

신뢰성에 기초한 하수처리장 운전효율 평가

이두진[†] · 선상운*

한국수자원공사 수자원연구원 · *가람엔지니어링

(2006년 10월 20일 접수, 2007년 3월 19일 채택)

Performance Evaluation of WWTP Based on Reliability Concept

Doojin Lee[†] · Sangwoon Sun*

Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation · *Garam Engineering

ABSTRACT : Statistical and probabilistic method was used in the analysis of data, which is the most effective one in describing the various natures, and the methodology relating the results with the design was developed. Influent and effluents of three treatment plants were analyzed and the focus was made on BOD, COD, SS, TN, TP. The fluctuations of influent such as BOD, COD, SS were extremely large and their standard deviations(st.dev) were more than 10 mg/L. but those of TN, TP were small; the st.dev was 6.6 mg/L for TN, 0.6 mg/L for TP, respectively. But, effluent concentration showed consistent pattern regardless of the influent fluctuations, the st.dev was ranged between 0.28 and 4.48 mg/L. Effluent distributional characteristics were as follows; BOD, COD were distributed normally, but SS, TN, and TP, log-normally; unsymmetric and skewed to the right. The coefficient of reliability(COR) based on the results of statistics of data was introduced to evaluate the process performance and to reflect the process performance to the process design. The coefficient of reliability relates the design value(the goal) with the standards and it can be used in operating treatment facilities under a certain reliability level and/or in evaluating the reliability of the treatment facilities on operation. Each treated water quality of effluent showed the half of water quality standards in the level of 50% percentile and all treatment plant was achieved 100% probability of water quality standards. It was concluded that the variability of the process performance should be reflected to the design procedure and the standards through the analysis based on the statistics and the probability.

Key Words : Reliability, Performance Evaluation, Statistical Analysis, Coefficient of Reliability, Percentile

요약 : 본 연구에서는 변동적인 특성을 지닌 자료 분석에 효과적인 확률, 통계기법을 도입하여, 하수처리장의 처리효율을 분석하고 그 결과를 설계에 반영할 수 있는 방법을 제시하였다. 이를 위하여 3개 대상하수처리장의 유입수와 처리수 자료(BOD, COD, SS, TN, TP)를 대상으로 통계분석을 실시하였다. 유입수의 표준편차는 9.7~34.9 mg/L로 평균농도 대비 약 16.7~54.7%의 범위를 보였으며, BOD와 SS가 상대적으로 큰 편차를 보였다. 처리수는 전 항목에 걸쳐 표준편차 0.28~4.48 mg/L, 평균수질 대비 13.9~125%의 범위를 보였고, SS의 변동이 큰 것으로 나타났다. 각 처리장 처리수의 분포는 일정한 양상을 보이지 않았지만 BOD와 COD의 경우 전반적으로 정규분포 형태를, SS와 TN, TP는 대수정규분포에 근접한 형태를 나타냈으며, 오른쪽으로 치우친 경향을 나타내었다. 위와 같은 기본적인 통계처리 결과를 바탕으로 신뢰도 계수(coefficient of reliability, COR)를 도입하여 처리효율을 평가한 결과, 각 항목의 처리수질은 백분위 50% 수준에서 방류수 수질기준의 절반에 해당하는 농도를 보였으며, 모든 처리장에서 연간 방류수 수질기준 달성확률이 100%로 나타났다. 처리공정의 설계와 운전시 각 공정이 가지는 고유의 변동성을 반영하기 위해서는 성능결과를 객관화 할 수 있는 확률적 접근이 필요하며, 특히 방류수 수질기준에 대한 처리성능을 보다 과학적으로 평가하기 위해서는 신뢰성계수를 도입하여 기준달성의 신뢰성을 분석하는 것이 적절할 것으로 판단되었다.

주제어 : 통계적 기법, 신뢰도, 신뢰도계수, 백분위, 수질기준

1. 서론

유역의 수질오염을 합리적이고 효율적으로 관리하기 위해서는 적절한 관망체계에서부터 하수처리시설, 처리수 방류시설 및 방류하천의 수질평가, 주기적인 모니터링 등에 이르는 종합적인 시스템의 구축이 필요하며 이를 위해서 하수관거, 하수처리장과 같은 환경기초시설의 건설과 운전은 필

수적이다. 현재 운전되고 있는 하수처리장은 설계시 대상처리공정이 갖는 처리성능에 대한 신뢰성이 부족하고 운영면에서는 유입수질 대비 처리수질 비율, 방류수 수질기준 초과여부 등으로 처리성능을 평가하고 있다. 처리장의 효율을 평가하는 방법으로 대상오염물질의 농도감소 즉, 제거효율이 주로 사용되고 있으며, 처리공정을 거치면서 대상 오염물이 어느 정도 처리되었는지를 평가하게 된다. 그러나 처리공정이 일정한 농도로 처리수를 배출한다고 하여도 유입농도가 높은 경우에는 제거효율이 좋은 것으로, 유입농도가 낮은 경우에는 제거효율이 상대적으로 저조한 것으로 평가되므로, 동일한 처리수질에도 불구하고 처리성능을 다르게 이해하는 오류를

[†] Corresponding author
E-mail: jin7381@yahoo.co.kr
Tel: 042-870-7503

Fax: 042-870-7549

남을 수 있다. 이러한 단순한 처리효율평가를 대신하여 유출수질을 통계학적으로 해석하고 이를 통하여 처리시스템의 성능을 평가하고자 하는 시도가 몇몇 연구자들에 의해 수행되어 왔다.

Niku⁵⁾ 등은 신뢰성 이론을 바탕으로 처리수질과 설계수질을 이용한 신뢰도 계수를 제시하였으며, 이를 근거로 처리수 수질이 설계기준을 초과할 확률을 도출함으로써 확률적인 설계기준 설정방법을 제안하였다. 이러한 통계적 해석은 전체 자료군에서 각각의 자료가 갖는 서열을 분명하게 나타낼 수 있고, 확률분포를 통하여 그 자료가 발생할 수 있는 확률과 그것이 어느 정도의 신뢰성을 갖는가에 대하여 설명을 할 수 있다. Franz¹⁾ 등은 하수처리공정의 운전효율을 평가하기 위하여 처리수질에 대한 확률분포함수(probability function)를 활용하였으며, 처리수 농도의 평균값과 99%의 확률농도값을 기준으로 처리효율을 분석하였다.

본 연구에서는 하수처리장 설계와 운전에 있어 통계적 기법을 적용함으로써 보다 신뢰성 있는 설계와 성능평가가 가능하도록 하기 위하여 하수처리장의 유입수와 처리수를 Niku⁵⁾ 등이 제시한 신뢰도 계수를 도입하여 통계학적으로 분석하고 그 결과를 활용하는 방안에 대하여 살펴보았다.

2. 연구방법 및 절차

2.1. 신뢰성 분석

2.1.1. 신뢰성 이론(Reliability concept)

신뢰성의 정의는 ‘실패없이 소기의 목적을 수행할 수 있는 능력’ 혹은 ‘어떤 시스템이 주어진 조건 하에 정해진 기간 동안 실패하지 않을 확률’⁶⁾로 알려져 있으며, 처리공정의 효율측면에 있어서의 정의는 다음과 같이 이해될 수 있다.

실패(failure) = 처리수 수질농도(effluent conc.) > 처리수 수질기준(effluent standards)

신뢰성(reliability) = 1 - P(failure)
= 1 - P(effluent conc. > effluent standards)

설계수질을 얼마로 선정해야 항상 방류수 수질기준을 초과하지 않으며, 그 신뢰도는 어느 정도인가 하는 것이 경제적인 측면과 더불어 설계에 있어서 가장 큰 관건이 되는 사항이다. 설계가 대상처리공정의 효율을 확실하게 보여주는 신뢰성 있는 자료를 바탕으로 이루어진다면, 이러한 문제를 해결할 수 있을 것이다.

2.1.2. 신뢰도 계수(coefficient of reliability, COR)

신뢰도 계수는 방류수 수질기준과 설계수질과의 관계를 나타내며 다음과 같이 정의된다.⁵⁾

$$COR = \frac{X_d}{X_s} \quad (1)$$

X_d : 설계수질(mg/L)

X_s : 방류수 수질기준(mg/L)

처리수의 농도(또는 설계수질)가 방류수 수질기준을 초과하지 않을 확률을 정규화하여 나타내면 다음과 같다.

$$P = (X_d \leq X_s) = P(Z_d \leq Z_s) = P\left(Z_d \leq \frac{X_s - X_d}{\sigma_x}\right) \quad (2)$$

$$= P(Z_d \leq Z_{1-\alpha}) = 1 - \alpha$$

여기서 Z는 N(0,1)을 갖는 변수이며, α 는 처리수 농도가 수질기준을 초과할 확률을 나타낸다. $Z_{1-\alpha}$ 는 측정된 처리수의 농도를 정규화한 것으로 아래와 같이 나타내어진다.

$$\frac{X_s - X_d}{\sigma_x} = Z_{1-\alpha} \quad (3)$$

자료의 상대적 변동을 나타내는 무차원 척도로써, 평균에 대한 표준편차의 비인 변동계수(coefficient variation, CV)를 도입하여 위 식을 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{X_d}{X_s} = \frac{1}{Z_{1-\alpha} \cdot CV + 1}$$

$$= COR \quad (4)$$

COR을 이용하여 설계수질을 결정하는 방법은 다음과 같다.

$$X_d = \frac{1}{Z_{1-\alpha} \cdot CV + 1} X_s$$

$$= COR \cdot X_s \quad (5)$$

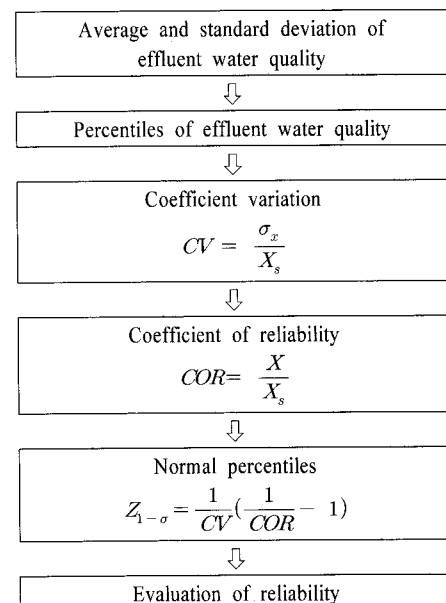


Fig. 1. Flow of Reliability analysis.

2.2. 연구수행절차

본 연구에서는 백분위와 변동계수를 이용하여 신뢰도계수를 도출하고, 처리수질별 정규백분위 분석을 통하여 처리수질의 신뢰성을 평가하는 방법을 제시하였으며, 실제 처리장 운전데이터를 이용하여 신뢰성분석을 수행하였다. 수행절차는 Fig. 1과 같다.

신뢰도계수를 토대로 처리수질별로 정규백분위를 산정한 후 백분위와의 관계를 이용하여 해당 수질의 신뢰도를 평가할 수 있다(Fig. 2 참조). 처리수질 농도가 높을수록 신뢰도계수가 작아지게 되며, 수질기준을 초과하는 농도부터 신뢰도가 100% 미만이 된다.

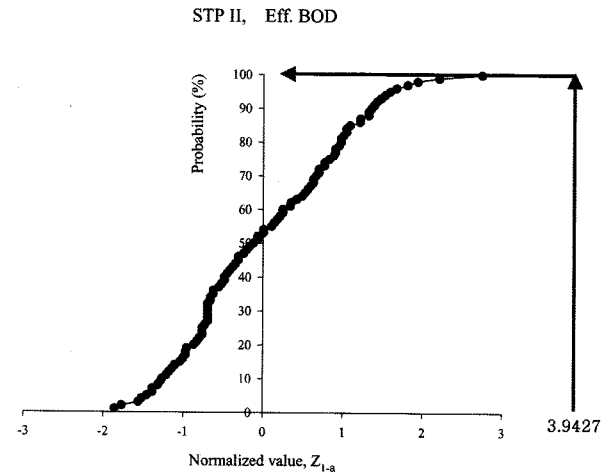


Fig. 2. Reliability and normalized percentile.

2.3. 연구대상 처리장

하수처리장의 유입수와 처리수의 특성과 처리장의 성능평가를 위하여 생활하수를 처리하고 있는 3개의 처리장을 연구 대상으로 선정하였다. 처리장 개요는 다음과 같다.

Table 1. Introduction of sewage treatment plant

Item	STP I	STP II	STP III	
Design capacity(m ³ /day)	54,000	20,000	500	
Design criteria(mg/L)	BOD	135	146	175
	SS	112	120	153
Treatment process	Conventional activated sludge	Conventional activated sludge	Biological nutrient removal process (intermittent aeration)	

2.4. 평가항목 및 도출인자

일반적으로 통계분석을 실시할 경우, 표본집단이 모집단의 특성을 나타내기 위해서는 실측자료수가 전체집단의 66% 이상 되어야 하며, 이상치(outliers)를 배제하여야 한다.⁴⁾ 측정자료는 처리장으로 부터 제공받았으며, 자료수는 240개 이상(365일의 66%)으로 조건을 만족하였으며, 이상치는 처리장에서 발생할 수 있는 모든 상황을 고려하기 위하여 배제하지 않고 대상자료에 포함하였다.

Table 2. Evaluation items

	STP I	STP II	STP III
Period	2002. 1 ~ 2002. 12	2002. 1 ~ 2002. 12	2001. 3 ~ 2002. 2
Sample number(N)	360	365	365
Evaluation item	Influent Effluent	flowrate, BOD, COD, SS, TN, TP BOD, COD, SS, TN, TP	
Result	Influent	Mean, Standard deviation, Coefficient of variation, Skewness, Kurtosis, Percentile	
	Effluent	Mean, Standard deviation, Coefficient of variation, Skewness, Kurtosis, Percentile, Normalized percentile, Coefficient of reliability, Probability plot	

왜곡도(skewness)는 평균에 대한 자료분포의 비대칭성에 대한 척도이며, 평균에 대한 3차모멘트로 정의된다. 자료의 분포가 대칭이면 0, 양이면 오른쪽으로 치우친 분포(자료들이 평균의 왼쪽에 많이 몰려 있으며, 극치값은 오른쪽에 있는 경우)를, 음인 경우에는 왼쪽으로 치우친 분포(자료들이 평균의 오른쪽에 많이 몰려 있으며, 극치값은 왼쪽에 있는 경우)를 보인다. 절대값이 0.25 이하인 경우 그 분포는 대칭이라 할 수 있으며, 0.25를 초과하는 경우에는 비대칭성에 대한 평가를 실시해야 한다.⁸⁾

첨도(kurtosis)는 평균에 대한 4차모멘트로 정의되며, 분포 곡선의 폭에 대한 첨점까지의 높이의 비로써 첨두(peakness)를 나타낸다. 정규분포에 비하여 첨점이 높은 경우 양의값(leptokurtie)을, 낮은 경우 음의값(platykurtie)을 나타낸다. 자료의 분포가 정규분포를 따르는 경우 왜곡도 계수와 첨두계수는 모두 0이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유입수의 통계적 특성

3.1.1. 유입유량

처리장의 유입유량은 강우가 집중되는 여름철에 증가하는 경향이 확연하게 나타났다.

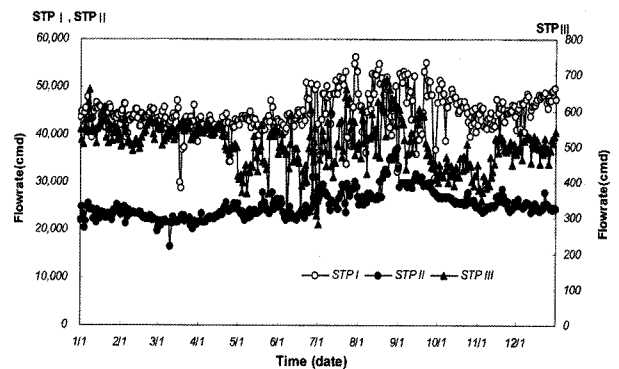


Fig. 3. Annual variation of influent flow.

Table 3. Statistical characteristics of influent flow

	Mean(m ³ /d) (Max. ~ Min.)	St.dev (m ³ /d)	CV	Skewness	Kurtosis
STP I	44,298 (56,166 ~ 5,582)	5220.52	0.12	-2.70	17.54
STP II	25,302 (37,107 ~ 16,588)	2972.68	0.12	1.09	1.86
STP III	508 (687 ~ 283)	64.55	0.13	-0.33	0.58

Table 4. Comparison of design flow and real flow

Item		STP I	STP II	STP III
Design flow	(m ³ /d)	54,000	20,000	500
Real flow ¹⁾	(m ³ /d)	44,298	25,302	508
Ration ²⁾	(%)	82.0	126.5	101.6

1) 실제유입 평균유량
 2) (실제유입량 / 설계유량) × 100(%)
 STP II는 1~2월, 6~8월 유량자료에 근거하였음.

최대유량과 최소유량은 2~10배 가량 차이가 발생하였으며 설계유량에 대한 실제유입량은 STP I는 82% 수준, STP II는 27%를 초과하였고, STP III는 거의 일치하였다. 유량의 변동은 부하변동으로 나타나며 이는 처리효율에 직접적으로 영향을 미치게 된다.

3.1.2. 유입수질

유입수질 변동을 살펴보기 위하여 시계열분포(연간)와 기본적인 통계학적 인자를 산출하였다. Fig. 4와 같이 계절에 따라 연중 유입수질의 변화가 뚜렷하게 나타났으며, 강우가 집중되는 여름철(7~9월)에는 희석효과에 의하여 다른 시기보다 낮은 경향을 나타내었다. STP II, III도 거의 유사한 경향을 나타내었다.

Table 5에서 STP I의 경우 BOD와 SS의 표준편차가 평균수질에 대비해서 상대적으로 크게 나타났으며, 변동계수는 0.3 이하의 작은 값이 나타났다. 또한 왜곡도 계수는 모든 항목이 0.25 이상의 값을 보여 평균치보다 작은 농도의 유입이 많았던 것을 알 수 있다. 첨도계수는 0 이상을 상회하여 평균에 밀집한 형태를 보이고 있음을 알 수 있다.

Table 5. Statistical characteristics of influent water quality

Item	Mean(mg/L) (Max. ~ Min.)			St.dev(mg/L)			CV			Skewness			Kurtosis		
	STP I	STP II	STP III	STP I	STP II	STP III	STP I	STP II	STP III	STP I	STP II	STP III	STP I	STP II	STP III
BOD	53 (168~22)	120 (216~44)	177 (15~2)	29.00	30.48	34.85	0.33	0.26	0.20	2.39	0.21	0.17	11.40	0.74	0.41
COD	36 (87~12)	46 (83~17)	75 (13~5)	9.73	10.93	16.77	0.27	0.24	0.22	0.70	0.06	-0.04	3.39	-0.14	0.78
SS	70 (285~20)	53 (138~20)	89 (18~1)	33.05	15.03	30.64	0.47	0.28	0.35	2.65	1.00	4.72	10.21	3.77	43.35
TN	23 (49~9)	18 (33~7)	36 (37~5)	4.12	5.90	6.60	0.18	0.33	0.19	1.02	0.39	-0.83	4.67	-0.65	1.20
TP	1.1 (2.0~0.5)	2.3 (3.8~0.4)	2.2 (3.8~0.4)	0.22	0.52	0.52	0.21	0.23	0.23	1.18	-0.54	-0.54	2.69	1.05	1.05

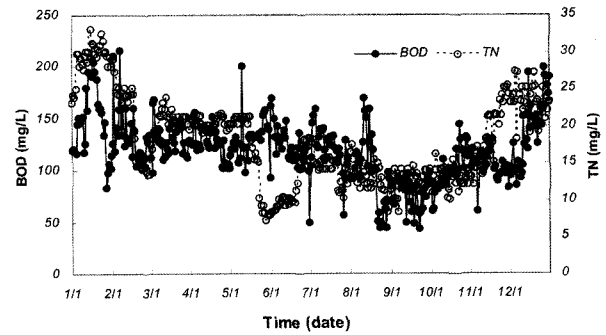


Fig. 4. Variation of influent water quality(STP I).

STP II의 변동계수는 STP I의 경우와 비슷한 양상을 보였으나, BOD와 COD의 왜곡도 계수는 0.25 미만의 값을 보여 대칭성을 보였고, 나머지 항목은 비대칭성을 나타냈다. STP III도 다른 처리장과 마찬가지로 SS, COD, BOD, TP, TN의 순으로 평균수질 대비 표준편차의 변동이 큰 것으로

Table 6. Percentiles of influent water quality (unit : mg/L)

	Percentile	BOD	COD	SS	TN	TP
STP I	25%	41	30	50	20	0.9
	50%	51	36	60	23	1.0
	75%	59	41	80	25	1.2
	90%	69	46	101	28	1.3
	95%	84	51	130	29	1.5
STP II	25%	102	38	43	13	1.3
	50%	120	47	53	17	1.7
	75%	135	54	62	21	2.0
	90%	157	60	70	25	2.7
	95%	169	62	77	29	2.9
STP III	25%	154	65	71	32	2.0
	50%	178	78	85	36	2.3
	75%	198	86	98	40	2.6
	90%	223	93	113	43	2.9
	95%	233	99	130	45	3.0
	99%	271	120	197	48	3.3

주) BOD, COD, SS, TN는 소수 첫째자리, TP는 소수 둘째자리에서 반올림 하였음.

나타났다. 특히 SS의 분포는 오른쪽을 치우친 경향이 두드러졌으며(왜곡도 계수 참고), 침도 또한 높은 것으로 나타났다.

각 처리장의 유입수질에 대한 백분위를 산정하여 Table 6에 정리하였다.

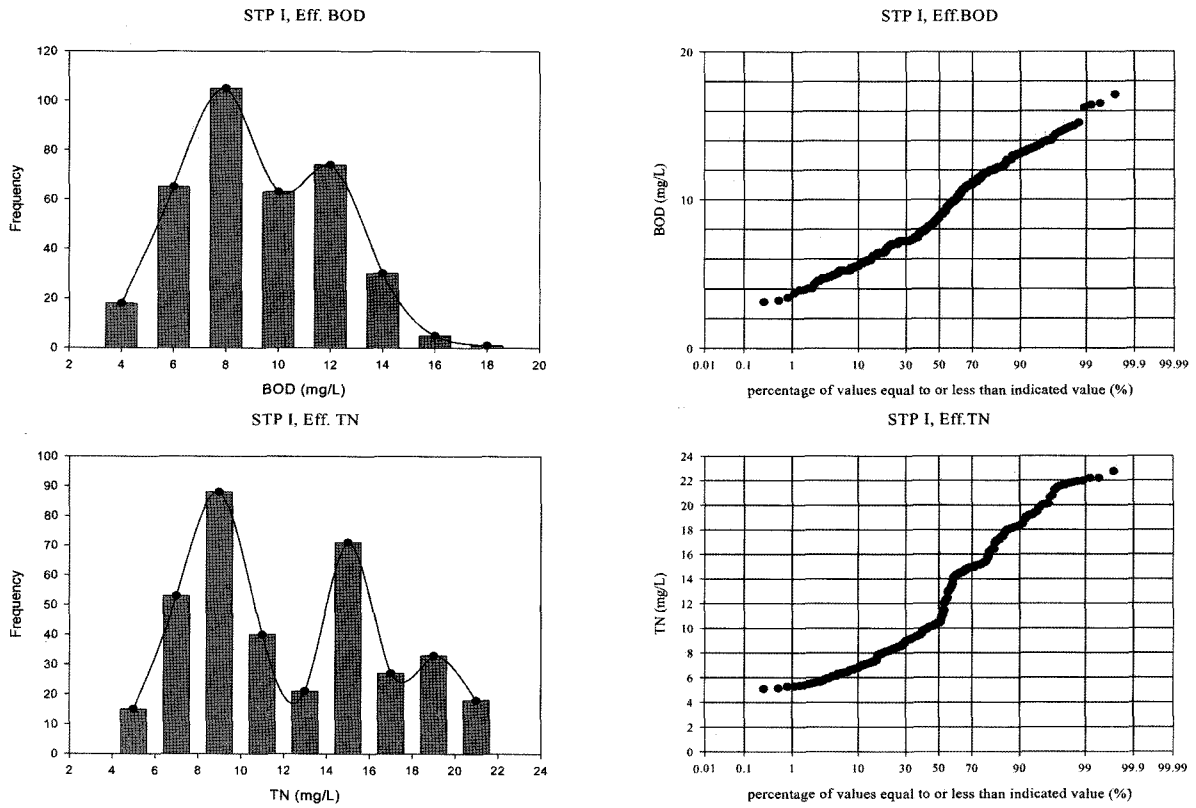


Fig. 5. Histogram and probability of effluent BOD and TN at STP I.

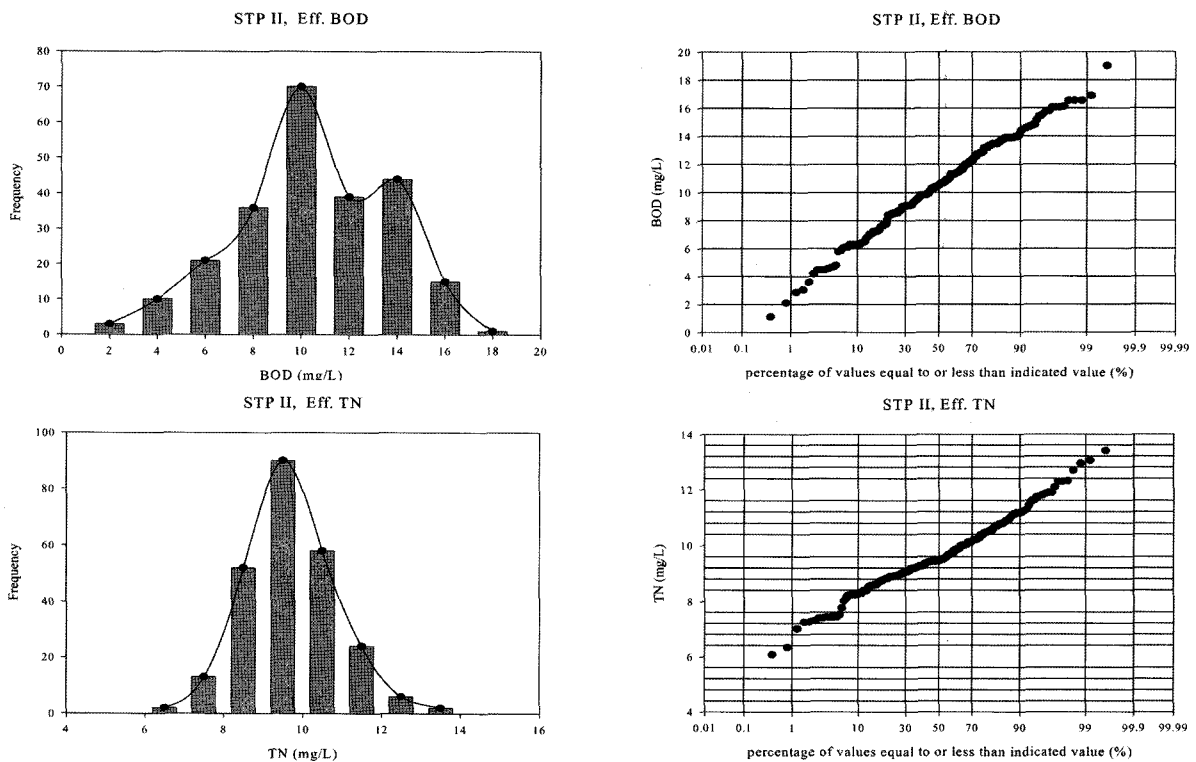


Fig. 6. Histogram and probability of effluent BOD and TN at STP II.

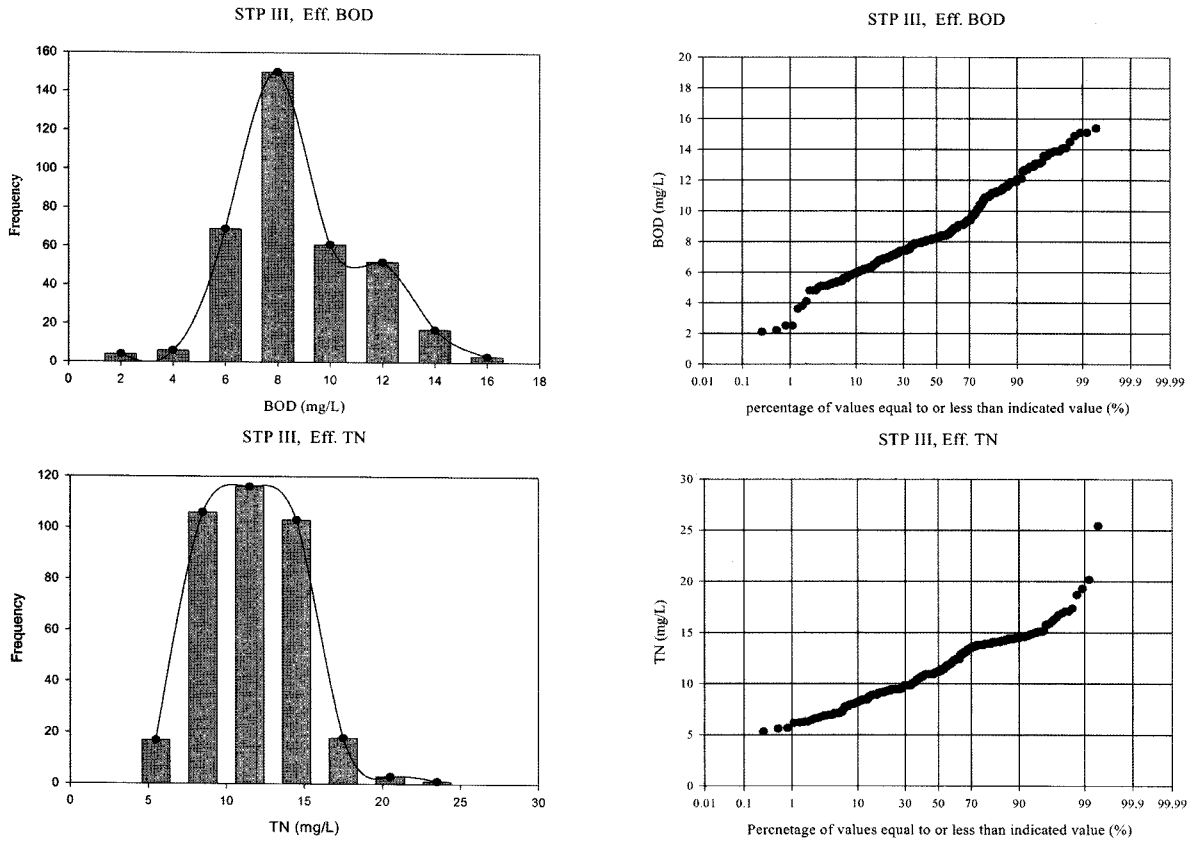


Fig. 7. Histogram and probability of effluent BOD and TN at STP III.

3.2. 처리수의 통계적 특성

3.2.1. 처리수의 정규성에 관한 검토

자료의 정규성에 대한 평가는 히스토그램과 확률지를 사용하여 전체적인 양상을 파악하고, 첨도와 왜도를 구하여 분포 특성을 평가하였다. 히스토그램과 확률지 도시방법은 BOD와 TN에 대한 결과만 표시하였다.

분포가 정규분포를 따르는 경우 히스토그램은 대칭성을 보이고, 로그축을 사용하지 않은 확률지에 도시하였을 때 직선 형태를 나타낸다. 대수정규분포를 따르는 경우에는 일반확률지에서 S자 모양의 곡선을 나타내며, 대수확률지에 도시하였을 때 직선형태를 나타내게 된다.³⁾

히스토그램 분석결과, BOD, TN은 두 번의 첨점을 보이고 있으며, COD, SS, TP는 단일첨점을 나타내었다. 이는 BOD, TN이 수온변화에 따라 처리수질이 영향을 받아 농도분포에 변동이 생긴 것으로 추정된다.

3.2.2. 처리수 수질

하수처리공정의 대부분을 차지하고 있는 생물학적 처리공법은 미생물의 활성도를 이용한 처리공정이므로 온도변화에 민감한 영향을 받게 된다.^{2,7)}

Fig. 8은 연중 처리수질을 나타낸 것으로 즉 온도변화에 의한 처리수질의 변동을 보여주고 있다. 이는 연중 일정한 처리수질을 유지하기 어렵기 때문에 처리효율의 평가와 방류수질 기준 설정시 이러한 변동성을 감안해야 함을 시사한다. 처

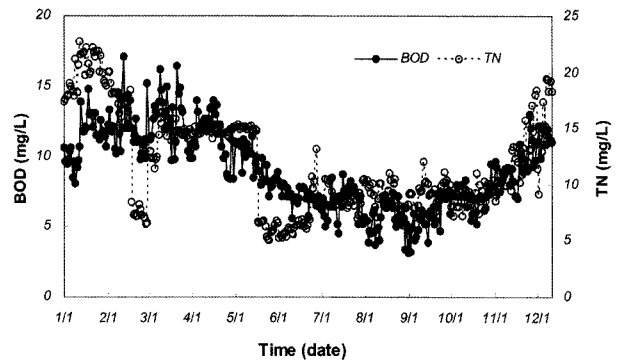


Fig. 8. Annual variation of effluent BOD and TN concentration(STP I).

리수질은 유입수의 변동폭이 클에도 불구하고 표준편차 0.13~4.48 mg/L로 비교적 안정적인 값을 보였다. 방류수 수질기준과 연평균 농도를 비교한 결과, 수질기준보다 연평균 값이 상당히 낮았으며 왜곡도 계수도 양의 값이 많아 평균값보다 작은 값들이 많이 발생한 것을 알 수 있다.

3.3. 처리효율특성

3.3.1. 제거효율을 통한 처리성능 평가

제거효율은 유입수와 처리수의 농도차에 의해서만 성능을 평가한다는 한계를 포함하고 있으나, 성능을 평가하는 기초 자료로 널리 사용되고 있다.

Table 7. Statistical characteristics of effluent water quality

Item	Mean(mg/L) (Max. ~ Min.)			St.dev (mg/L)			CV			Skewness			Kurtosis		
	STP I	STP II	STP III	STP I	STP II	STP III	STP I	STP II	STP III	STP I	STP II	STP III	STP I	STP II	STP III
BOD	12 (19~5)	9 (17~3)	9 (15~2)	3.45	2.88	2.38	0.28	0.31	0.28	0.26	0.22	0.41	-1.19	-0.77	0.15
COD	9 (14~4)	8 (22~4)	8 (13~5)	1.27	2.04	1.42	0.15	0.25	0.17	-0.06	1.18	0.77	2.30	4.34	0.75
SS	5 (16~1)	6 (19~1)	7 (18~1)	2.06	2.47	2.56	0.45	0.72	0.38	1.15	2.41	0.97	2.59	7.76	2.13
TN	21 (29~9)	12 (23~5)	11 (25~5)	2.93	4.48	2.71	0.14	0.37	0.24	-0.46	0.41	0.44	0.98	-0.95	1.24
TP	0.9 (1.9~0.4)	1.1 (2.1~0.4)	0.2 (2.2~0.01)	0.13	0.34	0.25	0.15	0.30	1.22	1.49	1.38	4.16	13.27	1.09	26.58

Table 8. Comparison of removal efficiency (unit: %)

Item	STP I		STP II		STP III	
	Mean (Max. ~ Min.)	St.dev	Mean (Max. ~ Min.)	St.dev	Mean (Max. ~ Min.)	St.dev
BOD	75 (94~29)	9.44	92 (96~86)	1.97	98 (100~96)	0.61
COD	73 (91~27)	10.22	82 (90~53)	3.83	95 (97~91)	1.15
SS	92 (99~73)	5.00	93 (99~50)	5.61	90 (98~65)	4.41
TN	6 (74~-32)	10.67	32 (63~6)	9.69	86 (98~69)	4.00
TP	14 (74~-146)	16.68	35 (81~1)	14.70	99 (100~93)	0.78

Table 8과 같이 STP I은 BOD, COD와 같은 유기물질 제거에 있어서는 70~90% 이상의 효율을 보였으나, TN, TP 등 영양염류 제거는 평균 15% 이하였으며, STP II도 유기물은 80~90% 이상의 제거효율을 보였으나 영양염류의 경우 35% 이하의 처리효율을 나타내었다. 두 처리장의 경우 고도처리공정이 도입되지 않았고, 유입수 수질 또한 낮았기 때문에 처리효율이 저조하였으며, 심지어 유입수 농도를 초과한 처리수질을 나타내기도 하였다. 반면에, 간헐포기형식의 고도처리공법으로 운전되고 있는 STP III에서는 TN 86%, TP 99%의 제거효율을 나타냈으며, 제거효율의 변동도 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

3.3.2. 신뢰도 계수를 통한 처리효율의 평가

처리수질에 대한 신뢰도를 평가하기 위하여 각 항목별로 변동계수와 신뢰도 계수를 산정하고 백분위, 정규백분위를 도출함으로써 각 수질별 발생확률을 제시하였다.

수질항목별 처리효율과 방류수 수질기준 달성여부를 통한 처리장 성능 평가에서는 실제 목표로 하고 있는 처리성능의 몇 %를 달성했는지를 객관화하기 어렵다. 그러나 처리수질을 백분위로 나타내고 자료의 변동을 고려하게 되면 각 항목별 수질농도가 발생할 수 있는 확률을 알 수 있고, 이를 통

하여 수질기준을 초과할 확률 또한 도출 가능하다.

Table 9. Reliability coefficient(Eff. BOD)

Reliability	25%	50%	75%	90%	95%	99%
	CV					
0.1	1.0923	1.0227	0.9180	0.8750	0.8597	0.8450
0.2	1.2034	1.0465	0.8484	0.7777	0.7539	0.7316
0.3	1.3397	1.0715	0.7887	0.6999	0.6713	0.6450
0.4	1.5108	1.0976	0.7368	0.6363	0.6051	0.5767
0.5	1.7319	1.1251	0.6913	0.5832	0.5507	0.5216
0.6	2.0289	1.1539	0.6511	0.5384	0.5053	0.4760
0.7	2.4488	1.1843	0.6153	0.4999	0.4668	0.4378
0.8	3.0880	1.2163	0.5833	0.4666	0.4337	0.4052
0.9	4.1786	1.2501	0.5544	0.4374	0.4051	0.3772
1.0	6.4601	1.2859	0.5282	0.4117	0.3800	0.3528
0.1	1.0822	1.0120	0.9237	0.8807	0.8629	0.8194
0.2	1.1792	1.0243	0.8582	0.7868	0.7589	0.6941
0.3	1.2952	1.0369	0.8014	0.7110	0.6772	0.6020
0.4	1.4366	1.0497	0.7516	0.6486	0.6114	0.5315
0.5	1.6126	1.0630	0.7077	0.5962	0.5573	0.4757
0.6	1.8377	1.0765	0.6686	0.5516	0.5120	0.4306
0.7	2.1359	1.0904	0.6336	0.5133	0.4735	0.3933
0.8	2.5496	1.1047	0.6021	0.4799	0.4403	0.3619
0.9	3.1622	1.1194	0.5736	0.4506	0.4116	0.3352
1.0	4.1621	1.1344	0.5476	0.4247	0.3863	0.3121
0.1	1.0691	1.0200	0.9433	0.8806	0.8432	0.7992
0.2	1.1486	1.0408	0.8927	0.7867	0.7290	0.6656
0.3	1.2407	1.0624	0.8473	0.7109	0.6420	0.5703
0.4	1.3490	1.0850	0.8062	0.6484	0.5735	0.4988
0.5	1.4779	1.1086	0.7690	0.5960	0.5182	0.4433
0.6	1.6342	1.1332	0.7350	0.5514	0.4727	0.3989
0.7	1.8273	1.1589	0.7039	0.5131	0.4345	0.3626
0.8	2.0722	1.1859	0.6753	0.4797	0.4020	0.3323
0.9	2.3929	1.2141	0.6490	0.4504	0.3741	0.3067
1.0	2.8310	1.2436	0.6246	0.4245	0.3498	0.2848

Table 10. Percentiles and normalized percentiles of effluent water quality

		Percentiles						Normalized Percentiles					
		25%	50%	75%	90%	95%	99%	25%	50%	75%	90%	95%	99%
STP I	BOD	9	12	15	17	18	19	-0.8452	-0.2223	0.8931	1.4291	1.6319	1.8347
	COD	8	9	9	10	11	12	-0.5842	0.0467	0.5198	1.2295	1.4660	2.9643
	SS	3	4	6	8	8	10	-0.7799	-0.2933	0.6799	1.6531	1.6531	2.8258
	TN	19	21	23	25	26	27	-0.6509	0.0369	0.7264	1.2060	1.5556	1.8694
	TP	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	-0.4849	0.0097	0.5833	0.8880	1.4340	2.0527
STP II	BOD	7	9	12	13	14	16	-0.7597	-0.1185	0.8261	1.3547	1.5887	2.2039
	COD	6	8	9	11	11	13	-0.7853	-0.1100	0.62661	1.4124	1.6580	2.4290
	SS	2	2	4	7	8	13	-0.5803	-0.5803	0.2299	1.4452	1.8504	4.0177
	TN	8	10	15	18	20	22	-0.8306	-0.3821	0.6813	1.3728	1.7437	2.1895
	TP	0.9	1.0	1.2	1.8	1.9	2.0	-0.5901	-0.3523	0.1754	1.9070	2.3232	2.6799
STP III	BOD	7	8	10	12	13	15	-0.6468	-0.1959	0.6009	1.3559	1.8591	2.5117
	COD	7	8	9	10	11	13	-0.7350	-0.2352	0.6216	1.1928	1.7640	3.0120
	SS	5	6	8	10	11	15	-0.6782	-0.1158	0.5670	1.2499	1.7198	3.2984
	TN	9	11	14	15	15	18	-0.7710	-0.1073	0.8513	1.1094	1.1331	2.3560
	TP	0.07	0.1	0.2	0.4	0.6	1.0	-0.5660	-0.4302	0.2035	1.1269	1.9552	3.5697

Table 11. Evaluation of reliability in effluent water quality

		BOD	COD	SS	TN	TP
Water quality standard(mg/L)		20	40	20	60	4
Annual average of water quality (mg/L)	STP I	12	9	5	21	0.9
	STP II	7	6	6	12	1.1
	STP III	9	8	7	10	0.2
Reliability (%)	STP I	100	100	100	100	100
	STP II	100	100	100	100	100
	STP III	100	100	100	100	100

주) 5대 수계 이외지역 「하수도법 시행규칙(2001)」

신뢰도 계수를 이용하여 각 처리장의 효율을 평가한 결과, Table 11과 같이 모든 항목이 방류수 수질기준을 초과하지 않았으며, TN, TP의 경우 발생확률 100%의 농도가 방류수 기준에 비해 TN은 38.3~48.3%, TP는 47.5~55% 수준으로 나타났다.

향후 강화될 수질기준(BOD 10 mg/L, SS 10 mg/L, TN 20 mg/L, TP 2 mg/L)으로 평가하는 경우, STP I의 BOD는 약 50%, SS는 약 90%가 수질기준을 만족할 수 있으며, TN, TP는 각각 25%, 100%를 만족할 수 있을 것으로 예상되었다. STP II의 경우도 BOD, SS, TN, TP가 각각 약 50%, 95%, 95%, 100%의 신뢰도를 나타내었다. STP III에서는 상대적으로 높은 신뢰도를 보였으며, BOD, SS, TN, TP가 각각 75%, 90%, 100%, 100%로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 하수처리장의 유, 출입수질을 통계적 기법

으로 해석함으로써 처리공정의 운전성능을 보다 객관적으로 평가할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다.

연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 각 처리장으로 유입되는 유량은 계절에 따라 큰 변동을 보였으며 설계유량과 실제유입량의 비율을 비교한 결과 많은 차이(127~43%)를 보이고 있는 것으로 나타났다.

2) 유입수질의 표준편차는 9.7~34.9 mg/L로 평균 유입농도 대비 약 16.7~54.7%의 범위를 보였으며, BOD와 SS가 상대적으로 큰 편차를 보였다. 처리수는 전 항목에 걸쳐 표준편차 0.28~4.48 mg/L, 평균 유출수질 대비 13.9~125%의 범위를 보였고, 특히 SS의 변동이 큰 것으로 나타났다.

3) 처리수의 시계열 자료와 백분위를 비교분석한 결과, BOD와 TN은 다른 항목보다 계절에 따른 변동이 심하였다. BOD, TN의 히스토그램은 두 개의 첨점을 보였으며, 이는 계절에 따라 처리수질분포에 뚜렷한 차이를 보여주는 결과로 해석할 수 있다.

4) 각 처리장별, 수질항목별 신뢰도 계수를 산정하고, 백분위를 통한 수질별 발생확률을 비교한 결과, 대상처리장의 모든 항목이 현재 방류수 수질기준을 초과하지 않았으며, TN과 TP의 경우 상당히 여유있는 신뢰성을 보였다.

향후 강화될 수질기준(BOD 10 mg/L, SS 10 mg/L, TN 20 mg/L, TP 2 mg/L)으로 현재의 처리성능을 평가한 결과 대체적으로 BOD의 신뢰도가 저조한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Franz, A., Nowak, O., and Kroiss, H., "Modeling WWTP-Treatment efficiency and relationship to receiving water quality," *Water Sci. Technol.*, **33**, 47~55(1996).

2. Grady, C. P. L., Daigger, G. T., and Love, N. G., "Biological wastewater treatment," 2nd ed., Marcel Dekker (1999).
3. Henze, M., Arvin, H., and Henze, M, "Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes," 2nd ed, Springer(1997).
4. Larsen, R. T., "An air quality data analysis system for interrelating effects, standard, and needed source reductions," *J. Air Poll. Control Assco.*, **25**, 923~933(1973).
5. Niku, S., Samaniego, F. J., and Schroeder, E.D., "Performance of activated sludge processes and reliability-based design," *J. of WPCF*, **51**, 1286~1294(1980).
6. Ramakumar, R., "Engineering reliability : fundamentals and applications," Prentice Hall(1993).
7. Randall, C. W., Randall, C. W., Barnard, J. L., Stensel, H. D., "Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrients removal," Technomic Pub. Co. (1992).
8. Spiegel, M. R., "SCHAUM's OUTLINE of Theory and problems of statistics," McGRAW-HILL(1961).