

## 통계방법에 의한 하수처리장 운전분석

이찬형<sup>†</sup> · 문경숙\*

대구시 보건환경연구원

\*대구시 환경시설공단

## Analysis of Sewage Plant Operation by Statistical Approach

Chan Hyung Lee<sup>†</sup> · Kyung Sook Moon\*

Health and Environment Institute of Daegu City

\*Environmental Installations Corporation of Daegu City

(Received 18 June, 2002; Accepted 13 August, 2002)

### ABSTRACT

Statistical analysis between sewage plant operating parameters and the effluent quality was performed. We extracted two factors from principal component analysis of operating parameters and effluent quality from each plant. The total variance of 84.7%, 79.2% was explained by the two factors at SB plant and SC plant, respectively. The factors were identified at SB plant in the following order 1) the oxidation of organic material by aeration basin microbe, 2) biomass in aeration basin and at SC plant 1) the oxidation of organic material by aeration basin microbe, 2) thickening of activated sludge. These results suggested that the control of microbial composition might be critical on the improvement of the effluent quality and plant operating efficiency because most of the factors were related with microbes.

**Keywords :** Principal component analysis, Microbial composition, Sewage plant

### I. 서 론

2001년말 기준으로 국내에는 183개소의 하수처리장이 운영되어 하루 1,840만톤의 하수를 처리하고 있다. 처리공법은 대부분이 활성슬러지법이며 일부 소규모 하수처리장이 장기포기법과 회전원판법을 이용하고 있다. 활성슬러지법은 유입유량과 유입농도의 변화에 적응력이 크며 효율적인 처리가 가능한 방법으로 도시하수 및 폐수처리수의 재처리용으로 사용되고 있다. 활성슬러지는 수백종의 미생물이 섞여서 성장하는 혼합배양계로 미생물 상호간의 공생, 협동, 포식 등의 기능이 다양하게 작용하여 하·폐수를 정화하게 된다.<sup>1)</sup> 이러한 상호작용을 잘 제어하면 수질은 향상시키면서 부산물은 적게 발생하는 것이 가능해진다. 그러나 개방시스템에서는 미생물상을 원하는대로 제어하기가 어렵고 미생물상을 정확하게 나타내는 변수가 나타나지 않으므로 여

러 이화학적 분석결과를 바탕으로 경험에 의존하는 경우가 많다. 이번 분석에서는 통계적기법을 이용하여 접근하고자 한다. 하수처리장에 통계적기법을 적용한 경우는 pilot규모에서는 다소 있으나, 실제 운영되는 처리장에 적용한 경우는 찾아보기 어렵다. 통계적 접근을 통해 자료를 단순화시키고 변수 상호간의 의존성과 변수들에게 공통적으로 영향을 미치는 요인들을 파악하여 효율적 하수처리방법의 자료를 제공하고자 한다.

### II. 연구 방법

#### 1. 조사지점

대구시내 하수처리장 중 유입수의 성상이 다른 두 곳을 선정하여 1차 침전지(Primary clarifier), 포기조(Aeration basin), 2차 침전지(Secondary clarifier)를 대상으로 1년간 조사하였다. 두 하수처리장의 운전방법은 표준활성슬러지법으로, SC처리장은 도시하수를 처리하며, 유입수질은 BOD<sub>5</sub>: 57 mg/l, COD<sub>M</sub>: 32 mg/l, SS: 74 mg/l, TN: 19.8 mg/l, TP: 2.2 mg/l이며 유입유량은 493,000 m<sup>3</sup>/d로서 설계유입유량인 680,000 m<sup>3</sup>/d의 73%

<sup>†</sup>Corresponding author : Health and Environment Institute of Daegu City  
Tel: 053-760-1264, Fax : 053-760-1268  
E-mail : chlee@daegumail.net

**Table 1.** The effluent quality and the removal efficiencies

Month	SB sewage plant						SC sewage plant					
	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	R.E. (%)	COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	R.E. (%)	SS (mg/l)	R.E. (%)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	R.E. (%)	COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	R.E. (%)	SS (mg/l)	R.E. (%)
Jan.	7.0	94.5	16.9	74.7	7.0	90.8	3.1	95.3	7.8	72.0	5.2	89.1
Feb.	8.3	93.8	21.1	72.0	1.2	98.6	3.0	96.4	7.7	74.5	5.1	91.4
Mar.	8.1	93.9	20.5	74.4	1.3	98.6	8.0	91.7	9.9	73.2	5.9	90.9
Apr.	8.6	92.7	15.1	82.6	6.1	96.3	4.0	95.9	8.2	75.5	5.4	90.8
May	5.3	95.4	12.9	83.0	4.3	96.7	3.8	95.6	7.7	74.8	5.0	91.6
Jun.	3.2	96.3	10.9	82.2	3.5	97.1	2.9	96.2	7.0	78.2	4.2	93.9
Jul.	4.7	92.5	9.3	81.0	2.7	96.6	2.4	95.7	6.2	72.1	3.7	92.7
Aug.	3.1	92.0	8.5	74.3	2.2	95.0	1.8	94.8	6.1	65.7	5.1	85.9
Sep.	3.0	92.5	8.8	73.8	2.7	93.9	1.4	95.7	5.7	67.6	5.2	87.3
Oct.	4.8	91.7	11.8	74.2	2.5	95.3	1.9	95.6	6.2	72.7	5.1	88.7
Nov.	4.6	92.9	12.3	73.1	3.7	94.3	2.2	95.5	6.5	75.7	4.7	91.9
Dec.	9.3	89.0	15.1	73.5	5.8	90.8	3.0	95.3	7.9	74.8	5.5	91.3

정도이다. SB 처리장은 도시하수와 전처리된 분뇨가 섞여서 유입되어 유입 BOD<sub>5</sub>:88 mg/l, COD<sub>Mn</sub>:59 mg/l, SS:85 mg/l, TN:29.0 mg/l, TP:2.8 mg/l로 SC처리장 보다는 유입수질의 오염정도가 높다. 유입유량은 474,000 m<sup>3</sup>/d로 설계유입유량인 520,000 m<sup>3</sup>/d의 91%수준에서 운영하고 있다.

**2. 분석항목**

수온, pH, BOD, COD, SS, TN, TP는 하수처리장의 일보를 이용하고 Solid Retention Time(SRT), Hydraulic Residence Time(HRT), Food/Microorganism (F/M) 같은 변수는 일일 운전결과를 기초로 하여 계산하였다.

**3. 통계처리**

수질항목 및 운전변수는 월평균을 계산한 후 통계분석프로그램인 SPSS(SPSS Inc., ver. 8)을 사용하여 통계처리하였다.<sup>2,3)</sup> 수질항목과 운전변수 간의 상관관계를 조사한후 Pearson's correlation coefficient가 높은 수질항목과 운전변수간의 다중회귀분석을 실시하여 상호관련성을 규명하고 수식화하였다. 회귀모델선정을 위한 변수투입방법으로는 단계별(stepwise)투입을 이용하였다. 변수간의 관련성을 분석하여 공통성이나 배후의 특징을 적은 개수의 새 변수(요인)으로 변형하여 원래의 정보를 보다 효율적으로 운영하기 위하여 요인분석법을 사용하였다. 요인의 선정은 고유치(eigen value) 1.0 이상의 요인을 선정하였고, 요인적재량을 제공하여 합산한 공통분산(communality)이 0.4 이상인 경우만 분석

하였다. 요인의 회전을 Varimax방식으로 하여 요인간의 상호관련성이 없도록 독립성을 유지하면서 변수를 줄여 통계적으로 유의성이 있는 요인간의 분산의 형태를 해석하고자 하였다.

**III. 결과 및 고찰**

**1. 하수처리장 수질 및 운전조건**

각 처리장의 BOD<sub>5</sub> 제거율은 연중 일정한 편이나 여름철 수온이 높을 때의 제거율이 겨울철 보다 높다. 전처리된 분뇨를 병합처리하는 SB 처리장의 유출수 수질이 다소 나쁘다. 각 처리장의 운영조건을 Table 2에 나타내었다.

**2. 상관분석**

처리장의 운전조건과 유출수 수질의 상관관계는 처리장별로 차이가 있는 것으로 나타났다.

SB처리장은 유입유량, 포기조 온도, MLSS, HRT, SRT가 유출수의 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, TN과 상관성이 높은 것으로 나타났다. SC처리장은 SB처리장보다 상관계수가 낮으나 유입유량, 포기조 온도, SVI, F/M이 유출수의 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS, TN, TP과 상관성이 있는 것으로 나타났다. 유출수의 수질은 유입유량과 음의 상관관계로, 유입유량이 많을수록 BOD<sub>5</sub>등 수질항목의 수치가 낮아진다. 유입유량이 많아지면 오염물질과 미생물의 접촉시간이 적어져 유기물의 제거가 감소하게 되어 수질이 나빠진다는 이론과 상반되는 현상으로 각 처리장의 설계 유입유량과 실제 유입유량과의 차이로 설명

**Table 2.** The monthly variation of sewage plant operating parameters

Month	SB sewage plant						SC sewage plant					
	Temp (°C)	MLSS (mg/l)	F/M Δ	SRT (day)	HRT (hr)	SVI	Temp (°C)	MLSS (mg/l)	F/M Δ	SRT (day)	HRT (hr)	SVI
Jan.	12.2	2240	0.15	16.9	9.2	142	9.9	1277	0.12	26.0	10.3	102
Feb.	11.7	2304	0.15	15.0	9.0	121	8.7	1541	0.12	25.7	10.6	127
Mar.	14.8	2870	0.13	11.7	8.5	109	11.6	1731	0.16	20.8	8.2	131
Apr.	18.1	3473	0.10	10.8	8.5	103	15.0	1791	0.16	18.4	8.3	133
May	22.3	2907	0.12	10.5	7.9	83	18.4	2170	0.12	23.3	7.9	104
Jun.	23.3	2132	0.15	8.7	6.6	91	21.9	2075	0.12	17.7	7.6	92
Jul.	24.6	1551	0.15	8.5	6.4	96	24.5	1821	0.11	15.9	6.4	76
Aug.	25.1	1176	0.13	8.3	6.3	114	25.0	1441	0.10	14.0	6.1	68
Sep.	24.2	1124	0.14	9.8	6.3	101	22.6	1386	0.09	19.3	6.5	70
Oct.	21.3	1320	0.16	8.6	6.7	112	20.2	1457	0.09	18.4	8.1	2
Nov.	17.9	1545	0.15	10.4	6.6	104	16.2	1543	0.10	12.5	7.8	105
Dec.	11.9	1734	0.16	13.2	7.2	124	12.2	1719	0.10	12.4	8.6	108

Δ : kg BOD<sub>5</sub>/kg MLSS · day.

**Table 3.** The correlation coefficient between the effluent quality and operating parameters at SB sewage plant

Effluent	Influent flow rate (m <sup>3</sup> /d)	AER Temp. (°C)	MLSS (mg/l)	HRT (hr)	SRT (day)
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	-0.823**	-0.861**	0.615*	0.765**	0.696**
COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	-0.916**	-0.879**	0.622*	0.884**	0.772**
SS (mg/l)	-0.344	-0.304	0.310	0.286	0.401
TN (mg/l)	-0.929**	-0.861**	0.756**	0.865**	0.754**
TP (mg/l)	-0.375	-0.274	0.408	0.435	0.207

\*P<0.05, \*\*P<0.01.

AER means Aeration Basin.

이 가능하다. SB처리장의 설계유량은 52만톤이고, SC 처리장은 68만톤이다. 실제 유입되는 유량은 각각 41~52만톤과 42~61만톤으로 설계유량보다 적은 양을 처리하고 있다. 그러므로 유입유량이 설계유량과 근접하면 제거율이 높아져 수질오염도가 낮아지고, 유입유량이 설계유량보다 적을수록 처리효율이 낮아져서 수질수치가 높아진다. 유출수 수질은 포기조 온도와도 음의 상관관계인데, 온도가 상승하면 미생물 내의 화학적 효소적 반응은 빨라지고 성장이 가속화된다.<sup>4)</sup> 여름철 수온이 20°C~30°C 범위에서는 대부분 세균의 성장이 촉진되고 생체활동이 활발해져 유기물의 분해, 흡착과 산화활동이 왕성하므로 유기물의 제거율이 높아져 맑은 처리수를 얻을 수 있다. 김<sup>9)</sup>의 대구 달서천처리장 연구에서도 여름철의 BOD<sub>5</sub> 제거율이 높았다. 미생물체류시간인 SRT와 유출수수질과는 양의 상관관계를 나타낸다. SRT의 증가는 원생동물같이 비증식속도가 낮은 미생물들의 포기조내 생존이 가능하게 하므로, 미생

물군집내 종 다양성이 증가하게 된다.<sup>6)</sup> 다양한 종들로 이루어진 활성슬러지는 환경적 변동에 적응력이 우수해져 유출수 수질의 향상과 안정성이 이루어진다. 그러나 Bisogni<sup>7)</sup>는 SRT가 길어져 9~12일이면 저밀도의 불규칙적형태의 플록이 생성되어 유출수가 탁해지고 수질이 나빠진다고 보고하였다. 분석대상인 두 처리장에서 SRT가 길어지면 핀플록이 형성되어 수질이 나빠지므로 SRT를 9일 이하로 낮추어 운영하여야 한다.

### 3. 회귀분석

하수처리장 운전조건과 포기조 온도를 대상으로 회귀 분석을 하였다. F/M, 포기조 온도와 HRT가 유출수 수질예측에 중요한 변수로 나타났다. 포기조 온도는 대부분 수질항목의 회귀방정식에 변수로 포함되어 있으므로 중요한 변수이지만 현실적으로 포기조 온도를 적절한 범위로 유지하는 것은 경제적으로 실현 불가능하다. 그러나 매년 같은 달의 포기조 수온의 범위는 일정하

**Table 4.** The correlation coefficient between the effluent quality and operating parameters at SC sewage plant

Effluent	Influent flow rate (m <sup>3</sup> /d)	AER temp. (°C)	SVI	MLSS (mg/l)	HRT (hr)	F/M Δ	SRT (day)
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	-0.505	-0.507	0.699*	0.334	0.271	0.837**	0.299
COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	-0.685*	-0.744**	0.849**	0.285	0.546	0.834**	0.379
SS (mg/l)	-0.493	-0.583*	0.516	-0.311	0.370	0.334	0.225
TN (mg/l)	-0.462	-0.792**	0.700*	0.133	0.798**	0.640*	0.662*
TP (mg/l)	-0.546	-0.487	0.741**	0.520	0.509	0.864**	0.575

\*P<0.05, \*\*P<0.01.

Δ: kg BOD<sub>5</sub>/kg MLSS · day.

**Table 5.** The regression equation between the effluent quality and operating parameters

Effluent	SB sewage plant		SC sewage plant	
	Regression equation	R <sup>2</sup>	Regression equation	R <sup>2</sup>
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	61.272 F/M-3.972	0.670	-0.325 Aeration Basin Temp+1.027×10 <sup>-3</sup> MLSS+9.907	0.806
COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	0.145 MLVSS%-1.8914	0.725	2.678HRT-0.693Aeration Basin Temp-0.874SRT+ 16.460	0.906
SS (mg/l)	-5.92×10 <sup>-2</sup> Aeratin Basin Temp.+6.025	0.274	-	-
TN (mg/l)	-12.628 Aeration Basin Temp.+102.2	0.637	1.498HRT-0.307Aeration Basin Temp+12.139	0.813
TP (mg/l)	6.959 F/M+0.330	0.722	-	-

**Table 6.** Varimax rotated factor loading

Variable	SB sewage plant			SC sewage plant		
	Factor1	Factor2	Communality	Factor1	Factor2	Communality
AER DO (mg/l)	0.766	0.211	0.631	0.935	*	0.874
SVI	0.839	-0.405	0.868	0.415	0.811	0.830
MLSS (mg/l)	0.305	0.902	0.907	-0.527	0.695	0.761
HRT (hr)	0.812	0.518	0.928	0.840	0.333	0.816
F/M Δ	0.135	-0.901	0.830	0.203	0.867	0.793
SRT (day)	0.956	*	0.914	0.771	0.268	0.666
Eigen value	3.149	1.932		2.989	1.761	
Pct.variance(%)	52.48	32.20		49.81	29.35	

\* indicates value is less than 10<sup>-2</sup>.

Δ: kg BOD<sub>5</sub>/kg MLSS · day.

므로 회귀방정식으로 유출수의 수질 예측은 가능하다고 사료된다. 각 처리장의 월별 운영조건, 수질자료, 회귀방정식을 고려하면 SB처리장은 F/M를 0.13에서 0.14 범위로 유지하고 SC처리장은 HRT를 7시간 이하로 유지하면 양호한 유출수를 얻을 수 있다.

**4. 요인분석**

포기조 운전변수를 대상으로 요인분석을 수행한 결과 고유치가 1 이상인 요인이 처리장별로 두개씩 얻어졌다.

SB처리장의 경우, 요인 1은 포기조 DO(0.766), HRT(0.812)과 SRT(0.956)에 높은 요인 적재치를 보이므로 SRT증가로 포기조내 미생물중 비증식속도가 낮은 종까지 증식이 가능하므로 종다양성 증가로 인한 유기물산화의 촉진을 의미한다고 사료된다. 요인 2는 MLSS(0.902), F/M(-0.901)의 요인적재치를 보이므로 포기조내 미생물량으로 해석하였다.

SC처리장은 요인1이 포기조 DO(0.935), HRT(0.840), SRT(0.771)에 요인적재치를 보이므로 SB처리장의 요인

1과 같은 미생물 종다양성 증가로 인한 유기물산화의 촉진을 의미한다고 사료된다. 요인2는 요인적재치가 F/M(0.867), SVI(0.811)이므로 적정 F/M비 유지로 인한 활성슬러지의 농축성과 관련이 있는 것으로 사료된다. 두 처리장은 유입수의 성상이 크게 다르고 운영조건도 다른데도 요인1은 동일한 것으로 해석된다. 모든 요인이 미생물과 관련이 있으므로 유출수의 수질향상에는 활성슬러지 내 미생물상의 제어가 주요한 것으로 드러났다. 하수처리장에서 미생물상을 조절하는 주요한 운전변수로는 1) BOD<sub>5</sub> 부하, 2) 포기조의 온도, pH와 DO, 3) HRT와 SRT, 4) 미생물량(biomass)와 미생물의 활동성, 5) 포기조 내 교반<sup>8)</sup>을 들 수 있다. 또한 활성슬러지를 전체적으로만 볼 것이 아니라, 수많은 미생물들로 이루어진 활동이 왕성한 생태계로 인식하고 미생물군집 내에서 동일종 간의 관계와 다른 종과의 관계 파악에 연구가 이루어진다면 효율적인 하수처리운전이 가능하다고 생각된다. 미생물들이 최적으로 활동할 수 있는 조건은 종마다 다르므로 유입수의 성상별, 운전방법별, 주위환경에 따라 적합한 미생물이 나타날 수 있다. 각 하수처리장별 운영조건에 최적의 생육을 나타내는 미생물들을 찾아 미생물군집이 오염물질 제거에 효과적인 방향으로 처리장의 운영조건을 변화시켜야 한다.

#### IV. 결 론

하수처리장을 효율적으로 운영하기 위해 유입수의 성상이 다른 두 처리장을 대상으로 처리장 운전조건과 유출수 수질항목의 관계를 통계적으로 분석하여 다음의 결과를 얻었다.

1. 유출수의 수질은 포기조 온도와 유입유량에 음의 상관관계를 나타내었다. SRT가 증가할수록 미생물 종다양성이 증가하여 처리수질은 좋아지는데, 이번 분석에서는 유출수 수질과 SRT는 양의 상관을 나타내므로 다소 길게 운전하고 있는 SRT를 감소시킬 필요가 있다.

2. 회귀분석의 결과 F/M, 포기조 온도와 HRT가 유출수 수질예측에 중요한 변수로 나타났다.

3. 요인분석을 하여 고유치가 1 이상인 요인이 각 처리장에서 2개씩 얻어졌다. 요인 1은 각 처리장에서 미생물 종다양성 증가로 인한 유기물산화의 촉진을 의미한다고 사료된다. 요인 2는 SB처리장에서는 포기조 내 미생물량으로 해석되고, SC처리장에서는 적정 F/M비 유지로 인한 활성슬러지의 농축성과 관련이 있는 것으로 사료된다.

4. 모든 요인이 미생물과 관련이 있으므로 유출수 수질향상과 하수처리장 효율적 운영에는 미생물상의 제어가 중요하다고 판단된다.

#### 참고문헌

1. Ronald, M. Atlas and B. Richard : Microbial ecology, The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc., Redwood, CA, 1991.
2. Yoo, D. K. and Kwan, Y. S. : SPSSWIN 8.0 for statistics analysis. Kihanjae Press, Seoul, 1999.
3. Berthouex, P. Mac, and Brown, L. C. : Statistics for environmental engineers. Lewis publishers, London, 1994.
4. Thomas, D. Brock and Michael, T. Madigan : Biology of microorganisms. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1991.
5. Kim, S. S. : Relationship between water quality index and protozoa at the sewage plant. M, Sc. Thesis, Yeungnam Univ., Korea, 1989.
6. Lee, M. H. : Biological sewage · wastewater treatment. Environmental Management Research Center, Seoul, 1999.
7. Bisogni, J. J. and Lawrence, A. W. : Relationship between biological solids retention time and settling characteristics of activated sludge. *Water Research*, 5, 753-763, 1971.
8. Sudo : Prospect and problem of biological wastewater treatment technology. *J. KSWPRC*, 7(3), 193-199, 1991.