

## 피혁폐수 고도처리시설의 통계학적 특성

양형재<sup>†</sup> · 권오상 · 김재훈 · 김상훈 · 이성종 · 정동일

국립환경과학원 환경총량관리연구부

### Statistical Characteristics of An Advanced Wastewater Treatment Plant for Leather Industry

H. J. Yang<sup>†</sup> · O. S. Kwon · J. H. Kim · S. H. Kim · S. J. Lee · D. I. Jung

Emission Sources Research Division, Environmental Cap System Research Dept., National Institute of Environmental Research  
(Received 26 July 2007, Accepted 18 September 2007)

#### Abstract

The advanced wastewater treatment plant of leather industry was selected to evaluated with its effluent water quality and statistical characteristics. Most of pollutants removal efficiencies were over 90% as well. And 95% reliability of effluent concentration were 106.8 mg/L of COD<sub>mn</sub>, 72.04 mg/L of TN. However Effluent quality of TN exceeds the regulated limit. The range of coefficient of variation (CV) were between 0.18 and 2.49. Also, coefficient of reliability (COR) were between 0.03(BOD<sub>5</sub>)~0.63(COD<sub>mn</sub>) and 0.43 in terms of T-N. Z<sub>1- $\alpha$</sub> (Normalized Percentiles) value were 55.7 and 2.25 in terms of BOD<sub>5</sub> and T-N as shown in the following table.

**keywords** : Best Available Technology (BAT), Leather industry, Wastewater treatment facility

## 1. 서론

산업구조의 고도화와 폐수배출특성의 다변화에 따라 보다 합리적인 산업폐수의 관리를 위해서 앞으로 우리나라의 산업폐수관리는 업종별 폐수특성, 오염물질의 종류, 최적처리기술 등에 따른 차등적 배출허용기준 도입방안을 마련하여 보다 과학적이고 합리적인 산업폐수관리체계 근거를 마련하고, 이에 따른 허가제도의 개선 등 체계적, 단계별 개선방안 마련이 필요하다(국립환경연구원, 2004). 본 연구에서는 적정처리기술을 적용하여 운영하고 있는 K 피혁폐수처리시설을 평가대상으로 하여 통계분석과 함께 방류수질 특성을 평가하고자 한다.

따라서 K피혁에서 운영중인 폐수처리장의 신뢰성을 평가하여 각 오염물질별 가능한 기술에 따라 적절한 농도기준을 제시할 필요가 있다. 다시 설명하면, 현재의 수질 기준치 이하로 방류 가능한 농도를 제시하여 그동안의 높은 농도로 되어있는 방류수 기준에 대해서는 적절한 농도로 낮추어 방류하도록 하여 하천수질을 개선하여야 한다. 한편으로는 상대적으로 처리하기가 어려웠던 처리장에 대해서는 오히려 완화하는 수질기준을 적용할 수 있도록 하는 근거를 마련하여야 할 것이다.

통계기법을 이용하여 처리공정의 성능을 분석하면 백분위를 사용하여 현재 자료군에서 각각의 자료가 갖는 서열

을 분명하게 나타낼 수 있고, 확률분포를 통하여 하나의 자료에 대하여 그 자료가 발생할 수 있는 확률과 그것이 어느 정도의 신뢰성을 갖는가에 대하여 설명할 수 있으며, 이러한 방법을 통해 대상처리공정의 특성을 확실하게 파악할 수 있다. 또한 표준편차와 변동계수를 사용하여 처리공정의 변동적인 성능을 정량화 할 수 있다. 이러한 자료를 설계에 반영하여 목표수질을 확률적으로 보증할 수 있어 보다 신뢰성 있는 설계가 이루어져, 다른 동종의 폐수처리 시설에도 적용이 이루어질 수 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 분석항목 및 분석방법

분석항목은 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, COD<sub>Cr</sub>, TOC, SS, TN, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, Cr, ABS, n-H 등이며, 시료채취 및 분석기간은 '05년 3월~'05년 10월이다. 분석방법은 전반적으로 수질오염공정시험법(환경부, 2003)에 준하였으나, COD<sub>Cr</sub>은 미국 Standard Methods(APHA, 1992)를 따랐고, TOC는 자동분석기를 사용하였다(Table 1).

### 2.2. 시료채취방법

원폐수, 응집침전처리를 거친 1차 처리수와 최종방류수를 시료로 사용하였다. 시간대별 폐수농도의 변화를 파악하고자 조업시간대인 08:00~18:00시까지 한 시간 간격으로 원수와 처리수를 일일 2회(11:00, 14:00) 매주 2회씩 채취하였다.

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
hgyang@me.go.kr

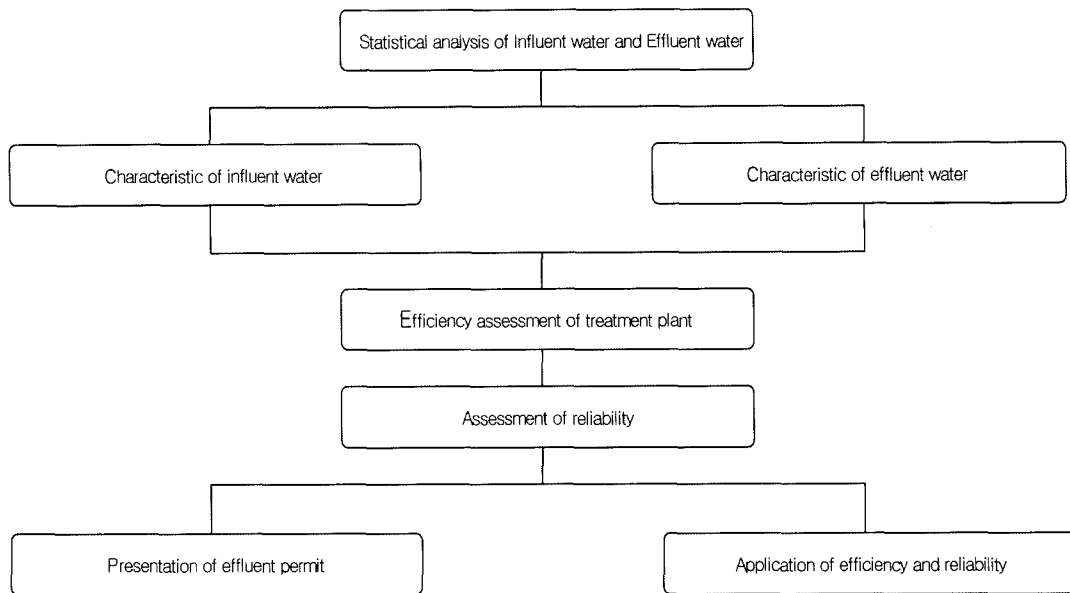


Fig. 1. Procedure of statistical analysis.

그림과 같이 본 연구에서 수행한 통계학적 평가에서는 유입수와 방류수의 오염물질간의 최종 농도와 처리단계에 대하여 효율을 평가하고 최종적으로 설계에 반영할 수 있는 인자를 도출하고자 위와 같은 순서에 의해 연구가 진행이 되었다.

Fig. 1,2는 본 연구에서 사용된 통계학적 접근 방법과 처

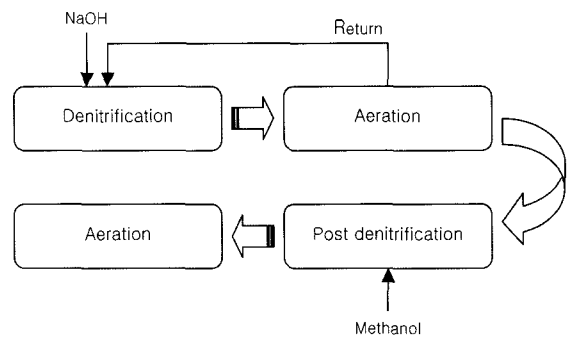


Fig. 2. Leather wastewater treatment process.

리공정에 대하여 나타내었다. 처리 공정은 생물학적 처리로써, 선탄질을 이용한 처리 공법을 사용하고 있다.

Table 2에서는 1차 처리수의 농도와 오염물질의 각각 제거 효율을 나타내어, 1차 처리에서의 제거 수준을 알아보았다.

Table 1. Analytical methods

| Parameters                   | Methods                  |
|------------------------------|--------------------------|
| BOD <sub>5</sub>             | Standard methods (Korea) |
| COD <sub>Mn</sub>            | Standard methods (Korea) |
| COD <sub>Cr</sub>            | Standard methods (USA)   |
| TOC                          | TOC-5000                 |
| SS                           | Standard methods (Korea) |
| T-N                          | Standard methods (Korea) |
| T-P                          | Standard methods (Korea) |
| ABS                          | Standard methods (Korea) |
| Cr                           | Standard methods (Korea) |
| n-Hexane                     | Standard methods (Korea) |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Standard methods (Korea) |

### 2.3. 유입수의 통계학적 특성 분석

#### 2.3.1. 신뢰도 계수를 이용한 처리공정의 신뢰성 평가 결과 신뢰성 이론(Reliability concept)이란 실패 없이 소기의

Table 2. Pollutants removal efficiencies

| Parameters                      | Raw wastewater | Primary treatment | Removal efficiency(%) | Effluent conc. | Removal efficiency(%) |
|---------------------------------|----------------|-------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|
| COD <sub>Cr</sub>               | 5488           | 1477              | 73.1                  | 183            | 96.7                  |
| TOC                             | 2101           | 567               | 73.0                  | 75.68          | 96.4                  |
| COD <sub>Mn</sub>               | 1696           | 645               | 62.0                  | 82.0           | 95.2                  |
| SS                              | 3521           | 153               | 95.7                  | 63.32          | 98.2                  |
| T-N                             | 315            | 228               | 27.6                  | 25.52          | 91.9                  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | 108.8          | 180.1             | -                     | 15.19          | 86.1                  |
| ABS                             | 14.57          | 3.00              | 79.4                  | 0.64           | 95.7                  |
| N-Hexane                        | 411            | 4.7               | 98.9                  | 0.89           | 99.78                 |
| BOD <sub>5</sub>                | 1852           | 854               | 53.9                  | 3.95           | 99.79                 |
| Cr                              | 73.2           | 0.35              | 99.5                  | 0.054          | 99.93                 |
| Removal (%)                     |                |                   |                       |                | 96.0                  |

목적을 수행할 수 있는 능력(선, 2001), 어떤 시스템이 주어진 조건하에 정해진 기간동안 실패하지 않을 확률을 말한다. 본 연구에서 신뢰성 평가에 중점을 두는 것은 처리효율의 변동선으로 인하여 설계는 방류수 수질기준을 초과하지 않도록 목표수질을 설정하여야 한다. 또한, 이를 바탕으로 처리시설 특히 최적처리기술에 대해 적정 방류수 수질기준을 제시하여야 한다.

2.3.2. 조사 대상 시설의 배출폐수 평균값(Xmean)과 표준편차(σx)

K파혁 폐수처리장의 Xmean값은 BOD<sub>5</sub> 3.95 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 82.0 mg/L, SS는 36.32 mg/L 그리고 TN은 25.52 mg/L 등으로 나타났다. 이들의 σx 값은 각각 2.31, 19.29, 25.96 및 15.14 mg/L였다. 분석한 11개 항목 중 표준편차가 가장 큰 것은 COD<sub>Cr</sub>으로 34.52 mg/L 그리고 가장 작은 항목은 ABS로 0.18 mg/L이었다. 이에 대한 것을 Fig. 3에 나타내었다. 각 항목들의 편차의 변화량을 비교함으로써 그 항목에 대한 농도의 안정성을 나타낼 수 있다. 또한 항목간의 부하량의 산정 시 참고 자료로 이용할 수 있다.

2.3.3. 변동계수(CV)

변동계수는 자료의 상대적 변동을 나타내는 무차원 척도로서, 평균에 대한 표준편차의 비로 정의할 수 있다. 11개 항목의 CV 값은 0.18~2.49의 범위로, 최고치는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, 최저치는 TOC로 나타났다.

2.3.4. 신뢰도 계수(coefficient of reliability, COR)

신뢰도 계수는 방류수 수질기준과 설계수질의 관계를 나

타내며 다음 식 (1)과 같이 정의된다(Salar et al., 1979).

$$COR = \frac{Xd(\text{설계수질})}{Xs(\text{방류수 수질기준})} \tag{1}$$

방류수의 농도(또는 설계수질)가 방류수 수질기준을 초과하지 않을 확률을 정규화하여 나타내면,

$$\begin{aligned} P &= (Xd \leq Xs) = P(Zd \leq Zs) \\ &= P \left[ Zd \leq \frac{Xs - Xd}{\sigma X} \right] \\ &= P(Zd \leq Z1 - \alpha) \\ &= 1 - \alpha \end{aligned} \tag{2}$$

여기서,

Z : N(0, 1)을 갖는 변수

α : 방류수 농도가 수질기준을 초과할 확률

Z<sub>1-α</sub>는 측정된 방류수의 농도를 정규화한 것으로,

$$Z_{1-\alpha} = \frac{Xs - Xd}{\sigma X} \text{이며,} \tag{3}$$

$$\frac{1}{Xs} = \frac{Xd}{Z_{1-\alpha} \cdot CV \cdot 1} = COR \tag{4}$$

COR을 이용한 실제수질 결정은,

$$Xd = \frac{1}{Z_{1-\alpha} \cdot CV \cdot 1} Xs = COR \cdot Xs \tag{5}$$

Table 3. Statistical characteristics for influent

| Parameter                       | Number | Mean | Maxium | Minium | Standard deviation | CV      | Skewness | Kurtosis |
|---------------------------------|--------|------|--------|--------|--------------------|---------|----------|----------|
| COD <sub>Cr</sub>               | 33     | 5,77 | 10,30  | 3,280  | 1,815.7            | 0.315   | 0.917    | 0.955    |
| COD <sub>Mn</sub>               | 33     | 1,73 | 2,52   | 1,012  | 439.8              | 0.254   | -0.077   | -0.904   |
| TOC                             | 33     | 2,48 | 4,87   | 1,097  | 1,379.9            | 0.556   | 1.642    | 2.887    |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | 33     | 193  | 247    | 125    | 37.0               | 0.192   | -0.294   | -0.987   |
| SS                              | 33     | 4,1  | 13,1   | 700    | 4,1                | 3,049.5 | 1.757    | 2.631    |

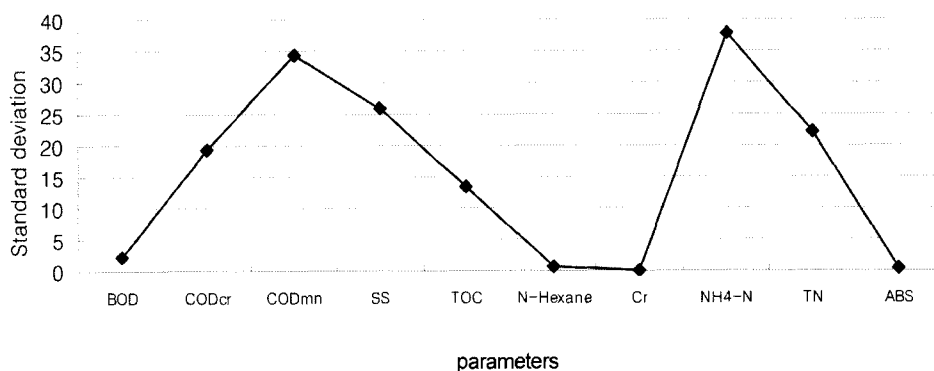


Fig. 3. Standard deviation of parameters.

2.4. 유입수의 통계학적 특성 분석 결과

① Skewness 는

$$\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left[ \frac{\chi_i - \bar{\chi}}{s} \right]^3 \text{ 로 정의} \quad (6)$$

② Kurtosis 는

$$\frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left[ \frac{\chi_i - \bar{\chi}}{s} \right]^4 \text{ 로 정의} \quad (7)$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 방류수의 통계학적 특성 분석

3.1.1. 방류수질의 통계적 특성

분석한 11개 항목의 표준편차는 0.028~34.52 범위로 크롬이 가장 낮았고, COD<sub>Cr</sub>이 34.5로 가장 높은 값이었고, 다음은 암모니아로 37.9로 방류수 농도의 편차가 심한 것으로 나타났다. 크롬의 표준편차는 0.028로 가장 작은 값이며, 다음으로는 ABS의 0.18이었다.

처리장에서 처리를 거친 후 방류되는 크롬의 농도는 매우 낮고(0.054 ppm) 그 변동도 작아 표준편차가 제일 작은 값으로 나타났고, 방류수질/방류수기준 비인 COR값은 0.11에 불과한 매우 낮은 수치였다. 이는 방류수 수질기준의 1/10의 낮은 농도로 방류하고 있다는 의미다. 수질기준에 포함되어있는 COD<sub>Mn</sub> 농도의 범위는 35~171 mg/L이고 표준편차는 19.3으로 나타났다.

방류수의 COD<sub>Cr</sub> 농도 최저치는 117 mg/L이고 최고치는 317 mg/L에 이르렀으며, 95% 신뢰도를 만족하는 농도도 237 mg/L로, BOD<sub>5</sub>의 9.7 mg/L에 비하면 월등히 높은 수치로 피혁폐수에는 많은 난분해성 COD가 포함된 것으로 판단된다.

최종 처리수의 BOD<sub>5</sub> 방류수 농도는 매우 낮고 그 변동도 작아 표준편차가 제일 작은 값으로 나타났고, 방류수질/방류수기준 비인 COR값은 0.03에 불과한 매우 낮은 수치였다. 이는 방류수 수질기준의 3/100의 낮은 농도로 방류하고 있다는 의미다. Cr의 COR값 또한, 0.11으로 매우 낮은 값으로 처리효율이 뛰어난 것을 의미한다.

그러나 K피혁이 위치하는 지역이 “청정지역”임에도 불구하고,

하고, 처리수가 하수종말처리장으로 유입되어 다시 처리되기 때문에 하수종말처리장 방류수질기준에 포함된 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS, TN 및 TP의 배출허용기준은 ‘나’지역을 적용하고 있다.

따라서 본 COR값은 배출허용기준에 근거한 것이므로 K 피혁 폐수처리장 처리공정을 정확히 평가해야한다는 관점에서 보면, 높은 배출허용기준을 적용한 것으로 사실상 청정지역 기준인 BOD<sub>5</sub> 40 mg/L이하, COD<sub>Mn</sub> 50 mg/L이하, SS 40 mg/L이하, TN 30 mg/L이하, TP 4 mg/L이하를 기준으로 평가함이 오히려 합리적일 것이다.

수질기준에 포함되어있는 항목인 COD<sub>Mn</sub> 농도의 범위는 35~171 mg/L이고 표준편차는 19.3이며, 95% 신뢰도 값은 106.8 mg/L로 나타났다.

방류수 수질이 수질기준을 100% 만족하지 못하는 총질소(흡광법)의 경우는 방류수 농도의 범위가 9.4~79.5 mg/L 범위로 표준편차는 비교적 높은 15.1이었다. 95% 신뢰도를 만족하는 농도는 72 mg/L이다. COR 값은 0.43으로 방류수 평균농도가 수질기준의 43%라는 의미로 비교적 낮은 농도이다. 그러나 수질기준이 나지역에 해당하므로 높은 방류수 수질기준을 적용한 값이다. 청정지역이라면 30 mg/L이하이므로 COR값은 0.85에 해당한다. 기타 항목에 대해서도 Table 4에 상세하게 나타내었다.

각각의 Probability plot 그래프에서 점선으로 표시된 부분은 실험 데이터에 대한 95%신뢰도 값이라 할 수 있다.

3.1.2. 신뢰도 계수의 산정 및 적용방법

a) 설계수질의 산정

백분위 ⇒ 정규 백분위 ⇒ 변동계수의 결정 ⇒ 신뢰도 계수의 산정 ⇒ 설계수질의 결정

b) 신뢰성 평가

평균, 표준편차의 계산 ⇒ 변동계수의 계산 ⇒ 신뢰도 계수의 계산 ⇒ 정규백분위의 계산 ⇒ 신뢰성 평가

c) 신뢰도 계수를 이용한 설계수질의 결정

신뢰도 계수는 대상 폐수처리장의 성능평가와 이 결과를 설계에 반영하는 수단으로 사용하였다. 신뢰도 계수의 산정과 이를 이용하여 처리효율을 평가하는 절차에 따라 정리한다.

Table 4. Statistical characteristics for effluent

|                    | COD <sub>Cr</sub> | TOC   | COD <sub>Mn</sub> | SS    | T-N   | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | ABS    | N-hexane | BOD <sub>5</sub> | Cr     |
|--------------------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------|---------------------------------|--------|----------|------------------|--------|
| Number             | 62                | 62    | 61                | 62    | 61    | 57                              | 32     | 32       | 58               | 20     |
| Means              | 183               | 75.68 | 82.0              | 36.32 | 25.52 | 15.19                           | 0.64   | 0.89     | 3.95             | 0.054  |
| Maxium             | 317               | 112.5 | 171.0             | 132.0 | 79.49 | 193.6                           | 1.06   | 2.8      | 11.20            | 0.140  |
| Minium             | 117               | 53.0  | 35.0              | 9.5   | 9.42  | 0.0                             | 0.40   | 0.2      | 1.30             | 0.029  |
| Standard deviation | 34.52             | 13.53 | 19.29             | 25.96 | 15.14 | 37.87                           | 0.18   | 0.57     | 2.31             | 0.028  |
| Permit             | -                 | -     | 130               | 120   | 60    | -                               | 3      | 5        | 120              | 2      |
| 95% value          | 237               | 97.3  | 106.8             | 86    | 72.04 | 70.2                            | 0.98   | 1.8      | 9.72             | 0.11   |
| CV                 | 0.19              | 0.18  | 0.24              | 0.71  | 0.59  | 2.49                            | 0.28   | 0.64     | 0.58             | 0.52   |
| COR                | -                 | -     | 0.63              | 0.30  | 0.43  | -                               | 0.21   | 0.18     | 0.03             | 0.11   |
| Z <sub>1-α</sub>   | -                 | -     | 2.447             | 3.286 | 2.247 | -                               | 13.435 | 7.118    | 55.747           | 15.560 |

Table 5. Designed effluent quality using COR(1)

|                                 | Percentiles |      |      |      |      |       |       |       |       |
|---------------------------------|-------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|                                 | 25          | 50   | 75   | 80   | 85   | 90    | 95    | 99    | 100   |
| COD <sub>cr</sub>               | 164         | 179  | 196  | 197  | 215  | 223   | 237   | 317   | 317   |
| TOC                             | 64.9        | 73.0 | 84.0 | 85.5 | 90.1 | 94.7  | 97.3  | 112.5 | 112.5 |
| COD <sub>Mn</sub>               | 73.4        | 81.4 | 88.0 | 89.6 | 93.6 | 101.0 | 106.8 | 171.0 | 171.0 |
| SS                              | 18.0        | 23.0 | 54.0 | 58.0 | 61.0 | 76.5  | 86.0  | 132.0 | 132.0 |
| T-N                             | 17.7        | 21.7 | 25.2 | 26.4 | 29.5 | 38.1  | 72.0  | 79.5  | 79.5  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | 0.27        | 1.01 | 7.74 | 13.7 | 30.6 | 49.4  | 70.2  | 193.6 | 193.6 |
| ABS                             | 0.51        | 0.58 | 0.67 | 0.74 | 0.95 | 0.96  | 0.98  | 1.06  | 1.06  |
| n-Hexane                        | 0.4         | 0.7  | 1.2  | 1.3  | 1.6  | 1.6   | 1.8   | 2.8   | 2.8   |
| BOD <sub>5</sub>                | 2.51        | 3.24 | 5.03 | 5.70 | 6.18 | 6.27  | 9.72  | 11.2  | 11.2  |
| Cr                              | 0.031       | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07  | 0.11  | 0.14  | 0.14  |

Table 6. Designed effluent quality using COR(2)

|                                 | Normal percentiles |         |         |         |        |        |        |        |        |
|---------------------------------|--------------------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                 | 25                 | 50      | 75      | 80      | 85     | 90     | 95     | 99     | 100    |
| COD <sub>cr</sub>               | -0.5504            | -0.0012 | 0.3766  | 0.4056  | 0.9270 | 1.1587 | 1.5643 | 3.8818 | 3.8818 |
| TOC                             | -0.8204            | -0.2217 | 0.5913  | 0.7021  | 1.0421 | 1.3821 | 1.5743 | 2.6977 | 2.6977 |
| COD <sub>Mn</sub>               | -0.4482            | -0.0311 | 0.3110  | 0.3940  | 0.6013 | 0.9850 | 1.2856 | 4.6138 | 4.6138 |
| SS                              | -0.6934            | -0.5008 | 0.6934  | 0.8475  | 0.9630 | 1.5601 | 1.9260 | 3.6980 | 3.6980 |
| T-N                             | -0.5980            | -0.2840 | -0.0528 | 0.0264  | 0.2312 | 0.7992 | 3.0383 | 3.5337 | 3.5337 |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | -0.1693            | -0.3694 | -0.1917 | -0.0343 | 0.4119 | 0.9084 | 1.4576 | 4.7161 | 4.7161 |
| ABS                             | -0.7222            | -0.0831 | 0.1667  | 0.5556  | 1.7222 | 1.7778 | 1.8889 | 2.3333 | 2.3333 |
| n-Hexane                        | -0.8596            | -0.3333 | 0.5439  | 0.7193  | 1.2456 | 1.2456 | 1.5965 | 3.3509 | 3.3509 |
| BOD <sub>5</sub>                | -0.6450            | -0.3290 | 0.4459  | 0.7359  | 0.9437 | 0.9827 | 2.4762 | 3.1169 | 3.1169 |
| Cr                              | -0.8214            | -0.1429 | 0.2143  | 0.2143  | 0.5714 | 0.5714 | 2.0000 | 3.0714 | 3.0714 |

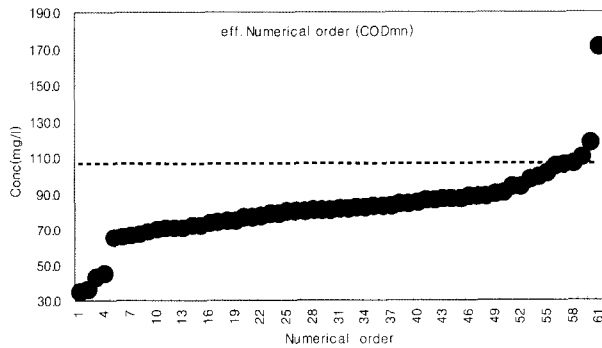


Fig. 4. Probability plot of COD<sub>Mn</sub>.

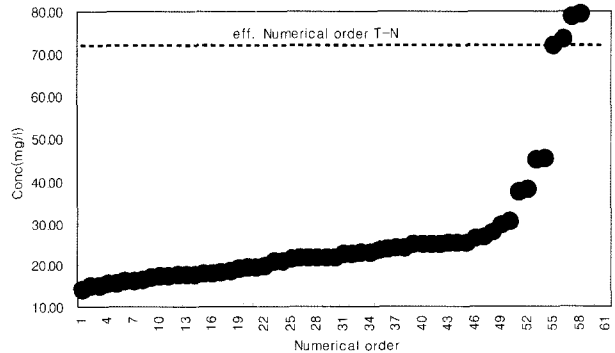


Fig. 5. Probability plot of T-N.

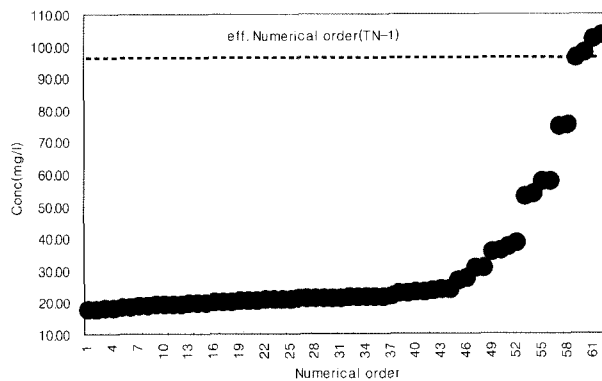


Fig. 6. Probability plot of T-N-1.

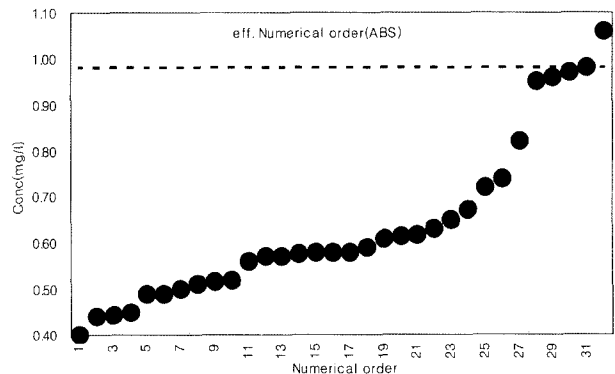


Fig. 7. Probability plot of ABS.

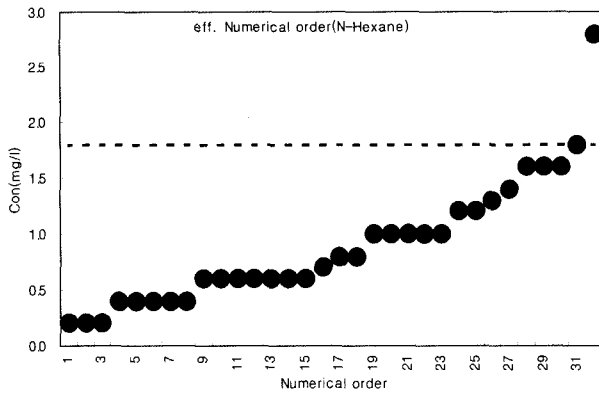


Fig. 8. Probability plot of n-Hexane.

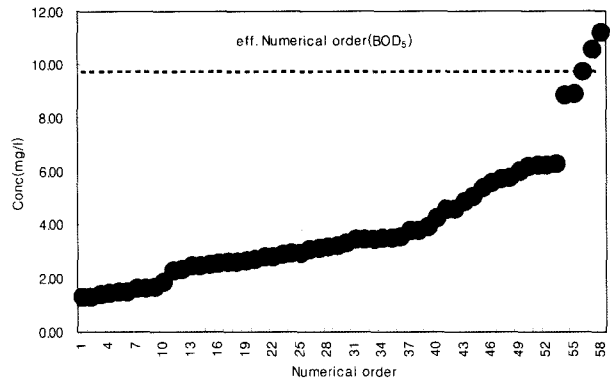


Fig. 9. Probability plot of BOD<sub>5</sub>.

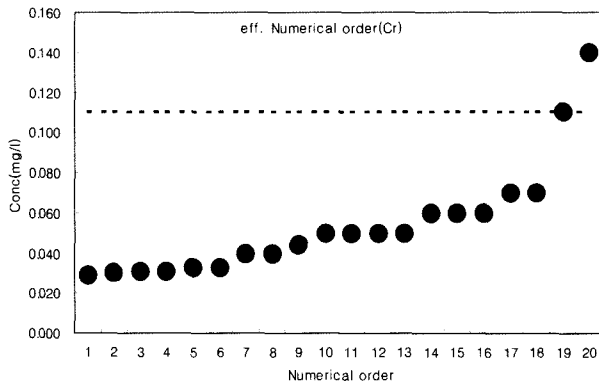


Fig. 10. Probability plot of Cr.

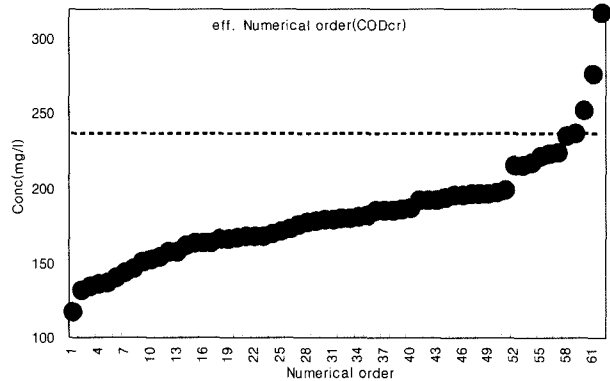


Fig. 11. Probability plot of COD<sub>Cr</sub>.

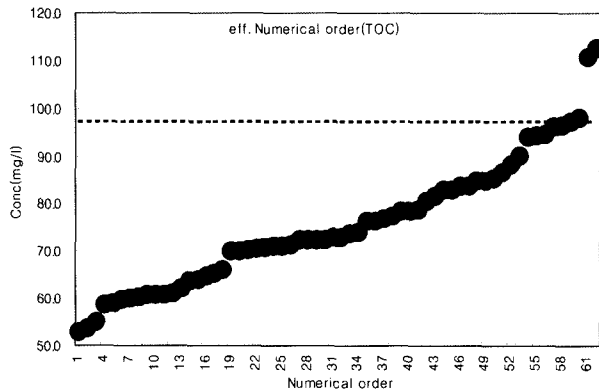


Fig. 12. Probability plot of TOC.

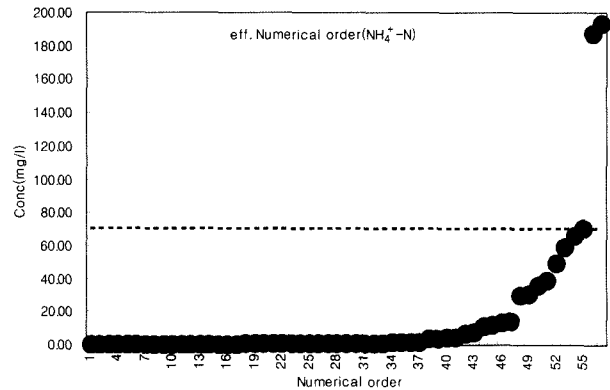


Fig. 13. Probability plot of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N.

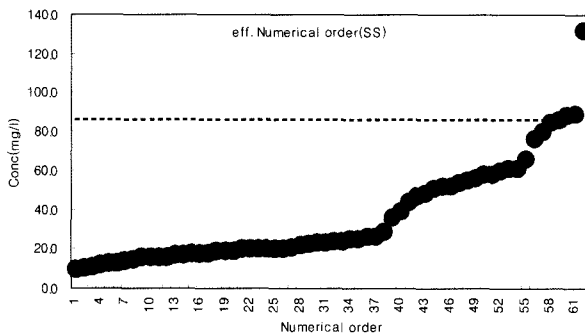


Fig. 14. Probability plot of SS.

d) 백분위로부터 정규백분위( $Z_{1-\alpha}$ ) 산출

$$= \frac{X - X_{\text{mean}}}{\sigma X} \quad (8)$$

분포곡선의 일정구간에서 확률을 구하기 위해서 정규분포함수를 필요할 때마다 적분하는 것은 매우 귀찮고 번거로운 일이므로, 정규확률변수  $X$ 를 표준화하여 표준정규분포(Standard normal distribution)를 생성하여 이용한다. 여기서 확률변수  $X$ 를 표준화한다는 것은 개별적인 확률변수 값으로부터 평균을 뺀 편차를 표준편차로 나누어 새로운 확률변수로 변환하는 것을 말한다. 따라서 새롭게 변환된 확률변수를 표준정부변수(Standard normal variable)라 한다. (이 등, 1997).

e) 목표신뢰도와 변동계수(CV)의 결정 및 신뢰도 계수(COR)의 산정

$$= \frac{1}{Z_{1-\alpha} * CV + 1} \quad (9)$$

**Table 7.** Determination of designed water quality (Reliability 95%)

|                            |     | COD <sub>Mn</sub> | SS            | TN           | ABS           | N-Hexane      | BOD <sub>5</sub> | Cr          |
|----------------------------|-----|-------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|------------------|-------------|
| CV 0.1                     | COR | 0.8861            | 0.8385        | 0.7670       | 0.8411        | 0.8623        | 0.7937           | 0.8333      |
|                            | Xd  | 43.305            | 33.54         | 23.01        | 2.5233        | 4.3115        | 31.748           | 0.41665     |
| CV 0.2                     | COR | 0.7955            | 0.7219        | 0.6220       | 0.7258        | 0.7580        | 0.6579           | 0.7143      |
|                            | Xd  | 39.775            | 28.876        | 18.66        | 2.1774        | 3.79          | 26.316           | 0.35715     |
| CV 0.3                     | COR | 0.7217            | 0.6338        | 0.5232       | 0.6383        | 0.6762        | 0.5618           | 0.6250      |
|                            | Xd  | 36.085            | 25.352        | 15.696       | 1.9149        | 3.381         | 22.472           | 0.3125      |
| CV 0.4                     | COR | 0.6604            | 0.5648        | 0.4514       | 0.5696        | 0.6103        | 0.4902           | 0.5556      |
|                            | Xd  | 33.02             | 22.592        | 13.542       | 1.7088        | 3.0515        | 19.608           | 0.2778      |
| CV 0.5                     | COR | 0.6087            | 0.5094        | 0.3970       | 0.5143        | 0.5561        | 0.4348           | 0.5000      |
|                            | Xd  | <b>30.435</b>     | <b>20.376</b> | <b>11.91</b> | <b>1.5429</b> | <b>2.7805</b> | <b>17.392</b>    | <b>0.25</b> |
| CV 0.6                     | COR | 0.5645            | 0.4639        | 0.3542       | 0.4687        | 0.5108        | 0.3906           | 0.4546      |
|                            | Xd  | 28.225            | 18.556        | 10.626       | 1.4061        | 2.554         | 15.624           | 0.2273      |
| CV 0.7                     | COR | 0.5263            | 0.4259        | 0.3198       | 0.4306        | 0.4722        | 0.3546           | 0.4167      |
|                            | Xd  | 26.315            | 17.036        | 9.594        | 1.2918        | 2.361         | 14.184           | 0.2082      |
| CV 0.8                     | COR | 0.4930            | 0.3936        | 0.2915       | 0.3982        | 0.4391        | 0.3247           | 0.3846      |
|                            | Xd  | 24.65             | 15.744        | 8.745        | 1.1946        | 2.1955        | 12.988           | 0.1923      |
| CV 0.9                     | COR | 0.4636            | 0.3658        | 0.2678       | 0.3704        | 0.4104        | 0.2994           | 0.3571      |
|                            | Xd  | 23.18             | 14.632        | 8.034        | 1.1112        | 2.052         | 11.976           | 0.17855     |
| CV 1.0                     | COR | 0.4375            | 0.3418        | 0.2476       | 0.3462        | 0.3851        | 0.2778           | 0.3333      |
|                            | Xd  | 21.875            | 13.672        | 7.428        | 1.0386        | 1.9255        | 11.112           | 0.16665     |
| Permit of cleanness region |     | 50                | 40            | 30           | 3             | 5             | 40               | 0.5         |

**Table 8.** Determination of designed effluent for COD<sub>Mn</sub>

| CV  | Reli | COD <sub>Mn</sub> |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----|------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|     |      | 25                | 50     | 72     | 80     | 85     | 90     | 95     | 99     | 100    |
| 0.1 |      | 1.0469            | 1.0031 | 0.9698 | 0.9621 | 0.9433 | 0.9103 | 0.8861 | 0.6843 | 0.6843 |
| 0.2 |      | 1.0985            | 1.0063 | 0.9414 | 0.9270 | 0.8927 | 0.8354 | 0.7955 | 0.5201 | 0.5201 |
| 0.3 |      | 1.1553            | 1.0094 | 0.9147 | 0.8943 | 0.8472 | 0.7719 | 0.7217 | 0.4194 | 0.4194 |
| 0.4 |      | 1.2184            | 1.0126 | 0.8894 | 0.8639 | 0.8061 | 0.7174 | 0.6604 | 0.3514 | 0.3514 |
| 0.5 |      | 1.2888            | 1.0158 | 0.8654 | 0.8354 | 0.7688 | 0.6700 | 0.6087 | 0.3024 | 0.3024 |
| 0.6 |      | 1.3678            | 1.0190 | 0.8427 | 0.8088 | 0.7349 | 0.6285 | 0.5645 | 0.2654 | 0.2654 |
| 0.7 |      | 1.4572            | 1.0223 | 0.8212 | 0.7838 | 0.7038 | 0.5919 | 0.5263 | 0.2364 | 0.2364 |
| 0.8 |      | 1.5590            | 1.0255 | 0.8008 | 0.7603 | 0.6752 | 0.5593 | 0.4930 | 0.2132 | 0.2132 |
| 0.9 |      | 1.6761            | 1.0288 | 0.7813 | 0.7382 | 0.6489 | 0.5301 | 0.4636 | 0.1941 | 0.1941 |
| 1.0 |      | 1.8123            | 1.0321 | 0.7628 | 0.7174 | 0.6245 | 0.5038 | 0.4375 | 0.1781 | 0.1781 |

**Table 9.** Removal efficiencies

| Parameter                       | Raw wastewater | Effluent | Removal efficiency |
|---------------------------------|----------------|----------|--------------------|
| COD <sub>Cr</sub>               | 5488           | 183      | 96.7               |
| TOC                             | 2101           | 75.68    | 96.4               |
| COD <sub>Mn</sub>               | 1696           | 82.0     | 95.2               |
| SS                              | 3521           | 63.32    | 98.2               |
| T-N                             | 315            | 25.52    | 91.9               |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | 108.8          | 15.19    | 86.1               |
| ABS                             | 14.57          | 0.64     | 95.7               |
| N-Hexane                        | 411            | 0.89     | 99.78              |
| BOD <sub>5</sub>                | 1852           | 3.95     | 99.79              |
| Cr                              | 73.2           | 0.054    | 99.93              |

f) 신뢰도계수(COR)를 적용한 설계수질(Xd)의 산정

$$X_d = COR \times X_s \tag{10}$$

K 피혁폐수처리장 처리공정에 의해 설계할 경우 CV 변화

에 따른 COR값과 이를 기초로 한 설계수질은 Table 7과 같이 산정할 수 있다. 같은 처리공정으로 청정지역에서 방류수 수질기준 95%를 만족하기 위한 설계수질을 말하는 것으로, Table과 같이 설계할 경우에 방류수 수질은 기준치의 95%를 만족할 수 있다는 뜻이다.

예를 들면, 청정지역에서 폐수처리장 설계 시(시설의 CV = 0.5일 때), BOD<sub>5</sub> 방류수 수질 40 mg/L를 95% 만족하기 위해서는 17 mg/L이하로, COD<sub>Mn</sub>방류수 기준 50 mg/L를 95% 만족하기 위해서는 30 mg/L이하로 설계하여야 한다. 또한 TN 방류수 수질기준 30 mg/L이하, 크롬 0.5 mg/L를 95% 만족하기 위해서는 각각 11 mg/L 및 0.25 mg/L이하로 설계하여야 한다.

### 3.1.3. 95% 신뢰도 값

현재의 배출허용기준은 순간 농도측정에서 농도기준을

초과하지 않아야 한다. K피혁폐수처리장에서는 96%신뢰도 값을 배출허용기준으로 정할 경우, 현재의 기준보다 얼마나 강화할 수 있을 것인지에 대한 확인이 필요하다. 여기서 설명한 신뢰도 값 95%란, 집단에서 95%가 만족 가능한 배출허용농도를 말한다. 예를 들면 유출수의 BOD 농도를 낮은 값에서 높은 값의 순서로 배열하면 백분위 95%에 해당하는 값이 9.72 mg/L이다

#### 4. 결론

본 연구는 최적처리기술 평가기법 시안 마련과 시범적용 등 2개년 사업의 1차년도 연구로, 최적처리기술을 적용한 피혁폐수처리시설의 유입·유출수의 통계학적 분석결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) K피혁 폐수처리장의 Xmean값은 BOD<sub>5</sub> 3.95 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 82.0 mg/L, SS는 36.32 mg/L 및 TN은 25.52 mg/L이었고, 이들의  $\sigma_x$  값은 각각 2.31, 19.29, 25.96 및 15.14 mg/L로 나타났다. 분석한 11개 항목 중 표준편차가 가장 큰 것은 COD<sub>Cr</sub> 34.52 mg/L 그리고 가장 작은 항목은 ABS는 0.18 mg/L로 가장 낮았다. 또한 변동계수 CV(평균에 대한 표준편차의 비) 값은 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N가 2.49로 가장 높고 TOC는 0.18로 가장 낮았다.
- 2) 분석대상 11개 물질의 변동계수(CV =  $\sigma_x / Xmean$ )의 범위는 0.18~2.49의 범위(TOC가 최저치, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N가 최고치)로 나타났으며, 신뢰도계수 COR(설계수질/방류수 수질기준)값은 BOD<sub>5</sub>가 0.03으로 가장 낮았고, COD<sub>Mn</sub>이가 0.63으로 가장 높은 값을 나타내었다(현재 적용하고 있는 나 지역 배출허용기준에 대한 방류수 평균농도를 기준).

- 3) 그러나 청정지역 배출허용기준에 대한 95% 신뢰도 값을 적용할 경우에는, COD<sub>Mn</sub>, SS, TN, BOD<sub>5</sub>의 COR 값은 각각 2.4, 2.15, 2.40 및 0.24로 나타나, BOD<sub>5</sub>를 제외하면 배출허용기준의 2배 이상의 농도로 새로운 적정처리기술을 모색하여야 한다. 그렇더라도 BOD<sub>5</sub>는 배출허용기준 24%의 낮은 농도로 방류하여 처리효율이 매우 높은 것으로 평가할 수 있다.
- 4) 본 피혁폐수처리공정으로 방류수 수질기준 95%를 만족하기 위한 수질을 기대할 수 있도록 청정지역에서 폐수처리장 설계 시(시설의 CV=0.5일 때), BOD<sub>5</sub> 방류수 수질 40 mg/L이하를 95% 만족하기 위해서는 17 mg/L이하로, COD<sub>Mn</sub>(배출허용기준 50 mg/L 이하)는 30 mg/L 이하, 또한 TN(배출허용기준 30 mg/L이하), Cr(배출허용기준 0.5 mg/L 이하)은 각각 11 mg/L 및 0.25 mg/L 이하로 설계하여야 하는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

국립환경연구원, 환경관리기술의 평가기술-폐수처리공정별 BAT 평가 및 원단위 산정 (2004).

선상운, 신뢰성에 기초한 하수처리장의 설계 및 처리효율 평가, 석사학위논문, 한양대학교 (2001).

이해용, 이필영, 통계학 입문, 자유아카데미 (1997).

환경부, 수질오염공정시험방법 (2003).

APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed. (1992).

Salar, N., Niku, S., Schroeder, E. D., and Samaniego, E. L., Performance of Activated Sludge Process and Reliability-based design, *Journal WPCF*, 51(12), pp. 2841- 2857 (1979).