

화옹호 유입하천의 수질현황 및 수질항목간의 상관관계

Water Quality and Correlation Analysis Between Water Quality Parameters in the Hwaong Watershed

정 광 옥* · 윤 춘 경** · 장 재 호* · 전 지 홍***

Jung Kwang-Wook · Chun-Gyeong Yoon · Jae-Ho Jang · Ji-Hong Jeon

Abstract

Most projects of tideland reclamation with dike construction produce estuarine reservoirs, which may result in water quality problems due to blocking of natural flow of stream water to the sea. External loadings to the reservoirs through tributaries are major concerns in a concerned water quality management. The water quality of a reservoir is greatly influenced by watershed drainage, and accurate estimation of pollutant is indispensable for in the reservoir management. Concentrations of the microorganisms in stream water and conventional parameters were monitored in the 13 water quality monitoring sites located in a rural watershed of Hwaong estuarine reservoir. The indicator of microorganisms showed strong correlation between them, and regression equations with $R^2 \geq 0.70$ may be used for estimating one from other microorganisms. The relationships between water quality parameters obtained in this study may be used to infer one unknown pollutant concentrations from the measured pollutant loadings. This methodology could be applied to other areas where the watershed characteristics are not significantly different from the study area.

High concentrations of nitrogen was observed in water quality monitoring sites affected by urban land uses and numbers of livestock in wet day as well as dry day, due to the influent of diffuse sources.

Keywords : Correlation, Regression analysis, Pollutant concentration, Water quality parameters

I. 서 론

하구 담수호가 위치한 지역에서는 담수화 진행과정에서 담수와 해수 생태계가 공존하게 되며, 유역 말단에 위치하는 지형적인 특징으로 많은 양의 오염물질이 유입되기 때문에 건강한 수생태계를 유지하기 위해서는 많은 노력이 필요하게 된다. 비도시 유역인 화옹지역은 수질이 양호한 상류부에서 남양동과 조암읍을 거치면서 급격하게 수질이 악화되는

* 건국대학교 대학원 환경과학과
** 건국대학교 환경과학과
*** 한국 환경정책 · 평가연구원
** Corresponding author. Tel.: +82-2-450-4737
Fax: +82-2-446-2543
E-mail address: chunyoona@konkuk.ac.kr

특징을 갖고 있다. 이는 비도시 시가지지역의 정화조 유출이나 처리되지 않고 유입되는 불명수에 의해 하천수질이 오염된다고 평가할 수 있다. Griffin et al. (1999)은 정화조가 밀집한 지역에서는 영양물질이나 분변성 오염물질에 의해 하천수가 오염된다고 하였으며, 사질토인 경우 지하수의 오염이 하천수에 영향을 줄 수 있다고 보고하고 있다 (Paul et al., 1997). David et al. (1995)과 Eran and David (1996)는 적절하게 차집되지 않고 유출되는 가정하수가 하천 수질에 큰 영향을 미친다고 보고하였다.

유역 말단 지역은 하수처리장 방류수, 정화조유출, 불명수의 유입, 축산, 그리고 농경지의 비점오염 등 오염부하량이 축적되어 하천의 수질문제를 발생시키고 있으며, 담수호로 유입되어 호수 수질에 좋지 않은 영향을 미치고 있다. 농경배수에 의해 질소와 인 등의 영양물질, 부유물질, 대장균, 농약 등도 하천의 수질에 영향을 주며 호수로 유입되어 심각한 부영양화를 발생시킨다고 보고하였다 (Donoso et al., 1999). 최근 GIS기법의 발전으로 보다 손쉽게 토지이용상태를 파악할 수 있으며 원하는 유역에 적용할 수 있기 때문에 유역에 대한 이해와 관리에 활용가능성이 크다. 투수면적비율이 큰 비도시 유역, 특히 시비가 이루어지는 농경지와 가축을 사육하는 축산지역이 많은 유역의 경우 질소와 인, 유기물질 등이 토양에 축적되어 수계로 유입될 때 이들 사이에 일정한 상관성을 갖고 수계로 유입될 것으로 추정되며 토지이용과도 일정한 관계를 나타낸다 (Buck et al., 2004). 수질평가에 있어 두 개 이상 항목들 간의 관계를 규명지음으로써 이들 사이의 거동을 조사하는 기법이 자주 쓰인다. 이러한 기법은 결측된 수질 항목을 이와 관련된 다른 항목에 대한 정보를 사용하여 보충할 수 있을 뿐 아니라, 측정된 수질 관측치를 이용하여 미래의 수질을 예측하는데 이용될 수 있다. 항목들 간의 거동을 조사하는 방법에는 상관분석과 회귀분석을 이용하는데 이러한 분석들은 항목들 간의 수학적 관계를 평가하기 위한 가장 단순하면서도

널리 쓰이는 통계적인 모델 기법이다.

그 동안 수행된 학술적인 연구를 살펴보면, 총인과 부유물질의 부하비율 (kg/ton)은 연간 단위면적당 부유물질의 부하량 ($SS \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$)과는 지수적인 관계가 있다 (Wall et al., 1996). 탁도와 총인, 총질소, 대장균군과는 양의 선형적인 관계가 있으며 (Christensen et al., 2001), Donigian et al. (1995)는 비점오염원을 계산하는 방법으로는 원단위법, 통계학적기법, 회귀식이나 상관관계를 이용하여 산정할 수 있다고 하였다.

본 연구에서는 화용유역의 13개 지점에서 측정된 강우시와 비강우시에 조사한 수질자료를 이용하여 하천수질현황을 분석하였다. 수질항목간의 상관분석과 회귀분석을 통해서 비도시 유역에서 오염물질간의 유출거동을 파악하여 수질예측에 필요한 기초 자료를 제공하여 수질관리에 도움을 주고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지역

대상지역은 화용간척지구의 상류유역으로 동경 $126^{\circ}45' \sim 126^{\circ}55'$, 북위 $37^{\circ}10' \sim 37^{\circ}15'$ 에 위치하고 있으며, Fig. 1에서 보는 것과 같이 담수호로 유입되는 하천이 여러 개인 특징을 갖고 있다. 담수호로 유입되는 주요 하천인 남양천 유역의 4개, 자안천 유역에 5개, 그리고, 어은천 지점의 4개 지점의 수질 데이터를 분석하였다. 측정된 지점의 토지이용도와 화용유역 전체의 토지이용도는 환경부에서 제공받은 1998년 기준 1:25,000도를 이용하여 분석하였으며, Table 1에 요약되어 있다.

화용유역 전체의 토지이용은 농경지와 산림이 전체의 85%이상을 차지하는 전형적인 비도시 유역의 특성을 보였다. N1, N2, E3 지점이 위치한 유역은 도시화가 진행된 지역으로 작은 면적의 시가지지역에 대부분의 인구와 상가들이 밀집된 특징을 갖고 있다. 지점 J1의 경우는 97% 이상이 농경지

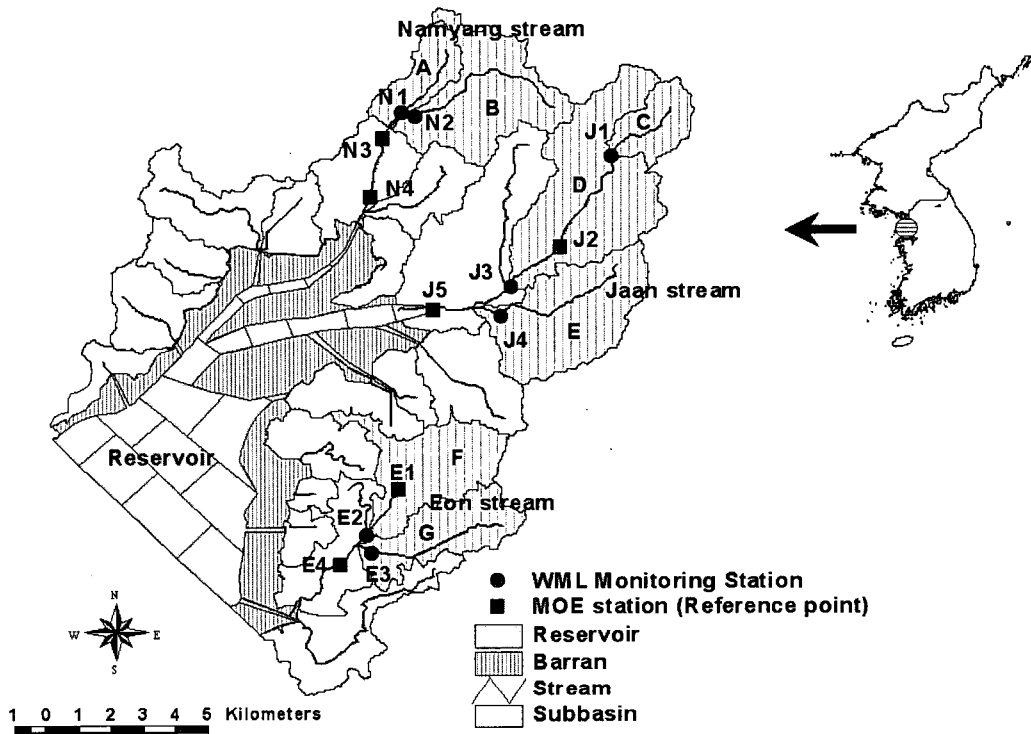


Fig. 1 Study area and monitoring site in Hwaong watershed (WML: Watershed Management Laboratory of Konkuk University; MOE: Ministry of Environment)

Table 1 Land use classification of Hwaong watershed

Subbasins	Urban		Paddy		Upland		Forest		Etc.		Total Area (ha)
	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	
N1	40.7	9.3	112.7	25.8	90.1	20.7	191.5	43.9	1.3	0.3	436.2
N2	124.6	10.1	181.7	14.8	257.0	20.9	631.2	51.4	34.1	2.8	1228.6
J1	7.4	1.7	175.6	41.0	17.6	4.1	225.6	52.7	1.9	0.4	428.1
J3	205.3	11.8	599.9	34.4	192.8	11.1	666.2	38.2	77.5	4.5	1741.7
J4	85.9	6.4	535.3	40.1	253.8	19.0	344.4	25.8	116.7	8.7	1336.1
E2	112.2	10.9	366.7	35.5	308.5	29.9	187.5	18.2	57.3	5.6	1032.2
E3	146.1	19.1	281.2	36.7	112.5	14.7	226.3	29.5	0.1	0.0	766.1

와 산지로 이루어진 지역으로 유역의 상류에 위치하고 있다. 지점 J3, J4, E2의 유역은 10%내외 도시의 토지이용을 보이지만 넓은 지역에 분포하였으며, 산업체들이 주를 이루고 있다. 남양천 유역은

산림과 농경지가 각각 40% 이상을 차지하고 있으며, 도시지역은 8%로 면적은 작으나 많은 인구가 밀집해 거주하고 있다. 자안천 유역의 경우는 농경지가 약 50%이며, 산림지역이 약 30%를 차지하고

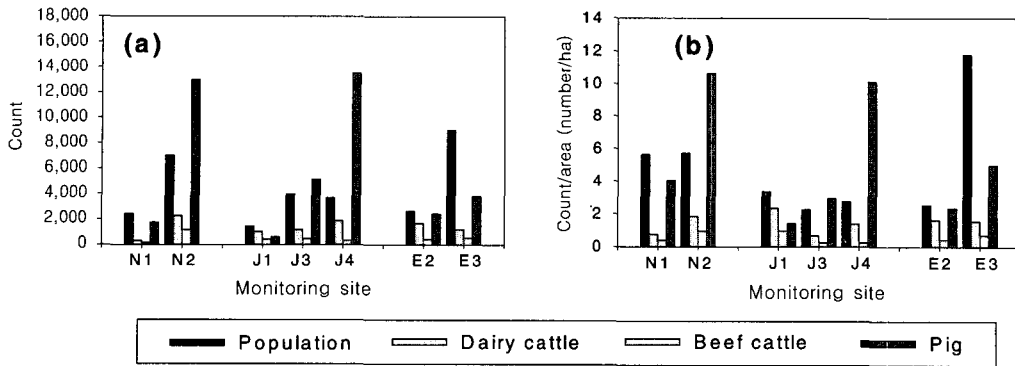


Fig. 2 Population and number of major livestock in Hwaong watershed

있고 어은천 유역은 농경지가 60% 이상을 차지하고 있으며, 산림은 20% 미만이다. 대상지역의 총 유역면적은 16,489.5 ha이며 화용담수호의 면적은 약 1,730.8 ha이며 평균수심이 2.8 m이고 평균 수리학적 체류시간은 250일이다.

Fig. 2(a)는 2003년 환경부의 오염원 조사결과를 이용하여 대상 유역의 인구나 주요 축산의 개체수를 나타낸 그림이며, 2(b)는 단위면적 (ha) 당 개체수를 나타내었다. 총 인구는 E3, N2, J3, N1, E2, J1의 순서로 높았으며, 단위면적당 인구수는 E3, N2, N1 순이며 좁은 지역에 밀집하여 거주하고 있음을 알 수 있다. 축산의 경우에는 N2, J4, J3의 순이며, 단위면적당 개체수는 N2, J4, E3의 순으로 나타났다.

2. 수질 분석방법

시료 채취지점은 화용담수호로 유입되는 주요 3 하천인 남양천, 자안천, 어은천에서 이루어졌으며 남양천은 N1, N2, N3, N4의 4개 지점에서, 자안천은 J1, J2, J3, J4, J5의 5개 지점에서, 어은천은 E1, E2, E3, E4의 4개 지점에서 측정되었다.

측정지점 중 건국대학교 유역환경관리 연구실에서 측정된 자료는 N1, N2, J1, J3, J4, E2, E3의 7개 지점이며, N3, N2, J2, J5, E1, E4의 6개 지

Table 2 Analysis methods of water quality parameters of index

Constituents	WML ^a	MOE ^b
DO	SM ^c 4500-C	SM 4500-G
BOD ₅	SM 5210-B	SM 5210-B
SS	SM 2540-D	SM 2540-D
COD	SM 5220-D	KSM ^d (KMnO ₄)
T-N	SM 4500-B	SM 4500-B
NH ₃ ⁺ -N	SM 4500-F	SM 4500-F
NO ₃ ⁻ -N	SM 4500-B	SM 4500-B
PO ₄ ⁻ -P	SM 4500-D	SM 4500-E
T-P	SM 4500-D	SM 4500-E
Total coliform	SM 9221-B	SM 9222-B
Fecal coliform	SM 9221-E	SM 9222-D
<i>E. coli</i>	SM 9221-F	-

^a: Watershed Management Lab.:

^b: Ministry of Environment.

^c: Standard Methods (APHA, 1998):

^d: Korean Standard Methods (Donghwa, 2002).

점은 환경부 한강유역환경청의 자료를 이용하였다. 건국대학교의 측정 기간은 2003년 11월부터 2005년 7월까지이며 환경부의 수질자료는 2002년 5월부터 2005년 7월까지 자료를 이용하였다. 유역환경관리연구실 자료는 비강우시는 약 2주 간격으로 실시하였으며, 강우시는 2~4시간 간격으로 N1,

N2, J1, E2, E3 지점에서만 실시하였고 지표미생물의 총 데이터 수는 135개 이었으며, 다른 수질 항목의 총 데이터 수는 153~154개이었다. 환경부 자료는 1개월에 1회 비강우시를 기준으로 측정되었고 총 데이터 수는 223개였다. 수질분석항목은 SS, COD, BOD₅, 질소계 (TN, NO₃-N, NO₂-N, NH₃-N), 인계 (TP, PO₄-P), 지표미생물 (Total coliform, Fecal coliform, *E. coli*)이며, 분석방법은 Table 2와 같다.

3. 상관분석과 회귀분석

실험기간동안 수집된 자료는 통계용 전산프로그램인 SPSS (Ver. 12)를 이용하여 상관분석 및 회귀분석이 이루어졌다. 상관분석은 두 변수 사이의 관계의 정도를 측정하고 표현하려는 분석이다. 상관분석은 상관계수 (r)은 두 변수간의 상관관계의 강도를 나타내는 지표이며, -1에서 +1사이의 값을 갖는다. 음의 값의 경우는 둘 사이의 관계가 반대로 변하는 특성이 있음을 의미하며 양의 값은 비례하여 증가하는 경향을 나타낸다. r 값이 유의수준 1% 내에 있으면 고도의 상관관계가 있다는 것을 의미하고, 유의수준 5%내에 있으면 보통의 상관관계를 인정하며, 5%보다 클 경우는 상관관계가 성립되지 않는다고 판단하였다. 회귀분석은 두 변수 사이의 함수적 관계를 나타내는 통계적 기법이다. 본 연구에서는 실측치와 회귀곡선 사이의 차이를 최소화시킴으로써 곡선을 유도하는 최소제곱에 의한 회귀분석을 실시하였다. 이렇게 추정된 회귀식에 대한 결정계수 (R^2)를 산정하고, F-검정을 하여 회귀식의 적합성을 판단하였다. F-검정은 측정 데이터를 측정모형으로부터 설명가능한 부분을 설명할 수 없는 부분으로 나눈값이며, F-검정값이 클수록 유의확률(p)가 작아지게 되어 "추정모형은 의미가 없다"라는 귀무가설을 기각하기 때문에 "추정모형은 의미가 있다"라는 결론을 내리게 된다 (Paul and Linfield, 1998).

III. 결과 및 고찰

1. 수질 현황분석

측정지점의 비강우시 주요 수질 인자의 분석결과 는 Fig. 3과 같이 Box plot으로 표현하였다. Box plot은 분포의 대칭성, 자료의 중심위치, 산포의 정도, 분포 상하부분의 집중정도, 이상점 등을 파악할 수 있는 장점을 가진 표현방식이며, 상자의 가장자리는 자료를 순서대로 늘어놓았을 때 5%, 25%, 50%, 75%, 그리고 95%와 그 범위를 벗어난 이상치를 확인할 수 있는 장점을 갖고 있다 (Paul and Linfield, 1998). 남양천의 경우에는 인구밀도가 높은 N1지점이 가장 좋지 않은 수준이었으며, N2 지점과 합류하여 하류인 N3와 N4지점으로 갈수록 수질이 개선되었으나 다른 하천에 비해 나쁜 수준이었다. 자안천은 남양천과 어은천에 비해 상대적으로 오염도가 낮았으며 상하류의 수질변화가 크지 않은 것으로 평가되었다. 어은천은 조암저수지에서 발원한 물이 많은 오염부하량을 배출하는 조암읍을 통과하는 E3지점에서 가장 좋지 않은 수질을 보였다.

각 측정지점의 수질을 토지이용별로 평가하면 N1과 E3 지점이 오염된 하천수질을 나타내었는데, 두 지역은 인구가 밀집되어 있는 지역으로 높은 FC와 NH₃-N의 농도가 측정되었고 NO₃-N의 농도가 낮은 상태였기 때문에 처리되지 않은 오염물질이 하천으로 직접 유입되는 특징을 갖는 유역이다. 지점 J1는 유역의 상류에 위치하고 있어 상대적으로 좋은 수질을 유지하고 있다. 지점 J4와 E2의 경우에는 하천주변에 많은 수초가 자라는 하천으로 측정지점 상류의 농업용 저수지로 물을 저장하기 때문에 넓은 하천에 비해 수량이 적은 하천이다. 지점 J3는 FC와 NH₃-N의 농도가 약간 높게 측정되었으나, 수초대에 의한 자정작용으로 BOD₅와 SS의 농도는 낮은 수준이나 TN과 TP는 높은 수준이었다.

지점 E1과 E2는 상류의 저수지의 방류량에 직

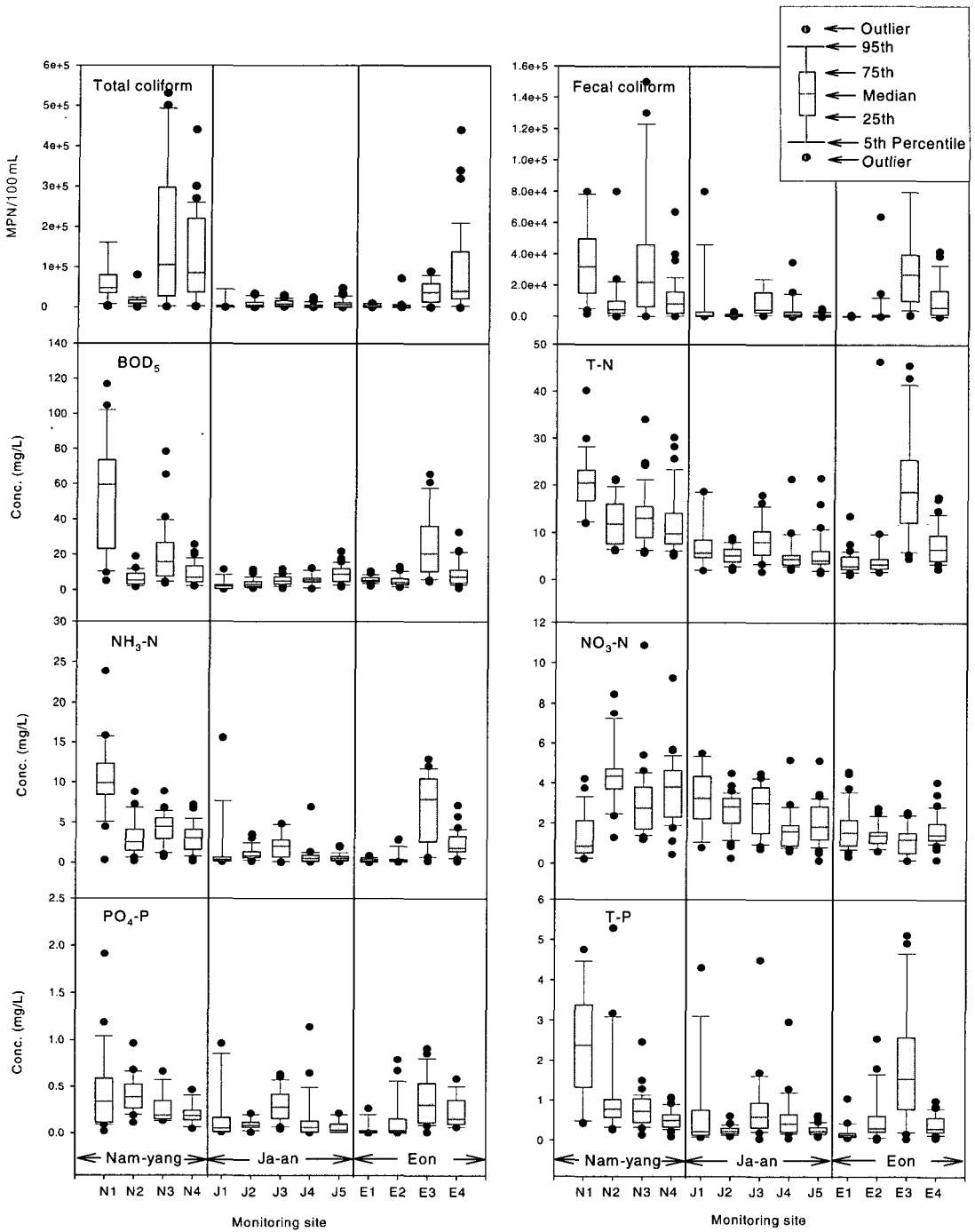


Fig. 3 Box plot of major water quality parameters in Hwaong watershed

접적인 영향을 받는 하천으로 주변 토지이용이 대부분 논으로 둘러싸인 지점이다. 화용담수호에 유입되는 큰 하천인 남양천, 자안천, 어은천중 남양천의 N1과 N2 지점, 그리고 어은천의 E3지점이 수질관리상 중요한 지점으로 적절한 관리가 필요한 것으로 나타났다. 현재 N1과 N2의 하천수질개선을 위해 남양 하수처리장이 신설중이며, E3지점은 수질개선을 위해 조암하수처리장이 건설 중이므로 완공 후에는 하천수질이 개선될 것으로 예상되며, 담수호로 유입되는 오염부하량도 줄어 담수호 수질관리에 도움을 줄 것으로 판단된다.

영양물질은 본 연구지역과 같이 유역말단에 위치한 담수호에 부영양화를 일으키는 제한요소이기 때문에 수질평가를 위한 중요 항목이다. 질소성분은 단백질의 구성에 중요한 요소이며 유전물질을 포함하고 있다. 식물과 미생물들은 무기질소를 유기물의 형태로 전환시키며, 수환경에서의 무기질소는 산화상태에 따라서 질산염(NO_3^-), 아질산염(NO_2^-), 암모늄염(NH_4^+)와 질소분자(N_2) 형태로 존재한다. 질소의 형태별 변화는 오염원의 유입시기에 따라 변하기 때문에 질소형태를 통해 점오염이나 비점오

염의 유입에 대한 평가를 가능하게 해준다. 일반적으로 NH_3 는 자연계에서는 토양이나 수체의 질산화 유기물이나 무기물로부터 발생하지만 양은 작으며, 미생물에 의해 분해되어 형태를 바꾸거나 가스로서 대기로 휘발된다. 또한 NH_3 는 산업, 가정하수, 농지배수 등의 오염원 유입에 의해서 발생하며, 높은 암모니아는 수생태계의 독성물질이 된다. 질산성질소는 자연수에 존재하는 일반적인 형태이나 일반적으로 질산화 미생물에 의해 아질산성질소로부터 변하게 되며, 유기질소는 자연적으로는 조류와 박테리아의 소멸에 의해 형성되며, 빠르게 암모니아성 질소로 변화한다. Fig. 4는 강우시와 비강우시 측정지점별 질소와 인의 구성성분과 평균농도를 나타낸 그림이다. 생활하수가 주된 오염원인 지점 N1과 E3는 비강우시 높은 암모니아성 질소의 농도를 나타내며, 강우시에는 다른 측정지점과 다르게 암모니아성 질소의 비율이 낮아지는데 이는 강우에 의한 비점오염에서는 암모니아성 질소농도가 상대적으로 낮기 때문으로 판단된다. 지점 N2는 비강우시 암모니아성 질소의 비율이 높으나 강우시에도 많은 오염물질의 유입으로 암모니아성 질소의 비율

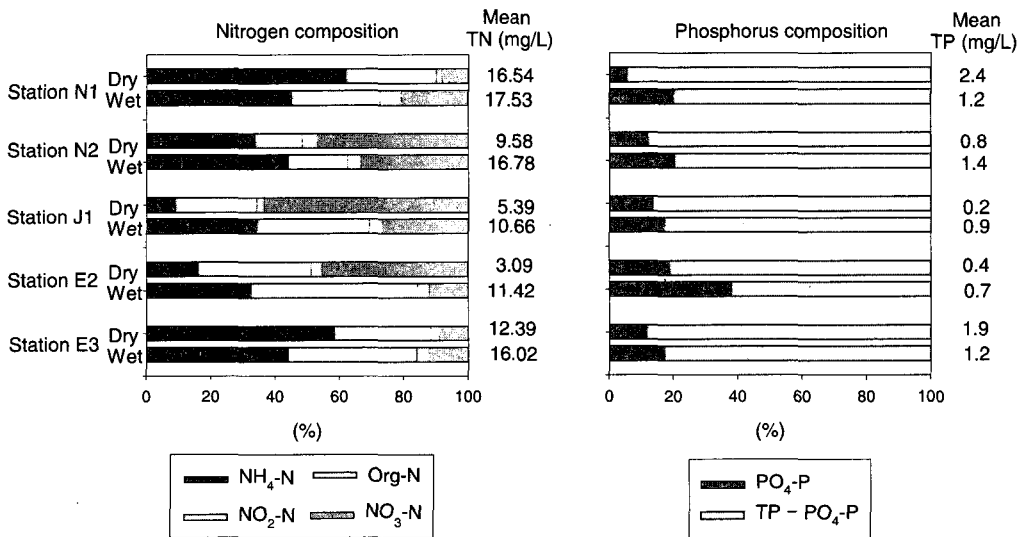


Fig. 4 Composition of nitrogen and phosphorus in dry and wet day

이 높아지는 것으로 나타났다. 이유는 인구수와 폐지사육두수가 많아서 강우시 비점오염에 높은 암모니아성 질소성분이 다량 함유되어 유입되었기 때문으로 판단된다. 지점 J1과 E2는 오염원이 적기 때문에 비강우시는 질산성 질소 비율이 높게 나타나고, 강우시에는 암모니아성 질소 비율이 높아지는 경향을 보였다.

인은 수생태계 유지에 중요한 물질로 용존성과 입자성으로 존재하며 일반적으로 조류성장의 제한인자(limiting factor)이기 때문에 주요관리 물질이다. 자연계의 인은 주로 정인산염과 유기성 또는 무기성으로 존재하는데, 유기성 인산염은 식물 등의 유기잔체물로부터 공급되고, 무기성 정인산염은 인회석과 같은 광물질에 의해 공급된다. 인 성분은 점토질 입자나 토양유기물에 대한 흡착성이 크기 때문에 토양과 함께 이동한다. 지점 N1과 E3는 비강우시에 약 2 mg/L의 높은 농도를 나타내었으나 강우시 감소하는 경향을 나타내는데 점오염원에 의해 높아졌던 농도가 강우시 희석되어 낮은 농도를 나타내기 때문으로 판단된다. N2, J1, E2 지점은 강우시 수질 농도가 더 높아지는 경향을 나타내었는데 이는 강우시 비점오염원의 유입으로 높아진 것으로 판단된다. 이 경향은 평상시 높은 농도를 나타내는 N1과 E3지점과는 다른 경향을 보였는데, 평수기에 오염된 하천에서는 비점오염원이 유입되더라도 많은 유량의 유입으로 인의 농도가 감소하는 것을 알 수 있다.

2. 수질항목간의 상관관계

Table 4는 주요오염물질인 Turbidity, SS, COD, TN, 그리고 TP사이의 상관관계를 pearson 상관계수로 나타낸 표이다. 강우시의 SS의 농도는 Turbidity, COD, TP와 0.5이상의 높은 상관관계를 나타내었다. Turbidity는 COD와 0.82의 높은 상관계수를 나타내었다. 강우시에는 일반적으로 비강우시보다 높은 상관관계를 나타내는데, 다른 연

Table 4 Pearson correlation coefficient between water quality parameters in wet days

Wet day (n=219-221)				
Parameter	SS	COD	TN	TP
Turbidity	0.68*	0.82*	0.48*	0.59*
SS	1	0.74*	0.30*	0.70*
COD		1	0.38*	0.63*
TN			1	0.21*
TP				1

* Statistically significant at $p < 0.01$

구자들에 의해 많은 양의 오염물질이 토립자나 유기물에 부착되어 유입되기 때문에 높은 상관계수를 나타낸다고 보고하고 있다 (Scanlon et al, 2004). Jeon et al., (2001)은 비도시 지역에서 오염물질간의 상관관계를 분석한 결과 강우시에 SS, COD, TP사이에는 일정수준의 상관계수를 나타낸다고 보고한바 있다.

Fig. 5는 상관계수가 높은 항목들의 회귀분석 결과이며, SS와 Turbidity가 0.68으로 높은 결정계수를 나타내었으며 지수적인 상관관계를 나타내었다. Turbidity-COD, Turbidity-TP, COD-SS, COD-TP, COD-TN, SS-TN, 그리고 SS-TP는 회귀분석결과 선형의 상관성을 갖으며 각각 0.45, 0.35, 0.54, 0.47, 0.49, 0.40, 0.50의 결정계수를 보였으며, F-검정을 통해 회귀식의 적합성을 판정하였다. F-검정결과 결과값이 80이상을 나타내었고, 유의확률(p)은 1% 이하로 회귀식이 측정데이터를 잘 반영하고 있다. 각 지점별로 지역의 오염원유출특성이나 토지이용 등이 상이함에도 모든 지점을 통합하여 분석한 결과 SS, COD, 그리고 TP 사이에는 약 0.50의 비교적 높은 결정계수를 나타내었는데, 이는 우리나라 비도시 지역의 오염원 특성이 일반적으로 유사함을 의미한다.

본 연구에서 작성한 회귀식들은 지역의 특성에 영향을 받을 수 있으나 일반적으로 화용지구 외에도 자료가 부족한 다른 비도시 지역에도 특히 하구

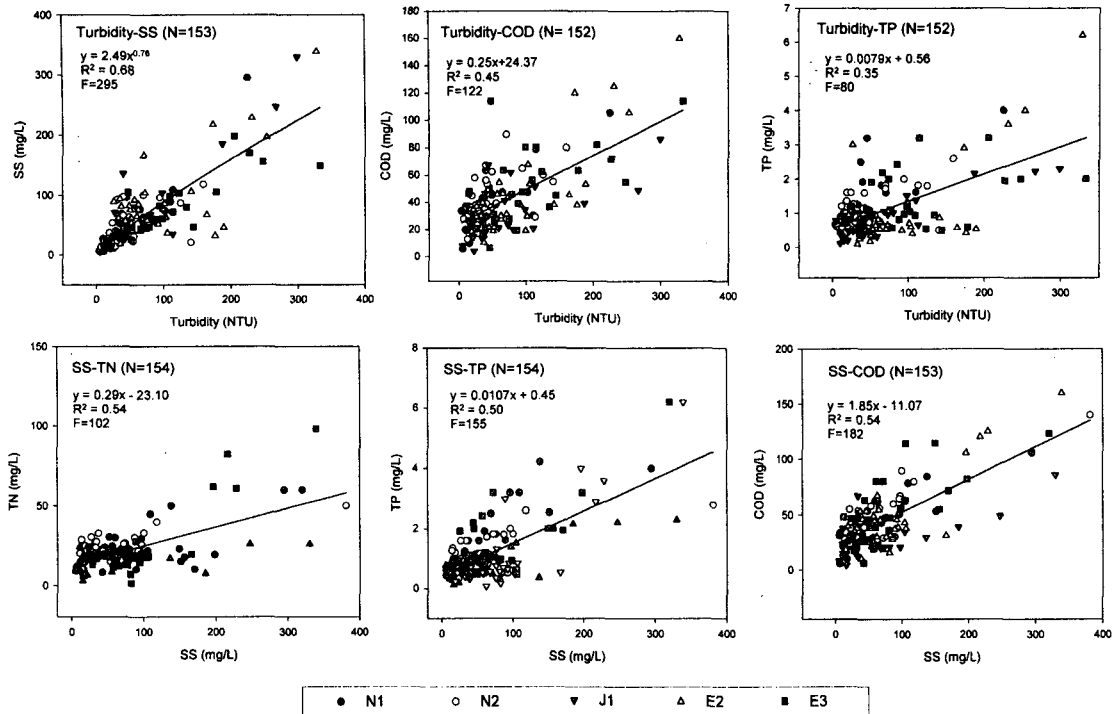


Fig. 5 Relationship between Turbidity, COD, TP, SS, and TN in wet period

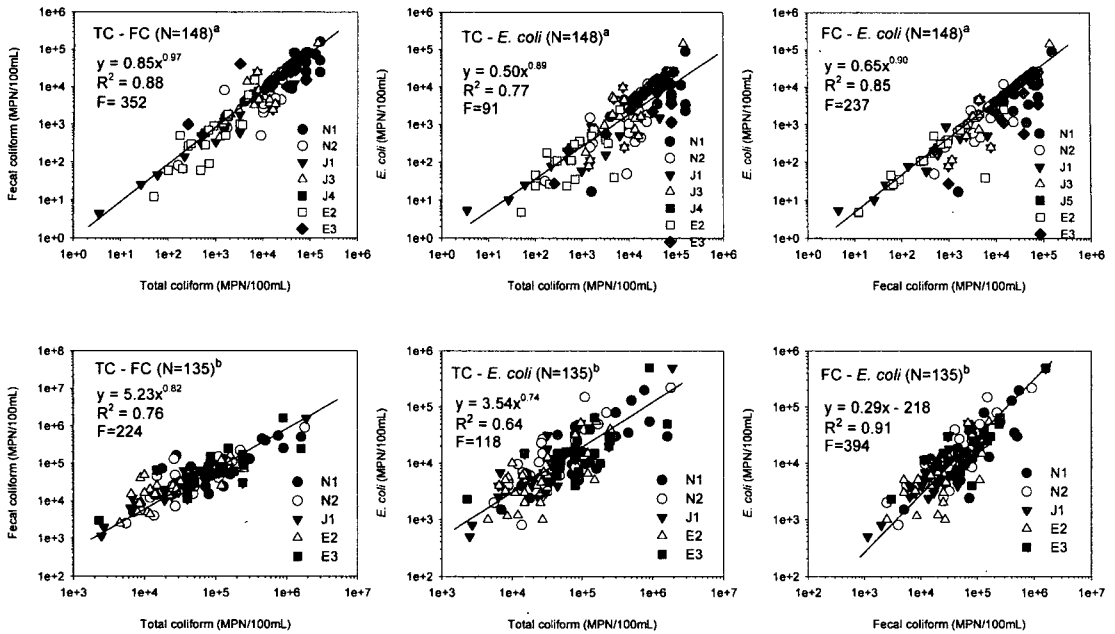
담수호 유역에서는 기본계획단계에서 참고자료로 사용이 가능할 것으로 판단된다. 화용유역과 같이 담수화가 진행되는 담수호에서는 유역에서 발생하는 오염물질의 부하량을 평가하여 적절하게 관리하는 것이 중요한데, 과학적인 모니터링으로 수질항목간의 관계가 정의된다면, 탁도와 같이 실시간으로 모니터링이 가능한 측정항목을 이용하여 오염부하 배출 수준을 예측하여 유역이나 담수호 관리에 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 지표미생물간의 회귀관계식 도출

Fig. 6은 유역환경관리 연구실에서 측정된 강우시와 비강우시의 TC, FC, *E. coli*를 이용하여 회귀분석을 실시하였으며, 결정계수 (R^2)과 F-검정값을 함께 나타내었다. F-검정결과 결과값이 90이상을 나타내었고, 유의확률(p)은 1% 유의수준에서

고도의 상관성을 갖는 것으로 평가되었다. 비강우시는 모든 측정지점의 데이터를 합하여 분석 하였으며, 강우시는 N1, N2, J1, E2, E3를 대상으로 하였다. 비강우시는 지표미생물간의 회귀식이 거듭제곱의 형태로 나타났으며, 결정계수(R^2)는 약 0.80으로서 상당히 높은 결정계수를 나타내었다. 강우시 측정자료는 비강우시보다 낮은 결정계수를 보였으나 FC와 *E. coli*와의 회귀식에서는 0.91의 높은 결정계수를 나타내었다. 지표미생물의 경우 높은 상관관계를 나타내어, 여러 항목을 측정하기 어렵거나 제한적인 데이터가 존재할 경우 지표미생물 하나의 항목으로 다른 항목을 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3은 측정지점의 항목별 평균값과 항목간의 비를 나타낸 표이다. FC/TC비가 높은 지역은 정화조나 생활하수 불명수나 축산과 같은 직접적인 비점오염 유입이 발생하기 때문에 적절한 관리가



^a: Data of WML in dry period TC : Total coliform ^b: Data of WML in wet period FC : Fecal coliform

Fig. 6 Relationships between indicator microorganisms in dry and wet days

Table 3 Geometric mean of indicator microorganisms and ratio of their composition in Hwaong watershed

Station	Dry day						Wet day					
	Geometric mean (MPN/100 mL)				Ratio (%)		Geometric mean (MPN/100 mL)				Ratio (%)	
	N	TC	FC	<i>E. coli</i>	F/T ¹	E/F ²	N	TC	FC	<i>E. coli</i>	F/T	E/F
N1	23	43,956	32,033	6,119	72.9	19.1	33	103,604	80,568	17,162	77.8	21.3
N2	22	8,367	4,133	1,265	49.4	30.6	34	38,316	30,999	11,140	80.9	35.9
J1	16	856	571	189	66.7	33.2	27	33,394	24,399	7,649	73.1	31.4
E2	23	762	502	163	65.9	32.4	36	20,984	19,403	4,385	92.5	22.6
E3	24	21,763	19,760	4,387	90.8	22.2	23	82,047	57,154	15,786	69.7	27.6
mean	21.6	15,141	11,400	2,425	68.2	29.6	30.6	55,669	42,505	11,224	78.8	29.1

¹F/T: Fecal coliform/Total coliform, ²E/F: *E. coli*/Fecal coliform

필요하다. N1과 E3지점이 약 70%이상의 높은 FC/TC비를 나타내었으며, 이 지역은 인구가 밀집한 지역으로 정화조 유출이나 불명수의 유입이 주요 오염원인 것으로 추정된다. 강우시에는 비강우 시보다 지표미생물의 평균 농도가 3~4배 높아졌는데 이는 축산등 토지이용별 비점오염원의 유입에

의해 증가하는 것으로 판단된다 (Brezonik and Stadelmann, 2002; Gardi, 2001). *E. coli*/FC비는 강우시와 비강우시 모두 20~30% 범위로 평가되었다. Total coliform(총대장균군, TC), Fecal coliform(분변성대장균군, FC), *E. coli*(대장균, *Escherichia coli*)는 미생물적 측면에서 수질오염의 평가기준이

되는 지표생물로서 미생물에 의한 오염으로부터 안정성의 평가 및 모니터링을 위해 일반적으로 사용되고 있다 (Weiner, 2000). 지표미생물의 조건은 (1) 측정이 용이하고, (2) 오염된 물에서만 측정되며, (3) 다른 오염물질과 상관성을 갖고, (4) 병원성 미생물보다 소멸하는 속도가 늦어야 한다 (USEPA, 1999). Total coliform은 자연계의 모든 대장균을 나타내며, Fecal coliform은 온혈동물의 장에서 배출되는 분변성 대장균을, *E. coli*는 분변성 대장균 중에서 질병과 상관성이 높은 항목으로 평가되고 있다.

USEPA는 *E. coli*가 분변에 의한 오염을 보다 잘 표현하는 항목으로 보고하였다 (USEPA, 1986). 지표미생물의 검출정도는 휴양용수, 음용수, 수생태계의 보호를 위해서 법률로서 규제하고 있다. WHO에서는 휴양용수의 규제를 위해서 대장균검출정도를 규제하고 있으며 분변성 대장균의 경우 최근 5회 샘플에서 기하평균의 검출정도 50%가 100/100 mL이하이고, 90%가 1,000/100 mL보다 낮아야 한다고 규정하고 있다. USEPA에서는 *E. coli*의 평균검출정도가 30일 동안 최소 5개의 샘플에서 126/100 mL보다 낮을 것을 권고하고 있다 (USEPA, 1999). 우리나라의 환경기준을 살펴보면 수영이 가능한 상수용수 2급과 수산용수 2급에서 총대장균균을 1,000 MPN/100 mL로 제한하고 있다. 또한 상수원수 1급과 자연환경보전용수에서는 총대장균균수를 50 MPN/100 mL로 제한하고 있으며 화용구역의 하천은 분변성 오염물질에 노출되어 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 측정된 지표미생물 검출정도는 국제적인 권고치는 물론 우리나라 수질기준에도 부적합하며 적절한 개선대책이 필요한 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 연구는 전형적인 비도시 유역을 대상으로 하천의 물리, 화학, 생물학적인 수질인자들의 상관분

석을 실시하고 높은 상관성을 보이는 항목에 대해 회귀분석 하였다. 화용 담수호로 유입되는 3개의 주요하천의 수질을 평가한 결과 남양천의 N3지점과 어은천의 E3지점이 중점적인 관리가 필요한 것으로 평가되었으며, 이 지점에 현재 설치중인 하수처리장이 완공될 경우 화용 담수호로 유입되는 하천수질개선과 담수호로 유입되는 부하량이 상당히 감소할 것으로 판단된다. 강우시 상관관계를 분석한 결과 탁도와 SS는 지수적인 상관성을 나타내었으며 회귀식의 결정계수가 0.68이었고, SS와 COD, TP, 그리고 TN의 회귀식은 선형의 상관성을 나타내며 약 0.5의 결정계수를 보였다. 보다 합리적이고 체계적인 모니터링을 통해 오염물질의 상관성을 규명한다면, 탁도와 같이 실시간 모니터링이 가능한 항목을 이용해서 다른 수질항목을 하여 발생하는 부하량을 산정하여 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 지표미생물의 경우 강우시와 비강우시 모두 상호간에 높은 상관관계를 나타내며 회귀분석 결과 약 0.7이상의 결정계수를 보였다. 지표미생물의 경우 자료가 부족할 경우 하나의 자료로 다른 항목을 추정하는데 이러한 회귀식들이 참고자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 발표한 수질오염물질 사이의 회귀식들은 유역의 특성에 영향을 받으나 화용지역은 물론, 자료가 부족한 다른 비도시 유역에서도 기본계획단계에서 기초자료로서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 "BASINS 및 WASP을 이용한 화용유역과 호소의 통합수질예측시스템 개발"에 지원에 의해 연구되었음.

References

1. APHA. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater(19th

- edition.) American Public Health Association, Washington, D. C., USA.
2. Brezonik P. L., and T. H. Stadelmann. 2002. Analysis and predictive models of storm-water runoff. *Water Research* 36(7): 215-223.
 3. Christensen V. G., Rasmussen P. P., and A. C. Ziegler. 2001. Real-Time Water-quality Monitoring and Regression Analysis to Estimate Nutrient and Bacteria Concentrations in Kansas. *Proceedings of the 5th International Conference on Diffuse Pollution (IAWQ)*.
 4. David B., Eran F. and Kevin, G. 1995. Characterizing the quantity and quality of domestic wastewater inflows. *Water Science and Technology*. 31(7): 13-24.
 5. Donghwa. 2002. Korea standard methods for water pollution, waste, and soil pollution. *Dong Hwa Technology Publishing Co.*
 6. Donigian, A. Jr., Huber, W. and T. Jr. Barneswell. 1995. Modeling of nonpoint source water quality in urban and nonurban areas, in Nonpoint pollution and Urban Stormwater Management, V. Novotny (ed.), *Technomic Publishing Co., Inc, Lancaster, PA.,* 299-307.
 7. Donoso, G., Cancino, J. and A. Magri. 1999, Effects of agricultural activities on water pollution with nitrates and pesticides in the central valley of Chile, *Water science and Technology* 39(3): 49-60.
 8. Eran, F. and B. David. 1996. Quantifying the inherent uncertainty in the quantity and quality of domestic wastewater. *Water Science and Technology* 33(2): 65-78.
 9. Geardi. C. 2001. Land use, agronomic management and water quality in a small northern Italian watershed. *Agricultural. Ecosystem Environment* 87(1): 1-12.
 10. Griffin, D. W., Gibson III, C. J., Lipp, E. K., Riley, K., Paul, J. H. and J. B. Rose. 1999. Detection of viral pathogens by reverse transcriptase PCR and of microbial indicators by standard methods in the canals of the Florida Keys. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 4118-4125.
 11. Jeon, J. H., C. G. Yoon, J. H. Ham. 2001. Analysis of relationships among the pollutant concentrations in non-urban area. *Korean Journal of Limnology* 34(3): 215-222. (in Korean).
 12. Buck, O., Niyogi, D. K., C. R. Townsend. 2004. Scale-dependence of land use effects on water quality of streams in agricultural catchments. *Environmental pollution*, 130: 287-299.
 13. Paul, J. H., Rose, J. B., Jiang, S., Zhou, X., Cochran, P., Kellogg, C., Kang, J. B., Griffin, D., Farrah, S. and J. Lukasik. 1997. Evidence for ground water and surface marine water contamination by waste disposal wells in the Florida Keys. *Water Research* 31: 1448-1454.
 14. Paul, M. B. and C. B. Linfield. 1998. Statistics for environmental engineers. Lewis.
 15. Scanlon T. M., Kiely G. and Q. Xie. 2004. A nested catchment approach for defining the hydrological controls on non-point phosphorus transport. *Journal of Hydrology* 291(3-4): 218-231.
 16. USEPA. 1999. Draft guidance for water quality-based decisions: the TMDL process. Washington, D. C. : USEPA Protection Agency.
 17. USEPA. 1986. Ambient water quality criteria for bacteria-1986. EPA 440-584-002. Washington, D. C. : USEPA Protection Agency.
 18. Wall G. J., Bos A. W., A. H. Marshall. 1996. The relationship between phosphorus and suspended sediment loads in Ontario watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51: 504-507.
 19. Weiner, R. W. 2000. *Applications of Environmental chemistry*. Lewis.