

하수방류수의 대장균군 발생에 영향을 미치는 수질인자에 관한 연구

백영석^{*} · 손진식^{*}

한국환경수도연구소

^{*}국민대학교 건설시스템공학과

Studies on the Effect of Water Quality Parameters on Total Coliform Concentrations in Sewage Effluents

Young-Seog Beck^{*} · Jin-Sik Sohn^{*}

Korea Environment & Waterworks Institute

^{*}Department of Civil and Environment Engineering, Kookmin University

(Received 2 November 2005, Accepted 7 December 2005)

Abstract

The objectives of the present paper were to investigate the concentration of total coliform in wastewater effluents and the effect of water chemical and physical characters in it. The most correlated parameter with total coliform was COD. It means that the wastewater treatment efficient effects on total coliform concentration. And we developed predictive model for the total coliform concentration. The estimated parameters for model were COD, temperature, nitrite, chloride, Mn and regression model equation was determined; $\log(\text{Total Coli.}) = 1.861 + 0.065[\text{COD}] + 0.038[\text{temperature}] - 0.0004[\text{Cl}^-] + 3.697[\text{Mn}] - 0.32[\text{NO}_2\text{-N}]$ The developed model provided very strong correlation ($R^2: 0.82$) between total coliform and regression equation. The parameters having high sensitivity were COD and temperature. So the study indicated that if the temperature and COD of wastewater effluent were known, we would estimate the concentration of total coliform and decide the most effective usage of chlorine.

keywords : Chlorination, Modeling, Sensitivity, Total coliform

1. 서론

상수와 하수처리는 공중 보건을 보호하는 것이 기본적인 목적이다. 이러한 관점에서 수처리의 초점은 병원성 미생물을 제거하거나 불활성화하여 감염성을 저감시켜 질병을 예방하는 것이다(McClellan et al., 1999). 여기에서 수인성 전염병에 관여하는 미생물은 세균, 바이러스, 원생동물로 구분할 수 있다. 가장 큰 관심을 갖는 미생물은 *Giardia*, *Cryptosporidium*과 같은 원생동물이다. Jacangelo 등(2002)이 실시한 22개국의 상하수의 소독 기술에 대한 자료에 따르면, 50~60%의 국가들에서 이들 미생물을 중요하게 다루고 있으며, 세균은 그 다음으로 *Legionella*와 *Campylobacter*가 47%와 33%를 차지하고 있고, 93%의 국가에서 대장균을 지표미생물로서 법적 기준을 설정하고 있다. 지표미생물로서 대장균은 대장균군(total coliform), *E. coli*, 혹은 *Streptococcus*와 같은 분변성대장균군(fecal coliform)으로 구분되며, 하수방류수중의 대장균 분석에 폭넓게 적용되고 있다(송 등, 1997).

도시하수처리장으로 유입하는 대장균군은 mL당 수십만

개체인 것으로 조사되고 있으며, 수온, pH, 화학적 구성물질과 같은 환경적 요인에 의해 감소하며, 딱이사슬에 의해 포식당하거나, 세포의 용해에 의해 자연적으로 사멸하며(Steen et al., 2000), 침전 여과와 같은 물리적인 처리과정에 의해 방류수중의 대장균은 2차처리 방류수에서는 90~99%가 제거된다(WEF., 1996).

이와같이 하수처리과정에서 대장균군 개체수의 변화는 하수처리과정에 따라 차이가 크게 나타나지만, Hubley 등(1985)의 연구에 따르면 도시하수처리장에서 대장균군의 검출 농도는 2차 처리수에서 $10^5 \sim 10^6/100 \text{ mL}$, 질산화 처리수에서는 $10^4 \sim 10^5/100 \text{ mL}$ 로 그 범위가 크지 않기 때문에 처리수의 물리화학적 수질특성과 대장균군 농도와는 어느 정도 상관성을 가질 것으로 예상된다. 한편 하수처리수의 소독에서 대장균군 농도 예측은 Collins 모델이 근간을 이루는데 이 모델식은 $N = N_0(Ct/b)^m$ 으로 N은 소독후 농도, N_0 는 초기 농도, C는 염소 주입 농도, t는 접촉시간, b와 m은 경험 상수로써 접촉시간은 처리장 구조물 설계에 의해 결정되므로 대장균군 초기 농도와 염소 주입 농도에 따라 소독 효율이 달라지게 되며, 대장균군 농도가 높을수록 염소 주입농도가 높아지게 된다(Pretorius et al., 1999; Stover et al., 1986; Tchobanoglous et al., 1991; White, 1992).

한편 하수처리장에서 대장균군 소독 방법중 염소소독은

^{*} To whom correspondence should be addressed.

bys01@kewi.re.kr

미국에서 87%, 일본에서는 97%로 대부분의 하수종말처리장에서 염소소독으로 처리하고 있다(환경부, 2002). 염소소독은 잔류염소가 공공수역에 방류됨에 따라 수중생태계에 독성을 유발하므로 염소잔류량을 최소화할 필요가 있다. 즉, 염소처리한 물을 배수하는 공공수역에서 저농도의 잔류염소를 유지하기 위해 효율적인 염소 주입농도를 결정해야 한다. 그러나 대장균군은 평판집락법으로 시험하여도 18~20시간의 배양기간이 필요하여 염소 주입시점과 대장균군 농도를 알게 되는 시점에 시간 차이가 발생한다. 이에 따라 염소소독전 대장균군 농도를 신속하게 알기 위한 수단으로 예측모델식의 도출이 필요하다. 기존의 수질인자를 이용한 대장균군 예측 모델식은 이(2003)가 국내 1개 하수종말처리장에서 DOC, 수온, 총질소를 독립변수로 한 R² 0.723의 회귀방정식이며, 처리과정이 상이한 하수종말처리에 대한 검토가 요구된다.

따라서 이 연구에서는 염소소독하지 않은 하수처리수의 수질을 분석하여 대장균군 농도에 미치는 수질인자의 특성을 규명하고자 하였으며, 이를 위해 3개 도시 하수종말처리장에서 시료를 채취하여 분석하였다. 또한 수질분석결과를 토대로 중회귀분석을 실시하여 대장균군 농도를 예측하기 위한 인자와 모델식을 도출하였으며, 각 처리장 평균 수질에 대하여 수질 인자별로 민감도를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

본 연구에서 사용한 시험수는 2004년 1월부터 11월까지 염소 소독을 하지 않은 S시, A시, C시 도시하수종말처리장의 방류수이다. S하수종말처리장과 A하수종말처리장은 표준활성슬러지 공정으로 운전되고 있으며, C하수종말처리장은 질소, 인 제거를 위한 고도처리 공정을 적용하고 있다. 각 방류수는 계절적인 변화를 관찰하기 위해 월 1회 채취하였다. 채취한 시료는 멸균 용기에 담아 저온(10°C 이하) 냉장하여 시험실로 운반하였으며, 0~4°C의 암소에 보관하

고 시험분석하였다.

2.2. 분석 방법

하수 방류수 수질의 특성을 파악하기 위해 pH, SS, COD_{Mn}, UV₂₅₄, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, Fe, Mn, 염소이온, 황산이온 등을 분석하였다. 채취한 시료는 미국 EPA의 Standard Method(Eaton et al., 1995)와 우리나라 수질오염 공정시험방법(환경부, 2004)에 따라 분석하였다. COD는 망간법을 이용하였으며, pH 측정은 pH meter(Model 420A, Orion)를 사용하였으며, UV₂₅₄는 0.45 μm membrane filter로 여과한 후 UV/VIS spectrophotometer(UV1601 PC, Shimadzu)을 이용하였다. 또한 염소이온, 황산이온 등 이온성 물질은 IC(Dionex, DX-500)를 이용하였다.

2.3. 자료 분석

각 변수들간의 상관성은 단순 상관계수로 계산하였다. 다중 회귀분석은 통계학적으로 유의한 값을 갖도록 유의수준을 0.05로 설정하였으며, 대장균군의 상용로그(log)에 대하여 각 변수들에 대하여 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석등 통계처리에 사용한 통계 패키지는 Statsoft사에서 개발한 STATISTICA이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 대장균군 농도와 수질항목과의 상관성

이 연구에서 조사한 소독하지 않은 하수방류수의 수질 특성은 Table 1과 같다.

주요 측정 항목들의 분석결과를 보면 수온은 계절적인 요인으로 8~28°C의 변화폭을 가졌으며, 평균 20°C를 나타내었다. COD는 처리장별 처리 효율의 차이로 인해 8~25 mg/L의 넓은 범위에서 평균 14 mg/L의 농도를 나타내었다. 부유물질은 0.8~33 mg/L로 표준 편차가 9 mg/L로 변화폭이 컸으며, 암모니아성질소, 질산성질소, 아질산성질소 등 질소 농도는 고도처리의 영향으로 농도 변화의 폭이 크

Table 1. Characterization of water quality parameters in treated wastewater

Parameters	Valid N	Mean	Min.	Max.	Std.Dev.
Temperature (°C)	31	20	8	28	6
pH	31	7	5.27	8	0.4
Susp. Sol. (mg/L)	31	8	0.8	33	9
COD (mg/L)	31	14	8	25	5
UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	31	0.19	0.094	1	0.26
Ammonium (mg/L)	31	12	0.02	22	9
Nitrite (mg/L)	31	0.37	ND ^{a)}	3	0.6
Nitrate (mg/L)	31	3.4	ND	12	3.6
Fe (mg/L)	31	0.31	0.016	2	0.37
Mn (mg/L)	31	0.09	0.018	0.3	0.06
Chloride (mg/L)	31	285	54	3,177	730
Sulfate (mg/L)	31	67	26	384	88
Total Coli. (#/mL)	31	9,928	450	60,000	14,133

^{a)}ND : not detectable concentration.

계 나타났다. 또한 염소이온과 황산이온은 해안에 가까운 하수처리장에서 해수의 유입으로(Cousin et al., 1998) 인해 표준편차가 크게 나타났다.

각 수질인자들간의 상관성을 보면, Table 2에서와 같이 수온은 부유물질, COD와 역상관성을 가져 수온이 높을수록 처리 하수처리 효율이 향상됨을 알 수 있으며, pH는 암모니아성 질소와 역상관성, 질산성질소와는 정상관성을 나타낸 반면 COD는 암모니아성 질소와 정상관성, 질산성질소와는 역상관성을 나타내어 고도처리를 하고 있는 C하수종말처리장의 질산화 공정이 반영되었다. 또한 COD는 대장균군과는 0.7의 높은 정상관성을 나타내어 유기물농도가 높을수록 대장균군 농도는 높아 COD 제거 효율이 직접적으로 대장균군 농도에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이는 유기물농도와 대장균군 농도와의 상관성이 높아 상관계수(R)가 0.91~0.93이라는 Hiraishi 등(1984)의 연구 결과와 일치하는 것으로 하수방류수중 유기물 농도가 절대적으로 대장균군의 농도에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

3.2. 대장균군 회귀모델식

대장균군 농도를 예측하기 위한 모델식을 도출하기 위해 통계 프로그램인 STATISTICA(Version 5.5)를 이용하여 전진선택법에 의한 다중회귀분석을 실시한 결과 Table 3과 같이 수온, COD, 망간, 아질산성질소, 염소이온 등의 변수가 선택되었다. 회귀식은 대장균군(TC)의 상용로그에 대하여 식 (1)과 같이 도출되었으며, 기여율(R²)은 0.82로 만족스러운 결과를 나타내었다. 또한 F의 유의확률은 0.0000001 < 유의수준=0.05로 회귀식에 의미가 있음을 알 수 있었다.

$$\log(\text{TC}) = 1.861 + 0.065[\text{COD}] + 0.038[\text{temperature}] - 0.0004[\text{Cl}^-] + 3.697[\text{Mn}] - 0.32[\text{NO}_2\text{-N}] \quad (1)$$

(R = 0.90, R² = 0.82, Adjusted R² = 0.78, p < 0.0005)

회귀식의 유효성을 평가하려면, 기여율(R²)을 계산해 보면 알 수 있는데 이 연구에서 R²이 0.82라는 것은 목적변수 y(대장균군)가 갖는 정보중 82%는 x(수질인자)의 변동으로 설명할 수 있다는 것을 나타내고 있어 예측모델로써 유효성이 큰 것으로 판단된다. 자유도로 조정한 자유도 조정필 기여율(수정된 R 제곱) R²은 0.78로 높은 값의 R²를 나타내어 설명변수가 유용한 것으로 나타났다.

편회귀계수의 유의성을 판단하기 위해 t값과 p값(유의확률)이 필요하다. 본 연구에서는 Table 4에서와 같이 선택된 변수중 t값이 가장 큰 것은 COD로 4.2이며, 그 다음으로 망간이 4.1로 나타났다. 이에 반해 염소이온, 아질산성질소는 음(-)의 큰 값을 보여 유의확률이 높게 나타났다. 또한 p값에 의해서 편회귀계수의 유의성을 판정할 수 있는데 Table 4에서 COD, 염소이온의 유의확률이 가장 낮은 값을 보였다.

잔차는 실제값과 예측값의 차로써 이 잔차가 전체적으로 작은 회귀식일수록 유효한 회귀식이라고 볼 수 있는데 이 연구에서 잔차의 표준편차는 0.27로 낮은 값을 나타내고 있다. 또한 잔차는 Fig. 1에서와 같이 정규 분포에 접근하고 있고 모든 점들이 이상적인 정규성(normality)을 나타내는 직선에 근접한 것으로 볼 때 유효성이 있는 것으로 판단된다.

Table 2. Pearson product-moment correlation

	Tem.	pH	SS	COD	UV ₂₅₄	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Fe	Mn	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	T.Coli
Temp.	1.0												
pH	-0.1	1.0											
SS	-0.7	0.2	1.0										
COD	-0.6	0.3	0.6	1.0									
UV ₂₅₄	-0.2	-0.1	-0.1	0.1	1.0								
NH ₃ -N	-0.3	0.6	0.2	0.6	-0.1	1.0							
NO ₂ -N	-0.2	-0.4	0.3	-0.1	0.1	-0.5	1.0						
NO ₃ -N	0.4	-0.6	-0.3	-0.6	0.1	-0.7	0.3	1.0					
Fe	-0.5	0.2	0.3	0.3	-0.2	0.2	-0.1	-0.3	1.0				
Mn	-0.5	0.3	0.4	0.5	0.1	0.3	-0.1	-0.5	0.3	1.0			
Cl ⁻	-0.4	0.2	0.1	0.2	-0.1	0.3	-0.2	-0.3	0.6	0.1	1.0		
SO ₄ ⁻²	-0.4	0.2	0.1	0.3	-0.1	0.3	-0.2	-0.3	0.6	0.1	1.0	1.0	
T.Coli	-0.2	0.3	0.3	0.7	0.1	0.5	-0.3	-0.4	-0.0	0.5	-0.2	-0.1	1.0

*Marked correlations are significant at p < 0.0500

Table 3. Summary of stepwise regression of log (total coliform)

Parameters	+in/-out	R	R-square	R-square change	p-level
Mn	1	0.464	0.215	0.215	0.0098
Chloride	2	0.662	0.439	0.224	0.0029
Nitrite	3	0.810	0.656	0.217	0.0004
COD	4	0.868	0.754	0.098	0.0041
Temperature	5	0.903	0.815	0.061	0.0098

Table 4. Regression summary for dependent variable : log (total coliform)

Parameters	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t	p-level
Intercept			1.861	0.460	4.047	0.001
Mn	0.420	0.106	3.697	0.932	3.968	0.001
Chloride	-0.490	0.099	-0.000	0.000	-4.967	0.000
Nitrite	-0.373	0.098	-0.320	0.084	-3.827	0.001
COD	0.545	0.120	0.065	0.014	4.525	0.000
Temperature	0.384	0.137	0.038	0.013	2.806	0.010

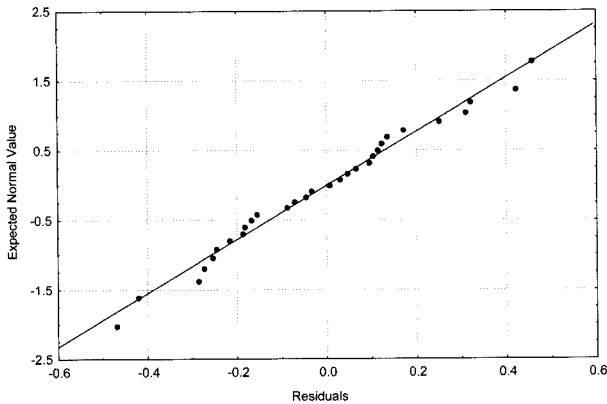


Fig. 1. Normal probability plot residuals (the straight line means normality).

대장균군 log값에 대한 측정 농도와 예측 농도와의 비율은 Fig. 2(a)에서와 같이 $\pm 25\%$ 범위에 포함되는 자료는 37%, $\pm 50\%$ 의 범위는 63%, $\pm 75\%$ 범위는 87%를 나타내었다. Table 1에서 대장균군 농도의 표준편차가 약 14,000/mL임을 감안하면, 이 연구에서 도출된 모델식에 의한 실측값과 예측값과의 차이는 염소소독 농도 변화에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 한편, 각 시료에 대한 예측값(실선)은 Fig. 2(b)에서와 같이 값의 크기 변동에 따라 예측값(점선)과 거의 일치하는 결과를 나타내었다.

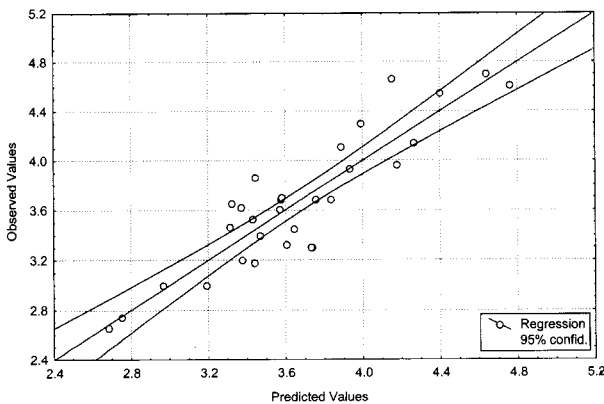
3.3. 민감도 분석

민감도는 다른 요소의 변화에 대한 한 요소(매개변수)의 변화율을 말한다. 이와같은 정의는 요소라는 표현에 막연함이 있지만, 2개의 미분계수를 의미한다. 본 연구에서 매개

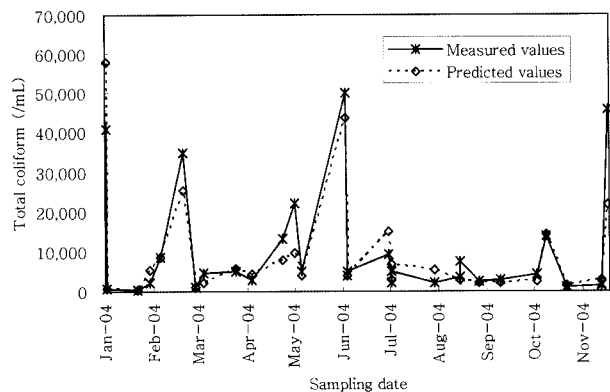
변수의 변화는 모든 다른 조건들을 일정하게 고정시키고 특정 모델 매개변수를 변화시키는 '매개변수의 교란 방법'을 적용하였다(서 등, 1998). 기본적으로 Table 5에서의 각 처리장 평균 수질에 대하여 -1.5~1.5배의 매개 변수 변화에 따른 종속변수(대장균군)의 농도를 파악하였다. 또한 각 변수의 변화에 따른 대장균군 농도변화를 수치화하기 위해 기울기를 분석하였으며, 기울기(x)는 지수의 기울기(exp^x)이며, 각 매개변수 기울기의 크기를 민감도의 크기로 비교하였다.

S하수종말처리장, A하수종말처리장, C하수종말처리장 등 3개 하수종말처리장 방류수에 대하여 각 변수별로 민감도의 크기를 보면 Table 6, Fig. 3에서와 같이 COD>수온>망간>아질산성질소>염소이온이며, 각 변수들의 민감도는 수온이 높으면, COD, SS 감소율이 증가하여 하수처리과정에서 대장균군의 농도는 감소하지만 여기에서 수온이 증가할수록 기울기는 S하수종말처리장에서 2.0, A하수종말처리장에서 1.8, C하수종말처리장에서 2.0으로 처리장에 따라 차이는 있으나, 평균 1.9의 기울기로 대장균군 농도변화에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 수온이 높으면, 하수원수중의 대장균군 농도가 증가하여 상대적으로 방류수중에서도 대장균군 농도가 상승함을 의미하는 것으로 판단된다.

COD에 대한 민감도는 S처리장은 1.7, A처리장은 2.7, C처리장은 1.9로 평균 2.1의 기울기를 나타내어 대장균군 농도변화에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 앞서 대장균군농도와 COD 농도의 상관성이 높다는 결과에서 알 수 있듯이 하수방류수중에 높은 유기물 농도는 대장균군의 농도를 높게 되는 주요 요인이 되는 것으로 판단



(a) by log (total coliform)



(b) by sampling date

Fig. 2. Diagram of predicted and measured total coliform values.

Table 5. Data for sensitivity analysis

		Temp. (°C)	COD (mg/L)	Nitrite (mg/L)	Mn (mg/L)	Chloride (mg/L)	Total coliform (/mL)
S WWTP	Average	22	11	0.33	0.06	75	3,986
	Min.	15	8	0.09	0.03	54	1,000
	Max.	28	19	0.98	0.16	3,177	13,000
	Standard deviation	5	3	0.34	0.04	17	4,112
A WWTP	Average	19	17	0.04	0.13	126	23,250
	Min.	8	10	0.00	0.02	112	2,000
	Max.	26	25	0.11	0.29	144	50,000
	Standard deviation	6	5	0.04	0.08	9	18,920
C WWTP	Average	21	12	0.81	0.08	68	3,755
	Min.	13	9	0.00	0.02	57	550
	Max.	28	17	3.10	0.11	82	7,300
	Standard deviation	5	3	0.92	0.03	8	1,999

Table 6. Slope of regression curve in regression parameters

	COD	Temperature	Mn	Nitrite	Chloride
S WWTP	1.733	2.042	0.477	-0.225	-0.059
A WWTP	2.697	1.831	0.966	-0.026	-0.025
C WWTP	1.944	1.955	0.620	-0.551	-0.053
Average	2.125	1.942	0.688	-0.267	-0.046
Standard deviation	0.507	0.106	0.251	0.265	0.018

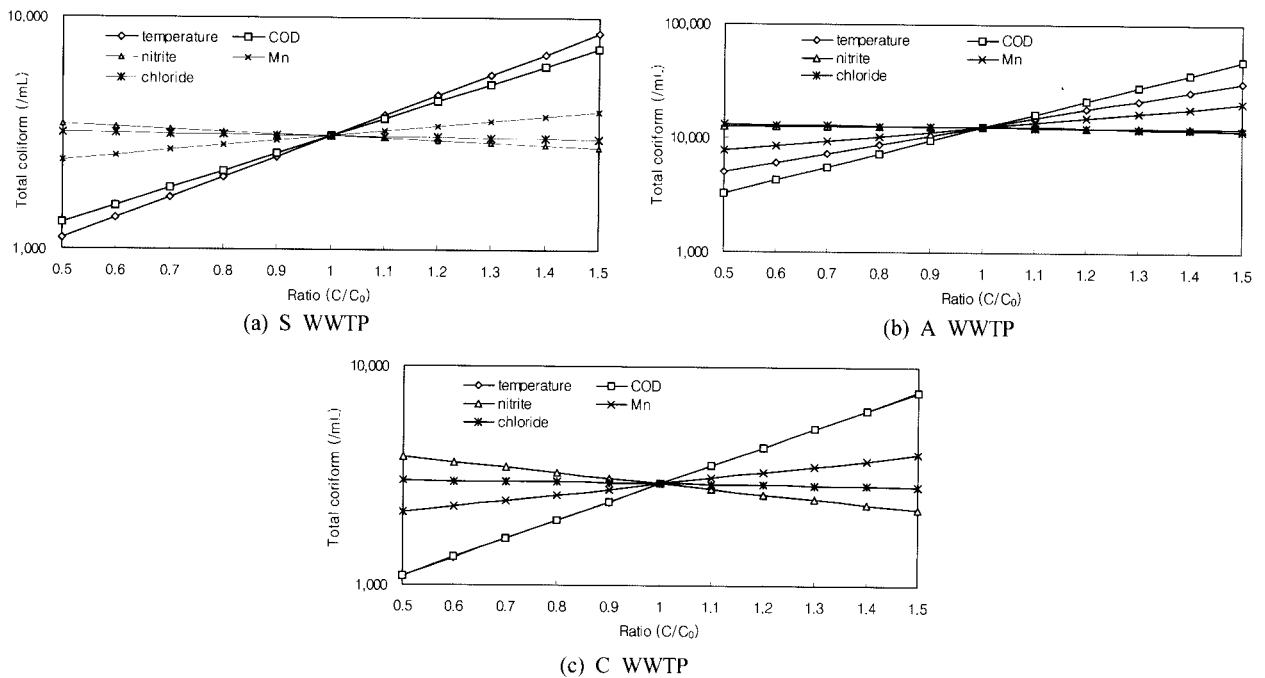


Fig. 3. Sensitivity of water quality parameters in WWTPs.

된다.

망간은 상대적으로 민감도가 낮게 나타났는데 COD와 수온에 비해 1/3정도 낮은 농도변화를 보였다.

한편 아질산성질소는 질산화의 영향과 대장균농도와와의 관계를 나타내는 변수로 아질산성질소가 높을수록 대장균군의 농도는 감소하는 형태를 나타내는데 고도처리공정을 운영하는 C처리장에서 높은 민감도를 보이는 반면, A처리장의 경우에는 거의 민감도를 나타내지 않았다.

염소이온 농도의 변화는 대장균군 농도에 반비례하는데 민감도는 -0.046으로 염소이온 농도의 변화폭이 작을 경우 대장균군 농도에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

4. 결론

이 연구에서는 소독하지 않은 하수 방류수중의 대장균군 농도에 영향을 미치는 수질인자를 파악하고 다중회귀모델

을 도출하였으며, 각 수질인자의 대장균군 농도에 대한 민감도를 분석하였다. 대장균군 농도에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 COD_{Mn}로써 상관계수(R)가 0.7로 나타나 하수의 처리효율이 대장균군 농도에 영향을 주게 된다는 것을 알 수 있었다.

회귀모델은 12개 수질인자중 수온, COD, 아질산성질소, 염소이온, 망간이 선정되었으며, 지수형태의 식으로 구성될 경우 기여율(R²)이 82%로 실측값과의 ±50%의 범위에 포함되는 비율이 63%에 달하여 대장균군 농도 예측에 좋은 결과를 나타내었다.

이 모델에서 수온은 미생물의 증식에 영향을 미치는 인자로 민감도는 지수의 기울기가 1.9로 높게 나타나 수온 변화가 모델식의 예측값에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있었다. COD는 대장균군 농도와 직접적인 상관성을 나타내는 인자로써 민감도의 기울기는 2.1의 값을 보여 대장균군 농도 예측에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 아질산성질소는 질산화 영향을 반영하는 것으로 예측 모델에서 질산화에 의한 고도처리를 한 방류수에서는 대장균군 농도가 낮아졌다. 망간은 무기물질의 농도에 의한 영향을 나타내는 것으로 대장균군의 증식에 필요한 무기영양물질 농도가 높을수록 대장균군 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 염소이온은 대장균군의 증식과 역상관성을 나타내는 물질로 해수의 영향에 의한 염소이온이 증가한 하수의 경우 낮은 대장균군 농도를 나타낼 수 있음을 알 수 있었다.

하수처리장 방류수에서 대장균군 농도의 예측은 염소소독시 최적량의 염소를 사용하여 과다한 잔류염소의 공공수역으로 방류를 억제할 수 있는 효과가 있으며, 예측식에 도입하는 인자중에 염소이온, 망간, 아질산성질소의 민감도는 낮고 수온, COD의 민감도는 상대적으로 큰 값을 나타내므로 염소이온, 망간, 아질산성질소는 고정값으로 설정하고 수온과 COD 측정만으로 대장균군을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

노형진, 정한열, *STATISTICA에 의한 알기쉬운 통계분석*, 형설출판사, 서울, pp. 464-466 (2002).
 서규우, 조원철, 유역특성 변화에 따른 도시유출모형의 매개변수 민감도분석(I), *한국수자원학회논문집*, **31**(3), pp. 243-252 (1998).

송홍규, 오계현, *환경미생물학*, 동화기술, 서울, pp. 120-122 (1997).
 이운기, 도시하수의 수질특성평가 및 염소소독에 관한 연구, 건국대학교 대학원 박사학위논문 (2003).
 환경부, *수질오염공정시험방법* (2004).
 환경부, *하수처리장 소독시설 설치사업 업무처리일반지침*, pp. 5-6 (2002).
 Cousin, C. P. and Ganczarczyk, J. J., Effect of Salinity on Physical Characteristics of Activated Sludge Flocs, *Water Qual. Res. J. Canada*, **33**(4), pp. 565-587 (1998).
 Eaton, A. D., Clesceri, L. S. and Greenberg, A. E., EDs., *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, America Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC, 19th ED. (1995)
 Hiraishi, A., Saeki, K. and Horie, S., Relationships of Total Coliform, Fecal Coliform, and Organic Pollution Levels in Tamagawa River, *Bulletin of the Japanese Societific Fisheries*, **50**(6), pp. 991-997 (1984).
 Hubley, D. et al., *Risk Assessment of Wastewater Disinfection*, EPA-600/2-85-037, US.EPA, Cincinnati, Ohio (1985).
 Jacangelo, J. G. and Trussell, R. R., International Report : Water and Wastewater Disinfection-Trends, Issues and Practices, *Water Science and Technology: Water Supply*, **2**(3), pp. 147-157 (2002).
 McClellan, J. N., Reckhow, D. A., Tobiason, J. E., Edzwald, J. K. and Smith, D. B., A Comprehensive Kinetic Model for Chlorine Decay and Chlorination By-Product Formation, *ACE symposium series*, **761**, pp. 222-246 (1999).
 Pretorius, P. C. and Pretorius, W. A., Disinfection of Purified Sewage Effluent with Monochloramine, *Water SA*, **25**(4), pp. 463-472 (1999).
 Steen, P. V., Brenner, A., Shabtal, Y. and Oron, G., The Effect of Environmental Conditions on Fecal Coliform Decay in Post-Treatment of UASB Reactor Effluent, *Water Science and Technology*, **42**(10-11), pp. 111-118 (2000).
 Stover, E. L., Hass, C. N. and Rakness, K. L., *Municipal Wastewater Disinfection*, EPA-625/1-86/021, US.EPA, Cincinnati, Ohio (1986).
 Tchobanoglous, G. and Burton, F. L., *Wastewater Engineering, 3rd edition*, McGraw-Hill, pp. 327-331 (1991).
 Water Environment Federation, *Wastewater Disinfection, Manual of Practice FD-10*, Va., pp. 37-39 (1996).
 White, G. C., *The Handbook of Chlorination and Alternative Disinfections, 3rd Ed.*, Van Nostrand Reinhold, New York, N.Y., pp. 564-567 (1992).