load	0.046	0.279	0.305*	0.226	0.353*	0.714**	0.542**	0.308*	0.443**	0.287
SRT	0.196	-0.033	0.214	-0.07	-0.178	-0.215	-0.04	-0.242	0.103	0.115
HRT	0.642**	0.604**	0.286	0.539**	0.022	0.001	0.512**	0.409**	0.068	0.638**
Internal return	0.047	0.143	0.099	0.011	0.086	0.253	0.281	0.193	0.062	0.215

\*p<0.05, \*\*p<0.01, p : Probability

실시하였다. MLE 처리장의 경우는 COD, CODr, TNr는 운전변수를 모두 포함할 경우 회귀방정식이 나타나지 않아 상관계수가 낮은 변수를 순차적으로 제거하면서 회귀방정식(Table 5)을 얻었다.

A<sub>2</sub>O처리장은 BOD 부하와 반송율, MLE처리장은 내부반송이 주요한 변수이다. 회귀방정식의 결정계수는 대부분이 낮은 편이며, A<sub>2</sub>O처리장 BOD의 결정계수는 높은 편이나 독립변수들의 기울기가 낮아 상수값으로 종속변수를 예측하여야 한다. 회귀방정

식을 통해 운전변수로 유출수의 수질 및 제거율을 예측할 수 있다.

3.5. 요인분석

운전변수사이의 요인분석을 행하여 초기 고유치가 1이상인 요인을 각각 4개씩 얻었고 varimax방식으로 회전하여 고유치, 분산의 정도와 Component Matrix를 Table 6, 7에 나타내었다. 요인별 요인부하량은 MLE 처리장인 달서천 공단계열에서 요인 1

Table 5. The regression equation between effluent quality and operating parameters on advanced wastewater treatment plants

Effluent	A <sub>2</sub> O plant		MLE plant	
	Regression equation	R <sup>2</sup>	Regression equation	R <sup>2</sup>
BOD	Return rate×(9.337×10 <sup>-2</sup> )+HRT×(-0.418)+Temp.×(-7.05×10 <sup>-2</sup> )+2.686	0.746	MLVSS×(9.341×10 <sup>-3</sup> )+ MLSS×(-5.14×10 <sup>-3</sup> )+DO×(1.912)-3.443	0.504
COD	Return rate×(5.983×10 <sup>-2</sup> )+SRT×(-1.75×10 <sup>-2</sup> )+F/M×(12.998)+4.960	0.616	Return rate×(0.152)+SRT×(-0.172)+Internal return×(1.963×10 <sup>-2</sup> )+22.093	0.484
TN	Temp.×(-0.237)+MLSS×(1.559×10 <sup>-3</sup> )+10.171	0.576	Internal return×(2.691×10 <sup>-2</sup> )+HRT×(0.748)+Temp.×(-0.224)+4.498	0.604
BODr	BOD load×37.934+F/M×(-59.977)+92.701	0.656	F/M×67.568+88.854	0.170
CODr	SVI×(7.148×10 <sup>-2</sup> )+BOD load×74.732+F/M×(-114.201)+56.553	0.585	MLVSS×(8.844×10 <sup>-3</sup> )+Internal return×(-4.45×10 <sup>-2</sup> )+39.802	0.298
SSr	SVI×(4.429×10 <sup>-2</sup> )+MLSS×(3.072×10 <sup>-3</sup> )+75.023	0.501	MLSS×(2.707×10 <sup>-2</sup> )+Internal return×(-0.133)+10.559	0.520
TPr	Return rate×0.415+BOD load×45.476+12.977	0.482	MLVSS×(2.305×10 <sup>-2</sup> )+DO×(-18.762)+Temp.×(-1.305)+SVI×(-0.459)+106.811	0.640

BODr : BOD removal efficiency, CODr : COD removal efficiency, SSr : SS removal efficiency, TPr : TP removal efficiency

Table 6. Varimax rotated factor loading on MLE plant

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Communality
Influent	-0.921	-0.212	-3.533E-02	-0.163	0.922
Temp.	0.349	-0.744	-0.181	-0.210	0.751
DO	6.617E-02	-0.177	0.165	0.838	0.765
MLSS	0.256	0.845	0.241	-0.169	0.866
MLVSS	0.215	0.929	0.165	-0.118	0.951
SVI	1.417E-02	0.193	0.759	-0.128	0.629
Return rate	0.861	-0.206	0.167	0.159	0.837
F/M	-0.572	-0.257	-0.662	8.113E-02	0.837
BOD load	-0.618	0.149	-0.621	-1.951E-02	0.790
SRT	0.290	0.109	-0.221	0.797	0.780
HRT	0.921	0.220	-9.949E-03	0.131	0.914
Internal return	-6.442E-03	0.232	0.705	0.148	0.573
Eigen value	4.314	2.593	1.463	1.246	
Pct. variance(%)	35.950	21.612	12.188	10.381	

Extraction Method : Principal Component Analysis. Rotation Method : Varimax with Kaiser Normalization

Table 7. Varimax rotated factor loading on A<sub>2</sub>O plant

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Communality
Influent	-0.891	-0.234	-2.193E-02	-0.286	0.931
Temp.	-0.828	0.360	-8.309E-02	0.207	0.866
DO	-2.384E-02	0.252	-0.167	-0.754	0.661
MLSS	-0.207	0.929	4.441E-02	-0.144	0.928
MLVSS	6.538E-02	0.954	-4.847E-02	-0.126	0.933
SVI	0.843	-0.123	0.196	-0.236	0.820
Return rate	0.913	-7.691E-02	-7.857E-02	0.303	0.937
F/M	0.198	-0.186	0.899	0.199	0.923
BOD load	8.026E-02	0.245	0.910	0.160	0.920
SRT	0.284	4.326E-02	-0.554	0.382	0.535
HRT	0.908	0.242	-5.071E-02	0.276	0.962
Internal rate	0.267	0.419	8.087E-02	0.366	0.387
Eigen value	4.302	2.373	2.014	1.114	
Pct. variance(%)	35.849	19.771	16.786	9.284	

Extraction Method: Principal Component Analysis. Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization

이 총 분산의 36%를 나타내었고 요인 2는 22%로 요인 4개가 총 분산의 80.1%를 설명할 수 있다. A<sub>2</sub>O 처리장인 북부처리장은 요인 1이 총 분산의 36%를 나타내었고 요인 2는 20%로 요인 4개가 총 분산의 81.7%를 설명할 수 있다.

달서천 공단계열에서는 요인 1이 유입수량(-0.921), HRT(0.921), 반송율(0.861)과 BOD 부하(-0.618)에 높은 요인 적재치를 나타내므로 “유입수량 감소로 인한 BOD부하가 감소하고, 수리학적 체류시간이 증가함”을 의미한다고 해석하였다. 요인 2는 MLSS(0.845), MLVSS(0.929)의 요인적재치를 보임으로 “생물반응조내 미생물량”으로 해석하였다. 요인 3은 SVI(0.759), F/M(-0.662), BOD load(-0.621)과 내부 반송(0.705)에 높은 요인 적재치를 나타내므로 “유기물의 유입은 줄어들고 내부반송증가로 인해 미생물량이 증가함으로 SVI가 증가함”을 나타낸다고 해석하였다. 요인 4가 포기조 DO(0.838), SRT(0.797)에 높은 요인 적재치를 나타내므로 “SRT 증가로 포기조내 미생물 중 비증식속도가 낮은 종까지 증식이 가능함으로 종 다양성 증가로 인한 유기물산화의 촉진”을 의미한다고 해석하였다.

A<sub>2</sub>O공법을 적용하는 북부처리장은 요인 1이 유입수량(-0.891), 수온(-0.828), HRT(0.908)과 반송율(0.913)에 높은 요인 적재치를 나타내므로 “1, 2월 수온이 낮고 유입수량이 감소하면 수리학적 체류시간이 증가하고 겨울철 미생물의 활동성이 낮아짐으로 반송율을 높여 생물반응조내 MLSS를 높게 유지하는 상태”를 의미한다고 해석하였다. 요인 2는 MLSS(0.929), MLVSS(0.954)의 요인 적재치를 보임으로 ”

생물반응조내 미생물량”으로 해석하였다. 요인 3은 F/M(0.899), BOD 부하(0.910)에 높은 요인 적재치를 나타내므로 “유입수의 유기물 함량”을 나타낸다고 판단된다. 요인 4는 생물반응조 DO(-0.754)에만 높은 요인 적재치를 나타내므로 DO와 관련된 것으로 추정된다. 처리장별 차이는 유입수의 성장과 운영조건의 차이등으로 활성슬러지의 활동성에 영향을 미치고, 활성슬러지에 의해 유출수의 수질 및 제거율이 영향을 받는 것으로 판단된다. 처리장은 활성슬러지를 이용하여 유입수를 처리하는데 활성슬러지에 영향을 미치는 요인은 유입수 성장과 처리장의 운영조건 외에도 미생물사이의 중간, 종내 상호작용, 독성물질의 유입, 수온, 강우 등이 있으나 유입수 성장과 처리장의 운영조건이 가장 주요하다고 알려져 있다<sup>7)</sup>.

표준 활성슬러지법으로 운영되며 도시하수만 유입되는 처리장과 도시하수와 전처리된 분뇨가 섞여서 유입되는 처리장의 포기조를 대상으로 한 통계분석<sup>10)</sup>에서는 요인들이 “미생물 종 다양성 증가로 인한 유기물산화의 촉진”, “포기조내 미생물량”, 활성슬러지의 농축성과 관련이 있는 것으로 사료된다. 두 처리장은 유입수의 성장이 크게 다르고 운전조건도 다른데도 요인 1은 동일한 것으로 해석되며, 모든 요인이 미생물과 관련되어있으므로 유출수의 수질향상에는 활성슬러지내 미생물의 조절이 중요한 것으로 드러났다. 고도처리장 운전조건의 요인분석에서는 미생물을 나타내는 요인도 나타나지만, 두 처리장의 요인 1이 각각 “유입수량 감소로 인한 BOD부하가 감소하고, 수리학적 체류시간이 증가

함”과 “1, 2월 수온이 낮고 유입수량이 감소하면 수리학적 체류시간이 증가하고 겨울철 미생물의 활동성이 낮아짐으로 반송률을 높여 생물반응조내 MLSS를 높게 유지하는 상태”로 해석되는 등 운전상태를 나타내는 요인이 많아 요인의 해석이 어려워 졌다. 고도처리장은 포기조를 분할하여 혐기조, 무산소조, 호기조를 구성하며, 분할된 반응조내의 운전조건이 다르므로 운영변수의 해석이 표준활성슬러지법보다 복잡해진다.

#### 4. 결 론

고도처리 처리장의 유출수수질 및 운전자료로부터 변화특성을 조사하였고 상관관계, 다중회귀분석 및 요인분석의 통계분석을 실시하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) BOD제거율과 MLSS의 상관관계가 MLE처리장에서는 음의 상관관계를, A<sub>2</sub>O처리장에서는 양의 상관관계를 나타내듯이 처리수 수질항목과 운전조건의 상관관계는 처리장별로 차이가 있는 것으로 나타났다.
- 2) 회귀분석에서는 A<sub>2</sub>O처리장은 BOD 부하와 반송율, MLE처리장은 내부반송이 주요한 변수이다. 회귀방정식의 결정계수는 대부분이 낮은 편이며, A<sub>2</sub>O처리장 BOD의 결정계수는 높은 편이나 독립변수들의 기울기가 낮아 상수값으로 종속변수를 예측하여야 한다. 회귀방정식을 통해 운전변수로 유출수의 수질 및 제거율을 예측할 수 있다.
- 3) 요인분석결과 MLE 처리장에서 요인은 BOD부하가 감소와 수리학적 체류시간 증가, 생물반응조내 미생물량, 내부반송증가로 인해 미생물량이 증가함으로 SVI가 증가, 종 다양성증가로 인한 유기물산화의 촉진을 의미한다고 해석하였다. A<sub>2</sub>O공법처리장에서는 수온이 낮을때 반송률을 높여 생물반응조내 MLSS를 높게 유지하는 상태, 생물반응조내 미생물량, 유입수의 유기물 함량, DO와 관련된 것으로 추정된다. 처리장별 차이는 유입수의 성장과 운영조건의 차이등으로 활성슬러지의 활동성에 영향을 미치고, 활성슬러지에

의해 유출수의 수질 및 제거율이 영향을 받는 것으로 판단된다.

- 4) 모든 요인이 미생물과 관련되어있는 표준활성슬러지법 처리장의 요인분석결과와 달리 포기조를 분할한 고도처리장은 분할된 반응조내의 운전조건이 다르므로 미생물을 나타내는 요인외에도 운전상태를 나타내는 요인이 많았다.

#### 감사의 글

본 연구는 대구광역시 환경시설공단의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 환경부, 2004, 하수도 통계(2003), 208-319pp.
- 2) 우수명, 2003, SPSS for windows 11.0, 인간과 복지, 269-322pp.
- 3) Berthouex, P. Mac and L. C. Brown, 1997, 환경통계학, 동화기술, 273-346pp.
- 4) 千種 薫, 2002, 미생물을 활용한 수질관리, 신광출판사, 18-80pp.
- 5) Metcalf and Eddy, Inc., 1993, 폐수처리공학, 동화기술, 652-746pp.
- 6) Kim, S. S., 1989, Relationship between water quality index and protozoa at the sewage plant, M. Sc. Thesis, Yeungnam Univ., 25-32pp.
- 7) 이문호, 1999, 생물학적 폐수처리, 환경관리 연구소, 72-99pp.
- 8) Bisogni, J. J and A. W. Lawrence, 1971, Relationship between biological solid retention time and settling characteristics of activated sludge, Wat. Res., 5, 753-763.
- 9) 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.
- 10) 이찬형, 문경숙, 2002, 통계방법에 의한 하수처리장 운전분석, 한국환경위생학회지, 28(3), 34-38.