

하수처리공정에서 수온, C/N비, BOD부하량에 따른 SNR, SDNR의 통계적 연구

A Statistical Study of SNR, SDNR on Water Temperature, C/N Ratio, and BOD Loads in Wastewater Treatment process

안상우* · 민지은** · 박재우***

An, Sang Woo · Min, Jee Eun · Park, Jae Woo

Abstract

Statistical methods were used in the analysis of data, which are the SNR and SDNR in describing the various natures, and the methodology relating the results with the operation was developed. Multiple regression analysis based on the results of statistics of data were $SNR = 0.0219 + 0.000044BOD \text{ loading} - 0.00600C/N \text{ ratio}$ and $SDNR = 0.0226 + 0.000044BOD \text{ loading} - 0.00602C/N \text{ ratio}$. It were concluded that the variability of the process performance should be reflected to the operation condition procedure through the analysis based on the statistics methods.

key words : Statistical methods, BNR, SNR, SDNR, Multiple regression analysis

본 연구에서는 변동적인 특성을 지닌 자료 분석에 효과적인 확률, 통계기법을 도입하여, 하수처리장의 SNR과 SDNR을 분석하고 그 결과를 운영에 반영할 수 있는 방법을 연구하였다. 기본적인 통계처리 결과를 바탕으로 다중회귀분석을 실시한 결과 $SNR = 0.0219 + 0.000044BOD \text{ 부하량} - 0.00600C/N\text{비}$ 와 $SDNR = 0.0226 + 0.000044BOD \text{ 부하량} - 0.00602C/N\text{비}$ 로 나타났다. 따라서 처리공정의 운전 시 각 공정이 갖고 있는 운전조건의 변동성을 반영하기 위해서는 통계적 접근이 필요하다.

1. 서 론

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 필수적이다. 현재 운전되고 있는 하수처리장은 설계시 대상처리공정이 갖는 처리능력에 대한 신뢰성이 부족하고 운영면에서는 유입수질 대비 처리수질 비율, 방류수 수질기준 초과여부 등으로 처리능력을 평가하고 있다. 처리장의 효율을 평가하는 방법으로 대상오염물질의 농도감소 즉, 제거효율을 평가하는 방법으로 대상 오염물질의 농도감소 즉, 제거효율을 기준으로 사용되고 있으며, 처리공정을 거치면서 대상 오염물질이 어느 정도 처리되었는지를 평가하게 된다. 그러나 처리공정이 일정한 오도로 처리수를 배출한다고 하여도 유입농도가 높은 경우에는 제거효율이 좋은 것으로, 유입농도가 낮을 경우에는 제거효율이 상대적으로 저조한 것으로 평가되므로, 동일한 처리수질에도 불구하고 처리능력을 다르게 이해하는 오류를 낼 수 있다. 이러한 단순한 처리효율평가를 대신하여 유출수질을 통계학적으로 해석하고 이를 통하여 처리시스템의 성능을 평가하고자 하는 시도가 몇몇 연구자들에 의해 수행되어 왔다. 하지만 국내에는 하수처리장과 같은 환경기초시설의 성능평가를 실시하는데 있어서 하수처리공정에 대한 운전자료와 경험이 부족할 뿐만 아니라 정상상태를 기준으로 한 설계와 운전은 하수처

* 한양대학교 토목공학과 · 박사과정 · E-mail: asw03@hanyang.ac.kr

** 한양대학교 토목공학과 · 박사후 과정

*** 정회원 한양대학교 토목공학과 · 교수

리장의 동적 변화에 적용하기 어려우므로 적절한 운전을 위해서는 공정의 감시와 이를 통한 제어와 함께 통계적 기법을 적용함으로써 보다 신뢰성 있는 설계와 성능평가가 가능하도록 하여야 한다.

BNR(Biological Nutrients Removal)공정 중 간헐폭기공정은 유입수중의 유기물을 질소 및 인 제거과정에서 효율적으로 활용하고 기존의 활성슬러지 공정에서 공기공급장치의 ON/OFF에 의해 적용이 용이한 운영 방법으로 기존공정에서 질소의 효율증진을 위한 방법으로 많이 적용되었으며, 기존의 SBR 시스템에서도 적용되었다. USEPA에서는 간헐폭기 형태의 운영에 있어서 중요한 설계 및 운영인자로서 폭기/비폭기시간, SRT 및 유입수중의 BOD/TKN의 비율을 지적하고 있으며, 질소제거의 척도인 SNR과 SDNR은 수온, C/N비, BOD부하량 등이 주요인자로 보고되고 있다. EPA(1993)의 연구보고서에 의하면, 탈질율을 0.015~0.06gN/gMLVSS·d로 제시하고 있고 영향인자로는 SRT, 온도, pH, 미생물 농도와 초기NO₃-N 농도를 들고 있다. SRT가 높아질수록 SDNR은 낮아지는 것으로 보고하고 있다. 탈질율과 온도와의 관계식은 Arrhenius 식을 이용하여 표시되고 있는데, 이때의 온도상수는 유기물의 종류와 반응조의 형태에 따라 1.03~1.20의 범위에 있다.

따라서 본 연구에서는 P시 하수처리장 내 간헐폭기공정의 데이터를 이용하여 수온, C/N비, BOD부하량에 따른 SNR과 SDNR을 통계적기법을 사용하여 분석하여 신뢰성 있는 설계와 성능평가를 실시함으로써 그 결과를 활용하는 방안에 대하여 살펴보았다.

2. 연구방법

2.1 측정항목 및 방법

본 연구에서 행한 수질측정법 및 항목은 다음과 같다. 시료채취는 생물 반응조에서 하루에 한번씩 128일간 채취하고 유입수와 방류수에 대하여 NH₃-N, NO₃-N, MLVSS, 유량 및 수온을 측정하였다. 분석은 모든 항목은 공정시험법을 이용하였다.

2.2 다중회귀분석

2.2.1 다중회귀 모형

다중 회귀모형이란 회귀모형에 두 개 이상의 독립변수들을 포함하고 있는 모형을 의미한다. 반응변수 Y와 p개의 설명변수 X₁, X₂, . . . X_p와의 관계를 모수 β₀와 β₁, β₂, . . . β_p의 선형함수의 형태로 고려하는 다중선형회귀모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \epsilon$$

다중선형회귀모형에서 필요로 하는 가정은 첫째, 독립변수는 고정된 상수이고 둘째, 오차항의 평균은 0, 분산은 표준편차의 제곱이며 서로 독립이며, 셋째, 오차항은 정규분포를 따른다.

2.2.2 다중회귀분석 절차

수질항목의 screen 및 scoping을 위하여 데이터 상호간 독립변수들이 서로 상관관계가 없어야한다는 가정하에 산점도나 산점도 행렬, 상관 분석을 통하여 변수들이 어떠한 관계를 가지고 있는가를 파악하는 단계인 자료의 탐색과 회귀분석 수행을 위하여 종속변수와 독립변수를 구분하고, 독립변수의 수나 종속변수의 형태에 적절한 분석 방법을 선택하여 분석하였다. 그리고 회귀하무의 적합성, 회귀계수에 대한 유의성 검정 및 추정, 반응변수의 변화와 밀접한 관련이 있는 독립변수를 선정한 후 추정된 모형이 타당한지를 검토하기 위해 잔차분석을 실시하였다. 회귀모형 및 계수들의 유의성이 입증된 후 추정된 회귀식을 통하여 모형을 해석하고, 독립변수의 값에 따른 종속변수의 값을 예측하였다.

3. 결 과

3.1 기초통계량 분석

실제의 간헐폭기공법을 사용하는 하수처리장의 2006년 5월 11일부터 2006년 12월 30일까지의 128일간의 운영자료를 이용하여 분석 수행하였다. 각 항목들의 특성을 파악하기 위해 평균, 표준편차, 변동계수, 왜도, 첨도를 계산하였다. 각기 다른 항목간의 비교를 위해서 변동계수를 보면 수온의 경우는 17.3으로 비교적 낮은 수치지만 나머지 BOD부하량, C/N비, SNR, SDNR의 경우는 27~28의 분포로 수온에 비해서 높은 수치가 나왔다. 이는 BOD부하량, C/N비, SNR, SDNR이 수온에 비하여 더 큰폭으로 변동되고 있음을 나타낸다. 또 수치의 정규분포상을 보기위하여 왜도와 첨도를 보면 수온의 경우 두항목 모두 음의 값으로 정규분포보다 왼쪽으로 꼬리가 길고 납작하고 두꺼운 꼬리를 가진다. BOD부하량의 경우는 왜도는 1.05, 첨도는 3.8로서 오른쪽으로 꼬리가 길고 정규분포보다 더 뾰족한 형태를 보인다. C/N비와 SNR, SDNR도 정도의 차이는 있지만 BOD부하량과 같은 분포를 가진다.

Table 1. 각 항목의 기초통계량 분석

항목	수온 (°C)	BOD부하량 (kg/d)	C/N비 (BOD ₅ /T-N)	SNR (kgN/kgMLVSS · d)	SDNR (kgN/kgMLVSS · d)
평균 (최소~최대)	19.954 (12.8~24.0)	674.5 (236.2~1477.1)	3.63 (1.269~9.811)	0.03 (0.011417~0.063450)	0.031 (0.012028~0.064138)
표준편차	3.452	185.1	1.013	0.008	0.008
변동계수	17.30	27.44	27.92	28.11	27.65
왜도	-0.79	1.05	2.54	0.57	0.59
첨도	-0.80	3.80	13.56	0.94	0.94

3.2 추세분석

산점도 행렬을 보면 수온이 올라감에 따라 SNR과 SDNR은 약간 떨어지는 경향을 보이고 BOD부하량이 올라감에 따라서는 급격히 올라감을 알 수 있다. C/N비는 올라감에 따라서는 SNR과 SDNR이 떨어지는 것으로 나타났다. 기존의 연구에서는 온도가 올라감에 따라 SNR과 SDNR이 올라가는 것으로 알려졌으나 이번 연구에서는 조금 다른 양상을 보이고 있는데 이는 수온이 적정범위에서 크게 벗어나지 않고 질산화와 탈질에 미치는 다른 영향들이 작용한 것으로 보인다.

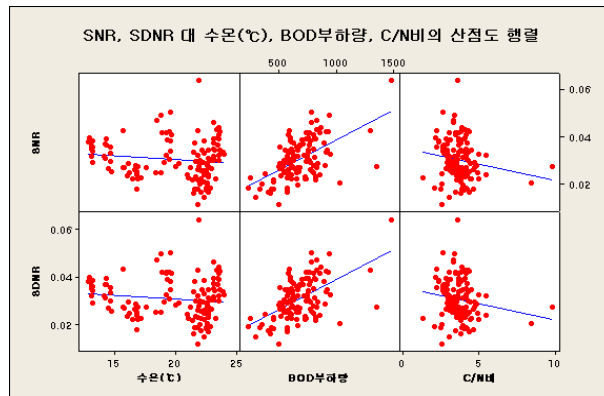


Figure 1. 각항목의 산점도 행렬

3.3 다중회귀분석

다중회귀분석에서는 예측변수가 2개 이상이므로 우선 SNR과 SDNR에 관하여 최량 부분 집합 회귀 분석을 수행하였다. 예측변수인 수온, BOD부하량, C/N비를 가지고 최량 부분 집합 회귀분석을 각각의 SNR과

SDNR에 대하여 분석해본 결과는 Table6, 7과 같다. 그 결과를 살펴보면 SNR과 SDNR의 R²(수정)값이 BOD부하량과 C/N비의 예측변수만으로 분석한 결과가 가장 높음을 보이고 있다. 또 Mallows C-P값이 예측변수의 수와 비슷하면서 작은 모형을 선택해야하는데 R²(수정)값에서 선정된 모형과 일치함을 알 수 있다. 따라서 다중회귀분석은 SNR과 SDNR 모두 BOD부하량과 C/N비를 예측변수로 하여 분석하였다. SNR의 회귀방정식은 “SNR = 0.0219 + 0.000044BOD부하량 - 0.00600C/N비”이고 R²(수정)값은 65.6%로 나왔다. SDNR의 회귀방정식은 “SDNR = 0.0226 + 0.000044BOD부하량 - 0.00602C/N비”이고 R²(수정)값은 65.3%가 나왔다. 그 잔차 그림을 보면 “잔차 정규 확률도”에서 데이터가 직선에 가까우므로 정규분포를 따른다고 볼 수 있다. “잔차 대 적합지”그래프를 통해 잔차의 등분산성을 알아볼 수 있다. 아래의 그래프의 겨우 어떠한 규칙이나 패턴을 보이지 않고 랜덤으로 분포되어 있으므로 등분산성도 만족 되었다고 볼 수 있다. “잔차 대 데이터 순서”그래프를 통해 잔차의 독립성을 알아볼 수 있다. 아래의 그림에서는 특정한 패턴을 보이지 않으므로 잔차의 독립성이 만족되었다고 할 수 있다.

Table 2. SNR의 최량 부분 집합 회귀 분석

변수	R ²	R ² (수정)	Mallows C-P	S	수온(℃)	BOD부하량	C/N비
1	31.4	30.9	127.5	0.0070417		○	
1	2.7	1.9	232.8	0.0083882			○
2	66.2	65.6	2.1	0.0049659		○	○
2	34.6	33.5	117.9	0.0069046	○	○	
3	66.2	65.4	4.0	0.0049844	○	○	○

Table 3. SDNR의 최량 부분 집합 회귀 분석

변수	R ²	R ² (수정)	Mallows C-P	S	수온(℃)	BOD부하량	C/N비
1	31.0	30.5	126.5	0.0070751		○	
1	2.8	2.0	229.1	0.0084005			○
2	65.8	65.3	2.1	0.004992		○	○
2	34.2	33.1	117.0	0.0069381	○	○	
3	65.9	65.0	4.0	0.0050178	○	○	○

4. 결 론

본 연구에서는 P시 하수처리장 내 간헐폭기공정의 데이터를 이용하여 수온, C/N비, BOD부하량에 따른 SNR과 SDNR을 통계적기법을 사용하여 분석하여 신뢰성 있는 설계와 성능평가를 실시함으로써 그 결과를 활용하는 방안에 대하여 살펴보고자 하였다. 생물학적 하수처리공법 중 중요 운영인자인 수온, C/N비, BOD 부하량에 따른 SNR과 SDNR의 다중회귀분석 결과 SNR의 회귀방정식은 “SNR = 0.0219 + 0.000044BOD부하량 - 0.00600C/N비”이고 R²(수정)값은 65.6%로 관찰되었으며, SDNR의 회귀방정식은 “SDNR = 0.0226 + 0.000044BOD부하량 - 0.00602C/N비”이고 R²(수정)값은 65.3%로 조사되었다. 따라서 하수처리장의 동적 변화에 적용하기 위해서는 하수처리 공정의 감시와 이를 통한 운영 제어와 함께 공정별 특성을 파악하기 위하여 통계적 기법을 적용함으로써 보다 신뢰성 있는 설계와 하수 내 질소제거성능평가가 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 박재로, 안상우, 윤영한, (2006), 간헐폭기를 이용한 포기조 내 질소 제거, 대한환경공학회지
2. 정인철, 정병길, 성낙창, (2006), 수온감소기와 증가기의 질소제거 특성 평가, 한국폐기물학회지
3. 송창수, 김형진, (2002), 하수처리에서 염분에 따른 SOUR, SNR, SDNR의 영향 연구, 상하수도학회지
4. 서인석, 김병균, 이상일, (1998), 간헐폭기 활성슬러지공정에서 C/N비와 질소제거의 관계, 대한위생학회지