

생활오수 처리를 위한 인공습지의 처리수 수질 추정식에 관한 연구

윤 춘 경 · 권 순 국^{*} · 전 지 흥^{**}

건국대학교 농공학과, *서울대학교 농공학과, **건국대학교 대학원 농공학과

Study on the Estimation Equation of Effluent Concentration from Constructed Wetland for Domestic Wastewater Treatment

C. G. Yoon, S. K. Kwun, J. H. Jeon

Dept. of Agricultural Eng., Konkuk University

** Dept. of Agricultural Eng., Seoul National University*

*** Graduate School, Konkuk University*

Abstract

Effluent concentration estimation equations for treatment wetland were reviewed with 3-year experimental data. Four equations from USEPA, WPCF, Kadlec and Knight, and this study were applied to the over 100 data points of 1996 to 1999 study at the pilot plant in Konkuk University. The system was a subsurface flow type and consisted of 60cm depth of sand and reeds, and it worked continuously including winter with domestic sewage from school building.

Generally, all the equations demonstrated reasonable agreement with experimental data and they could be used for design process if selected carefully. Among them, the equation from this study showed the best fit for the data. The reason might be not only the equation was derived from the experimental data, but also it included plant coverage parameter in the equation while others did not. Plant coverage was proved to be an important parameter in the prediction of the treatment wetland system, and its inclusion in the estimation equation could improve the accuracy. Although existing equations could be used in the wetland design, pilot plant experiment for the anticipated condition and subsequent equation development can provide more reliable equation. It takes time to obtain meaningful data from wetland system. Therefore, timely onset of well organized study is recommended before large scale application of treatment wetland system to either point or nonpoint source pollution abatement.

KEYWORDS : constructed wetland, Estimation Equation, multiple regression, BOD₅, SS, T-N, T-P

1. 서 론

과거 수십 년간 우리는 오수처리시설을 건설하는데 있어 '콘크리트와 철근'을 고집해왔다. 그러나 이러한 시설을 건설하고 유지시키기 위해서는 많은 비용과 노동력을 필요로 한다. 지방자치제 실시 이후, 인구밀도가 상대적으로 낮은 지역에서는 오수처리시설의 유지관리비가 전체 예산의 운영에 큰 부담이 되고 있다. 그러므로 농촌지역의 경우 하수도보급률이 저조하여 농촌지역에서 발생한 점원오염의 상당부분이 제대로 처리되지 못한 채 수계로 유입되고 있다. 농업용수 수질측정망 161개 지점의 주요 오염원을 조사한 결과, 생활하수에 의한 오염이 109개소 (67.7%)로서 수질오염 방지를 위해 생활오수처리의 중요성이 강조되고 있다.¹⁾

기존처리시설에 대한 비용부담을 줄이기 위해 많은 사람들은 수질오염을 방지하고 동시에 경제성 있는 방법을 찾기 시작했다. 이러한 접근 중에 하나는 인공적으로 오수를 처리하는 기능을 갖는 생태환경을 조성하는 것이며 대표적인 예가 인공습지이다. 인공습지의 처리수는 농업에서의 영양물질원으로서 재활용 가능하며⁶⁾ 우리나라의 경우 윤 등의 연구에 의해 농업용수의 재활용에 대한 가능성을 제시하였다⁷⁾.

우리 나라에서도 최근 몇 년전부터 인공습지에 대한 연구가 이루어졌으며 현장적용사례도 몇몇 볼 수 있다.³⁾⁴⁾⁵⁾

인공습지는 자연정화를 기본으로 한다. 따라서 현장적용에 있어서, 처리효율에 영향을 주는 인자를 충분히 고려함으로써 인공습지의 자정능력을 충분히 발휘할 수 있도록 설계되어야 한다. 기존의 연구에 의해 제시된 설계용 추정식 대부분이 유입수 농도나 수리부하율과 같은 물리적 인자를 고려하였으며, EPA에서 제시된 BOD₅ 추정식의 경우는 온도 인자를 고려하였다.¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾ 그러나 인공습지의 처리효율은 식물의 존재여부에 영향을 받는다는 것이 밝혀졌으며⁷⁾, 우리 나라와 같이 식물의 생장과 소멸이 뚜렷이 반복되는 경우 식물의 생장곡선과 기온

의 변화 곡선사이의 시간적 차이가 존재한다면 생화학적 작용에 영향을 주는 온도뿐 아니라, 식물과 같은 인자를 추가시켜야만 더욱 효율적인 인공습지의 설계가 가능하리라 생각된다.

본 연구는 1997년 3월에서 1999년12월까지 약 3년간 건국대학교 농업생명과학대에 설치된 수질개선용 인공습지의 수질 자료를 이용하여, 유출수농도 추정식을 제시하고 기존의 문헌상에 제시된 추정식의 적용가능성 및 습지 설계시 고려인자를 고찰함으로써 인공습지 설계 및 운영에 도움을 주고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 수질개선용 인공습지의 제원

실험에 사용된 인공습지는 Fig. 1과 같다. 인공습지의 종류는 유입수의 흐름을 기준으로 하여 지하흐름형(subsurface flow system)이며 갈대(*Phragmites communis*)를 처리조에 식재하였다. 실험용 인공습지의 규모는 폭 2m, 길이 9m, 깊이 0.6m로 하였는데, 습지의 깊이의 경우 식재된 식물이 산소를 공급할 수 있는 깊이 즉, 근권에 따라 좌우되는데 본 실험에 사용된 갈대의 경우 근권이 0.6m이기 때문에 습지의 깊이를 0.6m로 하였다. 유입수의 원활한 분산과 유출수의 효율적인 차집을 위하여 처리조의 유입부와 유출부의 0.5m를 자갈로 채웠다. 따라서 실제 처리에 사용된 부분은 폭 2m, 길이 8m로서 폭과 길이의 비는 1:4이고, 표면적은 16m²이었다. 습지의 바닥 경사는 1%이었고 처리조 내는 모래로 채워졌으며, 사용한 모래는 삼각분류법에 의하면 sandy loam, 통일분류법에 의하면 silty sand이었다.

2.2 입력자료

1997년 3월부터 1999년 12월 동안 건국대학교 농업생명과학대학에 설치된 수질개선용 인공습지의 수질 자료는 총 108개였다. 1997년 3월부터 1998년 4월까지 적용된 유량은 2.5m³/day이고, 수리부하율과 이론적 체류기

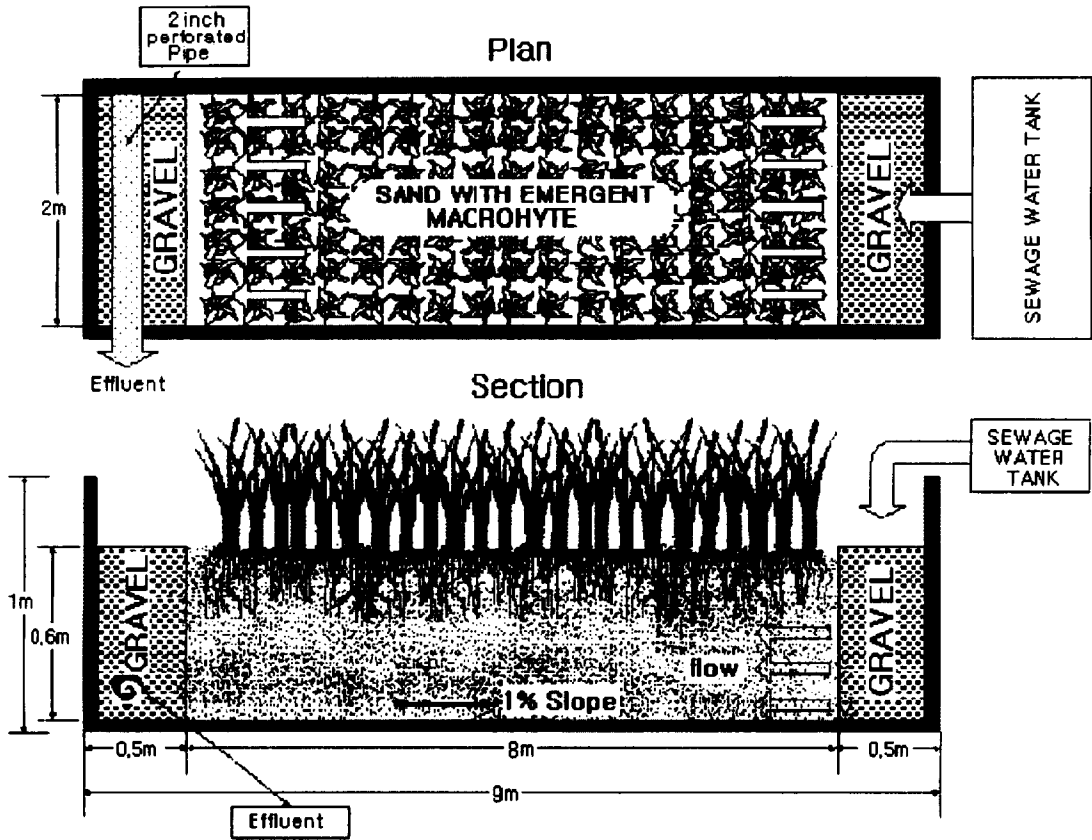


Fig. 1 Schematic diagram of the constructed wetland

간은 각각 $0.16\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ 와 1.38일이었다. 1998년 5월부터 1999년 12월까지 적용된 유량은 $1.0\text{m}^3/\text{day}$ 이고, 수리부하율과 이론적 체류기간은 각각 $0.06\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$, 3.5일이었다. 본 연구기간 동안 BOD_5 , T-P, T-N, SS의 유입수 총 평균 농도는 각각 143.34mg/L , 13.46mg/L , 113.76mg/L , 63.13mg/L 로써 우리나라 하수 유입수의 평균 농도보다 다소 높은 편이었으며, 처리한 유출수의 총 평균 농도는 각각 48.69mg/L , 7.70mg/L , 83.70mg/L , 18.72mg/L 이었다. 시료채취는 거의 일주일 단위로 이루어졌으며 수질 분석은 Standard Methods⁹⁾를 따랐다. 식물의 성장 정도와 대기의 온도와의 약간의 시간차를 가졌는데 대기온도의 경우 3-4월달에 증가하여 9월에 들어 감소하는 반면, 식물의 성장정도는 6

달에 왕성하게 성장하여 11월 중순에 급격히 사멸하는 경향을 나타내었으며 처리효율 또한 식물성장정도의 주기를 따랐다. 따라서 인공습지에서 오염물질 제거에 온도뿐 아니라 식물의 성장 정도가 끼치는 영향을 검토해 볼 필요가 있었다. 본 연구에 있어서는 매일 작성하는 실험시설관찰일지를 근거로 하여 처리조 내에 성장하는 갈대의 피복정도(被度, coverage)를 유출수농도 추정공식에 포함시켰다. 실험일지를 근거로 산정한 갈대被度는 Table. 1과 같다.

2.3 유출수 농도 추정식

문헌에서 수질개선용 습지의 유출수농도 추정 관계식은 EPA¹⁰⁾와 WPCF¹¹⁾, Kadlec and Knight¹²⁾ 등에 의하여 제시된 바 있다.

Table 1 Monthly plant coverage of the treatment wetland basin (%)

month year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov		Dec
											early	late	
1997			0	0	30	70	100	100	100	100	80	20	0
1998	0	0	0	10	30	70	100	100	100	100	100	40	0
1999	0	0	0	20	40	70	100	100	100	100	100	40	0

EPA에서는 BOD₅ 제거는 first-order을 따르며 처리조 내의 흐름은 plug-flow라는 가정 하에 유입수농도, 수온, 체류기간 등을 고려한 설계용 관계식을 만들었으며 식(1)과 같다. 소개하는 관계식들에서 C_i는 유입수농도 (mg/L)이고 C_e는 유출수농도(mg/L)이다.

$$BOD_5 : \frac{C_e}{C_i} = e^{-K_T \cdot t} \quad \dots\dots(1)$$

$$KT = K_{20}(1.1)^{(T-20)} \quad \dots\dots(2)$$

여기서,

K_T = 감소계수 (day⁻¹)

T = 수온 (°C)

t = 수리학적 체류기간 (day)

K₂₀ = 수온 20°C에서의 감소계수

WPCF는 유입수농도와 수리부하율을 독립변수로 하여 회귀분석에 의해 유출수 T-N 농도를 추정하는 관계식을 식(3)와 같이 유도하였으며, BOD₅에 관한 공식은 EPA공식과 동일하였다.

$$T-N:C_e = 0.193 \cdot C_i + 1.55 \cdot H_L - 1.75 \dots(3)$$

$$(R^2 = 0.79, n = 34)$$

$$12.2 < C_e < 122 \text{ mg/L}$$

여기서,

H_L = 수리부하율 (m³/m²/day)

Kadlec and Knight는 유입수 하나의 인자를 이용하여 유출수의 BOD₅, SS, T-N, T-P 농도를 추정하기 위해 식(4)-식(7)과 같은 관계식을 제시하였다.

$$BOD_5:C_e = 0.11 \cdot C_i + 1.87 \quad \dots\dots(4)$$

$$(R^2 = 0.74, n = 73)$$

$$1 < C_i < 330 \text{ mg/L}$$

$$0.008 < H_L < 0.22 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{day}$$

$$SS:C_e = 4.7 + 0.09 \cdot C_i \quad \dots\dots(5)$$

$$(R^2 = 0.67, n = 77)$$

$$0 < C_i < 330 \text{ mg/L}$$

$$0.008 < H_L < 0.22 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{day}$$

$$T-N:C_e = 2.6 + 0.46 \cdot C_i + 0.124 \cdot H_L \dots(6)$$

$$(R_2 = 0.45, n = 135)$$

$$5.1 < C_i < 58.6 \text{ mg/L}$$

$$0.7 < H_L < 48.5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{day}$$

$$T-P:C_e = 0.51 \cdot C_i^{1.10} \quad \dots\dots(7)$$

$$(R^2 = 0.64, n = 90)$$

$$0.5 < C_i < 20 \text{ mg/L}$$

EPA에서 제시한 설계용 관계식(1)은 수온 인자가 포함되어 있어 설계시 시스템 내의 수온자료를 추정해야 한다

식(3) - 식(7)은 유입수농도와 수리부하율, 혹은 유입수농도만을 고려한 관계식이었고, 실제 수질개선용 습지의 오염물질 처리율에 영향을 주는 기온을 고려하지 않은 공식이었다. 또한 위에서 제시한 모든 식들은 수많은 인공습지의 현장자료를 토대로 산정하였기 때문에 특정한 식물의 종류나 피복의 정도를 고려하지 않았다. 앞에서 제시한 모든 관계식들은 갈대 被度를 고려하지 않았다. 따라서 인공습지의

처리율에 식물의 성장상태가 큰 영향을 미치므로 기후변화에 따라 식물被度가 변화하는 우리나라의 경우는 위의 식을 그대로 적용하기에 무리가 있으리라 판단된다.

본 연구에서는 3년간의 실험용 인공습지에 의한 오수처리 현장실험자료를 통계적으로 분석하여 관계식을 유도하였다. 인공습지용 갈대는 그 종류가 한정되어 있으며 처리효과에 큰 차이를 나타내지 않기 때문에 갈대의 종류는 고려하지 않았으며 이는 기존의 연구에서도 고려하지 않았다. 대상 수질 항목은 BOD₅, T-P, T-N, SS이었으며 다음과 같은 표현 모델식을 이용하여 다중회귀분석을 실시하였다.

$$C_e = a \cdot H_L^b \cdot C_i^c \cdot T_a^d \cdot P^e \quad \dots\dots(8)$$

여기서,

C_e = 유출수농도(mg/L)

H_L = 수리부하율($m^3/m^2/day$)

C_i = 유입수농도(mg/L)

T_a = 일 평균기온 + 20 (°C)

P = 갈대被度(소수점) + 0.1

a, b, c, d, e = 회귀계수

여기에서 T_a 와 P 는 통계프로그램의 적용상 오류를 방지하기 위하여, T_a 는 음수가 되지 않도록 20°C를 더하였고 P 는 0이 되지 않도록 0.1을 더하여 조정하였다.

실험기간 동안 수집된 자료를 통계용 전산 프로그램인 SPSS for windows 7.5에 의해 통계처리 하였다. 우선 갈대被도와 대기온도 중

인공습지의 처리율에 영향을 크게 끼치는 인자를 상관분석(Correlation Analysis)에 의해 결정하였다.

수리부하율, 유입수 농도를 포함하는 경우와 앞의 경우에 대기온도를 포함하는 경우, 갈대被도를 포함하는 경우, 대기온도와 갈대被도를 모두 포함한 경우로 각각 나누어 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)을 실시하였다. 회귀분석에 의해 도출된 관계식의 유의성 검토를 위해 결정계수(R^2)를 구함으로써 각 인자를 포함하는 추정식의 정확성을 결정하였다.

이렇게 산정된 관계식과 기존의 관계식의 신뢰도 분석(Reliability Analysis)을 실시하여 각각의 관계식의 적용가능성을 검토해 보았다. 또한 관계식의 오차의 범위를 RMSE(root mean square error)를 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

상관분석(Correlation analysis)은 한 변수가 다른 변수에 있어 어느 정도의 관련성이 있는지를 알고자 할 때 이용되는 분석기법⁸⁾이다. 수질개선용 인공습지의 처리효율에 대기온도와 갈대被도가 끼치는 영향을 알아보기 위해 상관분석이 실시되었으며 그 결과는 Table 2과 같다.

SS를 제외한 모든 항목에 있어 습지의 처리효율과 대기온도, 습지의 처리효율과 갈대被도 모두 유의확률 0.000-0.003으로 유의 수준

Table 2 Comparison of correlation coefficient(R) for temperature and plant coverage

		BOD ₅	SS	T-N	T-P
Removal rate vs temperature	R	0.597	0.116	0.293	0.566
	p-value	0.000	0.251	0.003	0.000
Removal rate vs plant coverage	R	0.686	0.23	0.326	0.727
	p-value	0.000	0.021	0.001	0.000

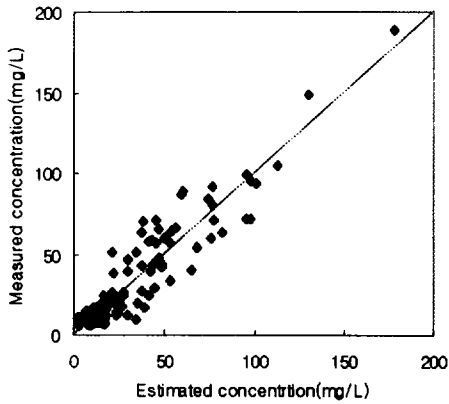
1%에서 유의하다고 볼 수 있다. 상관계수를 기준으로 보면 모든 항목에 있어 처리효율과 갈대被度와의 관계가 더 높은 것으로 나타났다. 이는 SS를 제외한 모든 항목에 있어 신뢰도 99%내에서 처리효율과 갈대被度가 대기온도보다 유의한 관련성이 크다고 할 수 있다. 수질개선용 인공습지의 처리효율에 있어 갈대被度가 가장 큰 영향을 미치는 항목이 T-P로서 상관계수는 0.727이었으며, 대기 온도를 기준으로 하여 가장 큰 영향을 받는 항목이 BOD₅였다.

또한 처리효율에 있어 대기온도나 갈대被度에 영향을 가장 덜 받는 항목이 SS 였으며, 두

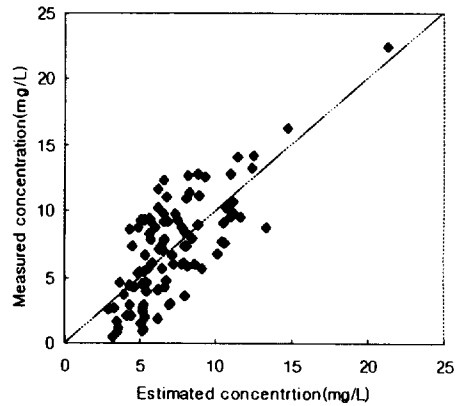
인자의 영향이 서로 비슷한 항목은 T-N이었다. 본 연구에서는 유입수농도, 수리부하율에 대기온도와 갈대被度등의 인자를 조합하여 다중회귀분석 하였으며 그 결과는 Table 3과 같다. 모든 인자를 포함시킬 경우 가장 높은 결정계수를 나타내었다. 수리부하율과 유입수농도를 고려한 식보다는 수리부하율, 유입수농도, 대기온도를 고려한 식의 결정계수가 높은 것으로 보아 오염물질의 처리율에 온도의 영향이 있는 것으로 생각된다. 그러나 대기온도와 갈대被度를 모두 포함한 경우와 대기온도를 제외하고 갈대被度를 포함한 경우의 결정계수가 같은 것으로 나타났다. 이는 갈대被度는 대기온

Table 3 Estimation equations obtained from multiple regression of the experimental data

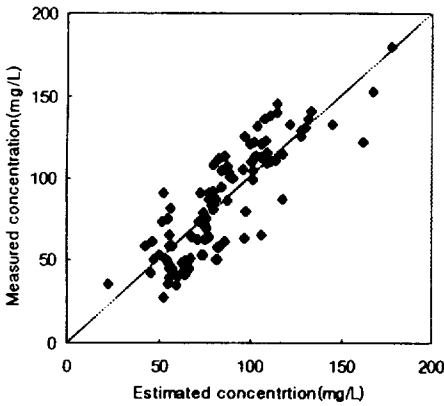
Item	Estimation Equation	R ²	RMSE (mg/L)	number of data
BOD ₅	$C_e = 0.70H_L^{0.29} \cdot C_i^{1.19} \cdot T_a^{-0.45} \cdot P^{-0.31}$	0.87	12.04	100
	$C_e = 0.12H_L^{0.27} \cdot C_i^{1.20} \cdot P^{-0.44}$	0.84	13.22	100
	$C_e = 1.65H_L^{0.31} \cdot C_i^{1.39} \cdot T_a^{-0.89}$	0.81	14.48	100
	$C_e = 0.01H_L^{0.26} \cdot C_i^{1.80}$	0.65	19.54	100
T-P	$C_e = 0.53H_L^{-0.03} \cdot C_i^{0.77} \cdot T_a^{-0.03} \cdot P^{-0.39}$	0.64	2.33	100
	$C_e = 0.59H_L^{0.03} \cdot C_i^{0.77} \cdot P^{-0.38}$	0.64	2.33	100
	$C_e = 25.34H_L^{0.05} \cdot C_i^{0.52} \cdot T_a^{-0.73}$	0.44	2.90	100
	$C_e = 1.65H_L^{0.31} \cdot C_i^{1.39}$	0.15	3.58	100
T-N	$C_e = 1.13H_L^{-0.26} \cdot C_i^{0.74} \cdot T_a^{0.03} \cdot P^{-0.13}$	0.73	17.31	100
	$C_e = 1.27H_L^{-0.25} \cdot C_i^{0.74} \cdot P^{-0.12}$	0.73	17.33	100
	$C_e = 2.41H_L^{-0.23} \cdot C_i^{0.80} \cdot T_a^{-0.22}$	0.68	18.93	100
	$C_e = 1.65H_L^{0.31} \cdot C_i^{1.39}$	0.63	20.15	100
SS	$C_e = 1.25H_L^{0.29} \cdot C_i^{0.64} \cdot T_a^{0.08} \cdot P^{-0.42}$	0.61	7.95	100
	$C_e = 1.71H_L^{0.29} \cdot C_i^{0.63} \cdot P^{-0.40}$	0.61	7.96	100
	$C_e = 23.69H_L^{0.26} \cdot C_i^{0.64} \cdot T_a^{-0.67}$	0.46	9.29	100
	$C_e = 1.30H_L^{0.27} \cdot C_i^{0.79}$	0.36	10.16	100



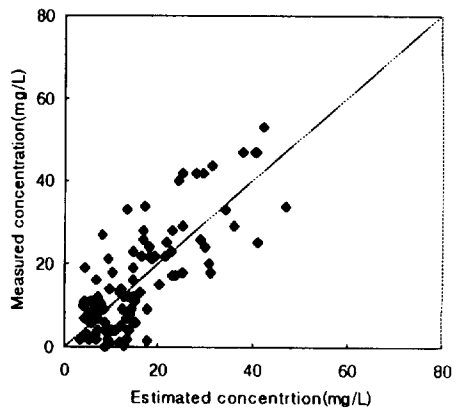
(a) BOD₅



(b) T-P



(c) T-N



(d) SS

Fig. 2 Scatterplots of BOD₅, T-P, T-N, SS effluent concentrations including plant coverage

도가 오염물질 처리율에 미치는 영향을 충분히 반영하였기 때문으로 판단된다.

유입수농도, 수리부하율을 고려한 경우와 갈대被度를 포함한 경우간의 결정계수차가 가장 큰 항목은 T-P로서 0.49였으며 가장 작은 항목은 T-N으로 0.10이었다. 이는 인공습지의 식물에 의한 처리율에 T-P항목이 큰 영향을 받으며 T-N의 항목이 다소 작은 영향을 받는 것을 알 수 있다.

갈대 被度를 포함한 예측치에 대한 실측치와의 산점도는 Fig. 2와 같다. 결정계수가 높을

수록 산점도의 밀집정도가 높다는 것을 의미하는데, 결정계수가 가장 높은 BOD₅의 경우 산점도가 가장 밀집해 있으며 특히 저농도는 예측치와 실측치가 매우 근접한 것을 알 수 있다. BOD₅, T-P의 산점도에서 저농도의 경우 실측치가 예측치 보다 낮게 나타나는 경우가 있는데 이는 처리율이 높은 여름철 경우에 실측값보다 높게 예측하는 것을 알 수 있다.

신뢰도 분석이란 신뢰도를 정확성으로 정의할 경우 하나의 측정도구에서 얻어진 측정치가 측정된 특성의 참된 측정치인가를 판단할 경우

Table 4 Comparison of estimation equations for the experimental data

Classification		Estimation Equation	R	Reliability Coefficients (α)	RMSE (mg/L)
BOD ₅	This study	$C_e = 0.70H_L^{0.29} \cdot C_i^{1.19} \cdot T_a^{-0.45} \cdot P^{-0.31}$	0.93	0.96	12.04
	EPA	$[C_e/C_i] = e^{-K_{rt}}$	0.88	0.94	17.34
	Kadlec et al	$C_e = 0.11 \cdot C_i + 1.87$	0.67	0.45	29.09
T-P	This study	$C_e = 0.53H_L^{-0.03} \cdot C_i^{0.77} \cdot T_a^{-0.03} \cdot P^{-0.39}$	0.80	0.88	2.33
	Kadlec et al	$C_e = 0.51 \cdot C_i^{1.10}$	0.67	0.64	5.10
T-N	This study	$C_e = 1.13H_L^{-0.26} \cdot C_i^{0.74} \cdot T_a^{0.03} \cdot P^{-0.13}$	0.73	0.91	17.31
	WPCF	$C_e = 0.193 \cdot C_i + 1.55 \cdot H_L - 1.75$	0.59	0.37	67.90
	Kadlec et al	$C_e = 2.6 + 0.46 \cdot C_i + 0.124 \cdot H_L$	0.67	0.68	48.09
SS	This study	$C_e = 1.25H_L^{0.29} \cdot C_i^{0.64} \cdot T_a^{0.08} \cdot P^{-0.42}$	0.85	0.86	7.95
	Kadlec et al	$C_e = 4.7 + 0.09 \cdot C_i$	0.68	0.48	14.90

사용되는 분석기법이다.⁸⁾ 갈대 被度를 포함시킨 추정식과 기존의 추정식과의 신뢰도 분석 결과는 Table 4와 같다.

일반적으로 신뢰도의 척도인 크론바하의 알파값이 0.60이상이면 신뢰도에 별문제가 없는 것으로 일반화되어 있으며, Nunnally(1978)는 탐색적인 연구분야에서는 크론바하 알파값이 0.60이상이면 충분하고, 기초연구분야에서는 0.80, 그리고 중요한 결정이 요구되는 응용 연구분야에서는 0.90이상이어야 한다고 주장하고 있다.⁸⁾

본 연구에서 얻은 수질자료에 의해 추정된

식이 동일한 수질자료를 적용하였기 때문에 가장 높은 신뢰도를 나타내었다. 기존에 제시된 추정식만을 비교해 볼 때 EPA에서 제시한 BOD₅의 관계식의 신뢰도가 0.94로서 문헌상에 제시한 관계식 중 가장 높은 값을 나타내었으며, 갈대 被度를 포함한 BOD₅ 유출수 농도 추정 관계식과 매우 유사한 값을 나타내었다. 그 외에 유입수의 농도와 수리학적 부하율만을 고려한 관계식의 경우 T-P, T-N항목에 있어 Kadlec et al(1996)이 제시한 관계식의 신뢰도가 각각 0.64, 0.68로서 신뢰도 0.60을 기준으로 볼 때 적용 가능한 추정식이었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 오수처리용 인공습지의 3년간 수질 자료를 이용하여 BOD₅, T-P, T-N, SS의 유출수 추정식을 도출하고 기존의 문헌상에 제시된 추정식들과 비교하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 인공습지의 처리효율에 대한 대기온도와 갈대被度の 상관성은 모든 항목에 있어 갈대被度の 상관계수가 높게 나타났다. T-P항목에 있어 두 상관관계의 차가 가장 큰 것으로 나타나 T-P의 처리율은 식물에 의해 크게 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

2. 유출수 농도 추정에 있어 모든 항목을 포함하였을 경우와 온도인자를 제외하였을 경우의 결정계수는 BOD₅항목에서는 거의 유사하게, 나머지 항목에 있어서는 동일하였다. 따라서 갈대 被度는 온도인자가 처리효율에 끼치는 영향을 포함하고 있는 것으로 판단된다.

3. 유출수 농도 추정식의 도출에서 기존의 수리부하율과 유입수농도를 주로 사용하여 공식을 만들었으나 여기에 식물의 생장정도를 포함시킬 경우 정확성을 높일 수 있다고 생각한다.

4. 본 연구에 사용된 수질 자료를 이용하여 갈대 被度を 포함시켰을 경우 추정식과 기존에 제시된 추정식의 신뢰도를 분석하였을 경우, 본 연구에서 구한 추정식의 신뢰도가 가장 높게 나타났다. 문헌상에서 제시된 추정식으로 비교하였을 경우에는 유입수농도, 체류기간, 수온을 고려한 EPA 추정식이 유입수농도와 수리부하율만을 고려한 추정식 보다 높은 신뢰도(0.94)를 나타내었다. 이는 유출수 농도추정에서 온도인자를 포함시킬 경우에 유출수농도를 보다 신뢰성 있게 추정할 수 있다는 것을 의미한다.

5. 문헌에 제시된 인공습지 유출수 추정공식들을 실험자료와 비교한 결과 연구자료가 없을 경우에는 이들을 적절히 설계과정에 적용하여도 큰 무리는 없을 것으로 나타났다. 그러나 상세한 실시설계를 위해서는 가능하면 실제상황을 고려한 시범사업등을 통한 실험자료를 활용하여 보다 정확한 추정식을 도출하여 사용하는 것이 바람직하다.

참 고 문 헌

- 농림부, '97 농업용수 수질조사 보고서, 644 (1997).
- 환경부, 환경백서, 371-375 (1998).
- 김형중, 자연정화방법을 이용한 농촌지역의 소규모 오폐수처리 시스템, 35-37 (1997).
- 김도선, 이찬기, 안태석, 정의호, 박상균, 최지용, 오근찬, 신용건, 인공습지를 이용한 군부대 오수정화처리에 관한 연구 (1997).
- 윤춘경, 권순국, 권태영, 인공습지의 농촌지역 오수정화시설에 적용가능성 연구, 한국농공학회지, Vol. 40, No.3, 83-93 (1998).
- 윤춘경, 권순국, 권태영, 오수처리수 관개 벼재배를 통한 농업용수 수질기준 검토, 한국농공학회지, Vol. 41, No. 2, 44-54 (1999).
- 윤춘경, 권순국, 전지홍, 수질개선을 위한 인공습지 자료에 의한 유출수 농도 추정식 개발, 한국농공학회지, Vol. 41 No. 5, 86-92 (1999).
- 정충영, 최이규, SPSSWIN을 이용한 통계 분석, 198-210 (1998).
- Andrew, D. E., *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1995).
- EPA, *Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment* (1988).
- WPCF, *Natural Systems for Wastewater Treatment*, Water Pollution Control Federation, *Manual of Practice FD-16*, 241-248 (1990).
- Kadlec, R. H. and Knight, R. L., *Treatment Wetlands*, 603-640 (1996).