

비도시 유역에서 수질오염물질 사이의 상관관계 분석

전 지 홍 · 윤 춘 경* · 함 종 화

(건국대학교 지역생태시스템공학과)

Analysis of Relationships Among the Pollutant Concentrations in Non-urban Area. Jeon, Ji-Hong, Chun-Gyeong Yoon and Jong-Hwa Ham (Department of Biological Systems Engineering, Konkuk University, Seoul, 143-701, Korea)*

A statistical analysis was performed to evaluate relationships among the pollutant concentrations in non-urban area. The data obtained from two subcatchments in Hwa-Ong watershed during 1999 was used for correlation and regression analyses. Strong correlations were observed among the SS, COD, and TP, while it was not significant with TN. The reason for weak correlation with TN might be that TN was high in dry-days and runoff in wet-days could not increase enough to change it substantially like in other pollutants. The correlations were stronger for the data in wet-days than in dry-days, and it was influenced by watershed characteristics. While TP-COD showed linear relationship from the regression analysis, SS-TP and SS-COD showed intrinsically linear relationship between log-transformed TP and COD data and non-transformed SS data. The TP-COD showed strong relationship for all the combinations of monitored data, which implies that these two constituent concentrations varied in a similar pattern. The regression equations reported in the paper might be used to estimate one pollutant concentration from the other in pollutant loading estimates, and its application could be expanded to other non-urban watersheds if their characteristics are not significantly different from the study area. In water quality management projects, rigorous monitoring and its thorough evaluation are recommended to develop more reliable relationships among the pollutant concentrations which could be used in other area.

Key words : Statistical analysis, Non-point source, Non-urban, Pollutant concentrations, Regression equation

서 론

토양에서 일어나는 오염물질의 이동 과정은 오염물질의 이화학적 특성에 따라 영향을 받는다. 오염물질은 조건에 따라 용해상태로 존재하기도 하고 토립자나 유기물에 흡착되어 있는 상태로 존재하는데, 흡착된 형태의 오염물질은 흡착매개체인 토사나 유기물질과 더불어 운반되며, 용해성 오염물질은 지표수 뿐 아니라 지하수의

흐름에 따라서도 이동된다.

자연계에 존재하는 인은 주로 정인산염 (PO_4^{3-}), 유기성 또는 무기성으로 존재하는데, 유기성 인산염은 식물이나 유기잔재물로부터 공급되고, 무기성 정인산염은 인 회석과 같은 광물질에 의해 공급된다. 인산염은 특히 점토질입자나 토양유기물에 대한 흡착성이 커서 좀처럼 용탈되지 않는 성질이 있다. Ryden (1972)은 토립자에 흡착된 인의 농도를 clay와 유기탄소함유량과의 함수로 표현하며 토양 내의 인은 clay와 유기물질과 밀접한 관

*Corresponding author: Tel: 02) 450-3747, Fax: 02) 446-2543, E-mail: chunyoonyoon@konkuk.ac.kr

런이 있음을 발표하였다.

토양 속에서 질소의 거동은 대단히 복잡하고 여러 가지 변환과정을 거친다. 또한 질소의 형태에 따라 토양에 흡착될 수 있고 반대로 용해상태로 지하로 침투되므로 질소의 배출과정을 파악하기는 쉽지 않다. 용해상태의 질소는 암모니아성 질소와 질산성질소가 대부분을 차지하는데, 질산성 질소는 토양 내 쉽게 흡착되지 않기 때문에 지하로 용탈되거나 혐기성 상태에서 탈질이 일어난다. 반면에 암모니아성 질소는 일부는 용존상태로 존재하여 지하로 용탈 되지만, 일부는 유기성 질소와 함께 토양환경 내에서 고정화가 이루어져 흡착의 형태로 존재하며, 질소의 고정화는 탄질비(C/N)에 영향을 받는다(권 등, 1998).

이러한 관점에서 볼 때 투수면적비율이 큰 비도시 유역, 특히 시비가 이루어지는 농경지와 가축을 사육하는 축산 지역이 많은 유역의 경우 질소와 인, 유기물질 등이 토양에 축적되며 이들이 수계로 유입될 때 이들 사이에 일정한 상관성을 나타내며 수계로 유입될 것으로 추정된다.

수질평가에 있어 두 개 이상 항목들간의 관계를 규명 지음으로써 이들 사이의 거동을 조사하는 기법이 자주 쓰인다. 이러한 기법은 결측된 수질 항목을 이와 관련된 다른 항목에 대한 정보를 사용하여 보충 할 수 있을 뿐 아니라, 측정된 수질관측치를 이용하여 미래의 수질값을 예측하는데 이용될 수 있다. 항목들간의 거동을 조사하는 방법에는 회귀분석과 상관분석을 이용하는데 이러한 분석들은 항목들간의 수학적인 관계를 평가하기 위한 가장 단순하면서도 가장 널리 쓰이는 통계적인 모델 기법이다(Edward, 1998).

그간 수행된 학술적인 연구를 살펴보면, 총인과 부유물질의 부하비율(kg/ton)은 연간 단위면적당 부유물질의 부하량(SS kg · ha⁻¹ · yr⁻¹)과는 지수적인 관계가 있다(Wall *et al.*, 1996). 탁도와 총인, 총질소, 대장균군과는 양의 선형적인 관계가 있으며(Christensen *et al.*, 2001), 유기탄소와 COD_{MN} 사이는 선형적인 관계가(최 등, 2000), chl-a와 BOD, COD와는 선형적인 관계가 있다는 것을 밝혔다(신 등, 1996). 그 밖에 서 등(1998)은 침출수에서 오염물질간의 상관관계와 김 등(1982)은 식품공장 폐수에서의 오염물질간의 상관관계에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 화용간척지역에 있는 2개의 소유역에서 1999년 1년 동안 비도시 유역의 강우시와 비강우시 측정된 자료에 의하여 오염물질간의 상관관계를 분석하고, 상관관계가 높은 오염물질간에 회귀분석을 통해서 비도시 유역에서 오염물질간의 유출거동을 파악하여 수

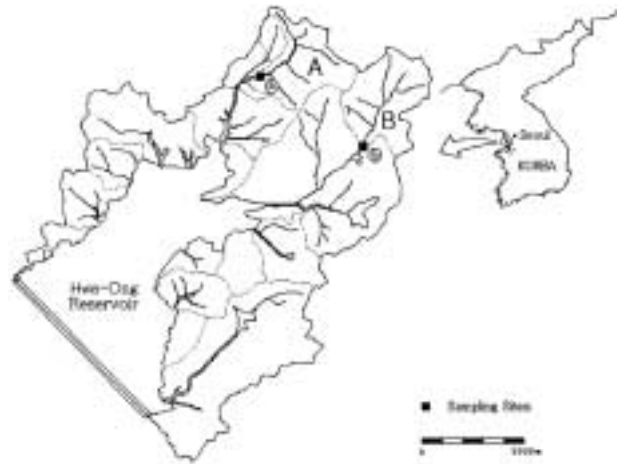


Fig. 1. Study area and sampling sites.

질예측에 필요한 기초 자료를 제공하고 수질관리에 도움이 되고자 한다.

재료 및 방법

1. 대상지역

대상지역은 화용간척지구의 상류 유역으로 동경 126° 45'~126° 55', 북위 37° 10'~37° 15'에 위치하고 있으며, 행정구역상으로는 경기도 화성군 남양면 남양리에 위치한 소유역(A 유역)과 팔탄면 하저리에 위치한 소유역(B 유역)에서 연구가 이루어졌다(Fig. 1).

두 지점의 토지이용도는 Table 1과 같다. A 유역과 B 유역의 총 면적은 각각 967.8 ha, 1,472.9 ha이다. A 유역의 경우 논과 축산농가의 비율이, B 유역의 경우 밭의 비율이 각각 상대적으로 높았으며, 두 유역 모두 임야와 논, 밭의 비율이 70% 이상을 차지하여 전형적인 비도시 지역의 형태를 띠고 있었다.

2. 시료채취 및 수질분석 방법

시료채취지점은 A 유역과 B 유역 하천의 말단 부분에 위치한 행가교(site ㉔)와 하저교(site ㉕)지점에서 이루어졌다. 시료채취는 비강우시와 강우시로 나누어서 이루어졌으며 비강우시는 2주간격으로, 강우시는 1999년 4월 9일 강우량 37.3 mm와 5월 3일 강우량 58.5 mm에 있어 두 차례 일주기 조사가 이루어졌다. 강우시 시료채취방법은 유량의 변화를 기본으로 하여 1~4시간 간격으로 강우초기부터 강우가 끝난 후 유량이 정상으로 돌아올 때까지 이루어졌다. 본 연구에서 분석한 수질항목

Table 1. Land use classification of monitored subcatchments (unit: ha).

Watershed	Forest	Paddy	Upland	Livestock	Residential	Others	Total
A	425.3 (43.9%)	301.2 (31.1%)	85.9 (8.9%)	13.5 (1.39%)	22.5 (2.3%)	119.4 (12.3%)	967.8
B	584.7 (39.7%)	418.3 (28.4%)	213.6 (14.5%)	6.3 (0.4%)	38.3 (2.6%)	211.7 (14.4%)	1,472.9

Table 2. Analytical methods used for constituents.

Constituents	Methods	Remark
COD (Chemical oxygen demand)	Korean standard methods for water quality	KMnO ₄
TN (Total nitrogen)		
N _{org} -N	SM 4500-N _{org} -B	BÜCHI 435 & B-316,
NH ₃ -N	SM 4500-NH ₃ -F	
NO ₂ -N	SM 4500-B	HP8452A
NO ₃ -N	SM 4500-B	Spectrophotometer
TP (Total phosphorus)	SM 4500-P D	HP8452A Spectrophotometer
Preparation	SM 4500-P B	Autoclave

은 SS, COD, TP, TN 등 4개의 항목이었으며 이는 토양 내 질소와 인등의 영양물질이 토립자와 유기탄소 사이에 관련성이 있을 것으로 생각했기 때문이었다. BOD₅ 보다 COD를 선택한 이유는 COD가 유기탄소의 지표를 보다 더 잘 나타낼 것으로 판단하였기 때문이었다. COD는 수질오염공정시험법(환경부, 1996)에 의해 분석이 이루어졌으며, 나머지 항목은 Standard Methods (APHA, 1995)에 의해 분석이 이루어 졌다. TN의 경우는 N_{org}-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N을 각각 구하여 이들을 합한 값으로 하였으며, 구체적인 수질분석방법은 Table 2에 요약되어있다.

3. 상관분석 및 회귀분석

실험기간 동안 수집된 자료는 통계용 전산 프로그램인 SPSS for windows 10.0을 이용하여 상관분석 및 회귀분석이 이루어졌다. 상관분석은 두 변수 사이의 관계의 정도를 측정하고 표현하려는 분석이다. 상관분석은 상관계수(R)과 유의수준(α), 그리고 p-값으로써 표현하였는데, 상관계수(R)은 표본집단에 대한 상관계수를 나타내며, p-값은 상관분석에 있어서의 귀무가설, 즉 '두 변수 사이에는 어떠한 상관성도 없다'라는 가설을 기각하는데 범할 수 있는 오류이다. 일반적으로 p-값이 유의수준 1% 내에 있으면 고도의 상관관계가 있다는 것을 의미하며, 유의수준 5% 내에 있으면 보통의 상관관계를 인정하며, 5%보다 클 경우는 상관관계가 성립되지 않는다고 판단한다. p-값은 상관계수와 자료의 개수와 관계식으로 표현되며, p-값이 1% 혹은 5%일 때의

상관계수와 두 변수 사이의 상관계수를 비교하여 유의성을 검증하기도 하는데, 본 연구에서는 유의수준 1%와 5%를 기준으로 하여 상관관계 분석을 시도하였다.

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(R²)를 산정함으로써 회귀식의 적합도를 판단하였다.

본 연구에서는 우선 강우시와 비강우시의 수질자료로 나누었다. 여기에 다시 각각의 측정지점에 있어서의 수질자료와 두 측정지점을 합한 수질자료에 있어 수질항목간에 상관계수와 p-값을 구하였으며, 유의수준 1% 내의 항목들에 대해 회귀분석을 실시하여 회귀식과 결정계수를 산출하였다.

결과 및 고찰

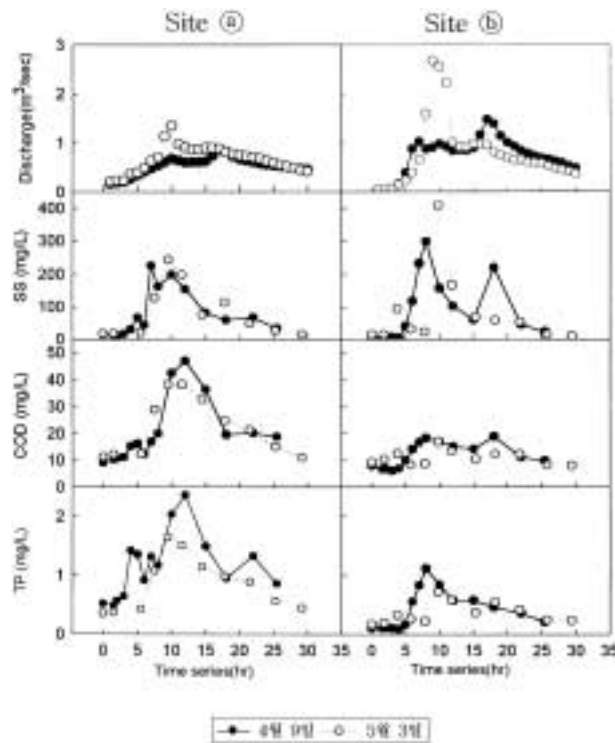
1. 수질분석 결과

평상시 ㉔지점과 ㉕지점의 수질분석 결과는 Table 3과 같다. ㉔지점에 있어 SS, COD, TP, TN의 평균농도는 각각 16.9 mg/L, 8.5 mg/L, 0.436 mg/L, 7.1 mg/L이었으며, ㉕지점의 경우는 각각 8.1 mg/L, 6.1 mg/L, 0.179 mg/L, 4.8 mg/L로서 모든 항목에 있어 ㉔지점이 ㉕지점보다 높은 농도를 나타내었다.

강우시 수질분석 결과는 Fig. 2와 같다. 강우시 수질분석결과 또한 ㉔지점이 ㉕지점보다 높은 농도를 나타내

Table 3. Pollutant concentrations during dry-day (unit: mg/L).

Date	SS		COD		TP		TN	
	site ①	site ②	site ①	site ②	site ①	site ②	site ①	site ②
1/05	42.0	2.0	5.6	4.0	0.307	0.151	3.4	2.6
1/19	30.5	2.5	5.8	5.6	0.190	0.096	5.3	6.2
2/09	11.5	2.5	8.7	3.9	0.390	0.153	3.7	3.8
2/23	11.5	6.0	8.7	3.9	0.404	0.383	5.2	4.8
3/11	12.5	7.0	8.7	5.8	0.420	0.881	3.7	3.7
3/24	18.0	5.0	9.4	6.6	0.541	0.350	9.1	5.9
4/29	10.0	6.5	10.4	8.1	0.441	0.172	8.7	2.8
5/27	16.5	6.0	9.1	6.1	0.498	0.090	10.5	4.9
6/11	19.5	7.5	6.4	8.9	0.161	0.026	6.8	3.0
6/24	15.5	22.5	14.2	9.4	1.206	0.090	7.2	3.4
7/08	18.5	19.0	9.1	6.7	0.285	0.156	4.8	2.8
8/05	28.0	9.5	7.2	6.1	0.326	0.119	9.2	8.1
8/27	10.0	9.0	8.8	5.5	0.407	0.126	6.9	3.5
9/10	32.5	24.0	12.2	8.5	1.042	0.244	8.8	5.0
10/08	15.0	4.0	4.9	2.7	0.301	0.050	7.4	3.9
10/22	4.5	9.0	6.4	6.8	0.301	0.050	8.6	8.8
11/08	6.5	2.0	9.2	7.2	0.279	0.039	9.0	6.9
11/15	2.0	2.0	7.8	4.4	0.356	0.045	9.0	7.0
Mean	16.9	8.1	8.5	6.1	0.436	0.179	7.1	4.8
SD	10.4	6.8	2.3	1.9	0.270	0.202	2.2	1.9

**Fig. 2.** Change of suspended solid (SS) and chemical oxygen demand (COD) and total phosphorus (TP) concentration during wet-day.

었다. 강우시와 비강우시 ④지점이 ①지점보다 높은 수질오염농도를 나타낸 것은 Table 1의 유역별 토지이용도에서 A 유역이 B 유역보다 축산농가비율에서 큰 차이를 나타내었기 때문으로 생각된다. 일반적으로 축산지역은 단위면적당 오염물질배출량이 다른 토지이용보다 월등히 높은 편이다. 수질오염항목별 유출 경향을 살펴보면 SS, COD, TP항목들은 유량변화와 유사한 형태로 농도가 증가하였다가 감소하는 경향을 나타내었는데, TN의 변화는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 이는 SS, COD, 그리고 TP는 직접유출에 의한 부하량이 높기 때문에 유출에 대해 민감하게 반응하지만, TN의 경우 기저유출에 의한 부하량이 높아 비강우시에도 높은 농도를 나타내었으며 상대적으로 강우유출에 영향을 적게 받은 것으로 판단된다.

2. 상관관계 분석결과

평상시 ④지점과 ①지점의 오염물질간 상관관계 분석 결과는 Table 4와 같다. ④지점의 경우 여러 항목들 사이의 상관관계에서 TP-COD는 상관계수 0.863 그리고, ①지점의 경우 SS-COD에서 상관계수 0.624를 나타내며 유의수준 1%에서 유의성이 있었다. 그리고, ④지점과 ①지점의 수질분석자료를 모두 합하여 적용하였을 경우는 TP-COD가 상관계수 0.623으로 유의수준 1%에서 유의성을 나타냈는데, 이는 ④지점의 높은 상관관계에 영향을 받은 결과로 생각된다. 전반적으로는 평상시 수질오염물질간의 상관관계가 크지 않았고 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다.

강우시 ④지점과 ①지점에서의 오염물질간의 상관관

Table 4. Correlation coefficients between two variables for dry-period.

Pollutant	Data	SS	COD	TP	TN
SS	①	-	-0.142	0.107	-0.267
	②	-	0.624**	0.034	-0.184
	①+②	-	0.322	0.286	0.040
COD	①	-0.142	-	0.863**	0.223
	②	0.624**	-	-0.086	-0.035
	①+②	0.322	-	0.623**	0.330
TP	①	0.107	0.863**	-	0.220
	②	0.034	-0.086	-	-0.189
	①+②	0.286	0.623**	-	0.282
TN	①	-0.267	0.223	0.220	-
	②	-0.184	-0.035	-0.189	-
	①+②	0.040	0.330*	0.282	-

* Significant at $\alpha = 0.05$

** Significant at $\alpha = 0.01$

Table 5. Correlation coefficients between two variables for wet-period.

Pollutant	Site	SS	COD	TP	TN
SS	㉑	-	0.895**	0.801**	0.466*
	㉒	-	0.811**	0.794**	0.321
	㉑+㉒	-	0.580**	0.529**	0.178
COD	㉑	0.895**	-	0.838**	0.353
	㉒	0.811**	-	0.953**	0.187
	㉑+㉒	0.580**	-	0.889**	0.591**
TP	㉑	0.801**	0.838**	-	0.353
	㉒	0.794**	0.953**	-	0.323
	㉑+㉒	0.529**	0.889**	-	0.667**
TN	㉑	0.466*	0.353	0.304	-
	㉒	0.321	0.187	0.323	-
	㉑+㉒	0.178	0.591**	0.667**	-

* Significant at $\alpha = 0.05$ ** Significant at $\alpha = 0.01$

계분석은 Table 5와 같다. 각각의 지점에 있어서 SS-COD, SS-TP와의 상관관계는 매우 높게 나타난 편이었는데, ㉑지점의 경우 유의수준 1% 내에서 각각 0.895, 0.801의 상관계수를 나타내었으며, ㉒지점의 경우도 유의수준 1% 내에서 각각 0.811, 0.794의 상관계수를 나타내었으며 각각 유의성이 있었다. TN 항목은 대체적으로 다른 항목사이와의 상관성이 낮은 것으로 나타났다. 박 등 (1997)의 연구에서도 유량과 TN과의 농도변화에는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았으며, 회귀분석에도 상관성을 나타내지 못하였다. TP-COD사이에는 상관관계가 상당히 높은 값을 나타내었는데 ㉑지점의 경우 0.838, ㉒지점의 경우 0.953로 유의수준 1%에서 높은 상관계수를 나타내며 유의성이 있었다.

㉑지점과 ㉒지점의 수질자료를 합한 총 강우자료를 이용하여 상관관계분석결과를 살펴보면, 각각 유역의 수질자료에서는 높은 상관관계를 나타내었던 SS-COD, SS-TP가 아직은 유의수준 1%에서 유의성이 있었으나 상대적으로 낮은 상관관계를 나타내었다. 이는 지표면에 오염물질이 쌓인 양에 의존하기 때문에 SS-COD, SS-TP와의 상관관계는 유역의 특성에 영향을 받았기 때문으로 생각된다. 반면에 TP-COD와의 상관관계는 총 강우자료의 분석에도 유의수준 1% 내에서 0.889의 높은 상관계수를 나타내었다.

TN과 관련된 수질오염물질의 경우 각각의 유역에서는 상관성이 없는 것으로 나타났으나, 두 유역의 자료를 모두 이용한 결과에서는 TN-TP, TN-COD에서 유의수준 1% 내에서 각각 0.667과 0.591의 상관계수를 나타내었다. 이는 두 유역의 자료가 합성되면서 나타나는 현상

Table 6. Correlation coefficients between two variables with whole data during the study period.

Pollutant	SS	COD	TP	TN
SS	-	0.685**	0.569**	0.135
COD	0.658**	-	0.864**	0.443**
TP	0.569**	0.864**	-	0.515**
TN	0.135	0.443**	0.515**	-

** Significant at $\alpha = 0.01$

인데, 물리적으로 의미가 많은 각자의 유역자료 분석결과 보다 상관성이 높게 나타난 결과는 일반적인 예측과는 상반되는 현상이다. 이러한 현상은 두 유역의 강우자료가 조합되는 과정에서 단순한 숫자상의 우연한 형태일 수 있으며 이러한 경우에는 실질적인 의미가 적으며, 통계적인 수치만으로 상관성을 판단하기가 어렵다고 할 수 있다.

㉑지점과 ㉒지점, 강우기와 비강우기의 모든 수질측정 자료에 적용하였을 경우의 상관관계는 Table 6과 같다. Table 5와 비교하여 보면 SS-COD와 SS-TP에서 상관계수의 다소 증감이 있으나 유사한 범위에 있었으며, TP-COD와의 상관계수는 0.865로 다소 감소하였으나 아직도 높은 상관관계를 나타내었다.

수질오염물질 사이의 상관관계분석 결과에 의하면 평상시보다는 강우시에 상관관계가 큰 것으로 나타났으며, SS-COD, SS-TP, TP-COD 사이에는 상관관계가 상대적으로 크게 나타났고 TN은 다른 물질과의 상관관계가 낮은 것으로 나타났다. 특히 TP-COD는 모든 경우에서 높은 상관관계를 나타내며 상호 밀접한 관계가 있음을 보여주었다. 이러한 수질 오염물질 상호간의 상관성은 수질예측에 응용될 수 있을 뿐 아니라, 수질관리 대책 수립시에도 고려해야 할 현상이라고 생각된다.

2. 회귀분석 결과

우선 ㉑지점과 ㉒지점의 첫 번째 강우와 두 번째 강우시 SS-COD, SS-TP, TP-COD, 그리고 이들을 합한 총 수질자료를 이용한 강우시 SS-COD, SS-TP, TP-COD의 회귀분석을 실시하여 회귀계수를 비교하였다. 각각의 회귀분석에서 가장 높은 결정계수를 나타낸 회귀모델은 식 (1), 식 (2), 식 (3)의 형태이며 그 결과는 Table 7과 같다.

$$TP = a \times \ln(SS) + b \quad (1)$$

$$COD = a \times \ln(SS) + b \quad (2)$$

$$COD = a \times TP + b \quad (3)$$

Table 7. Correlation coefficients between two variables with whole data during the study period.

Site	Sampling data	SS-TP			SS-COD			TP-COD		
		a	b	R ²	a	b	R ²	a	b	R ²
Ⓐ	4/9	0.48	-0.66	0.81	9.75	-16.32	0.71	18.6	-0.95	0.72
	5/3	0.43	-0.84	0.94	9.97	-16.96	0.92	23.2	2.59	0.98
	Both	0.41	-0.60	0.73	9.89	-16.77	0.82	18.9	2.30	0.70
Ⓑ	4/9	0.16	-0.14	0.82	2.36	3.52	0.90	14.0	6.02	0.95
	5/3	0.14	-0.17	0.81	2.23	2.56	0.83	13.9	5.94	0.80
	Both	0.15	-0.15	0.78	2.21	3.32	0.83	13.9	6.00	0.91

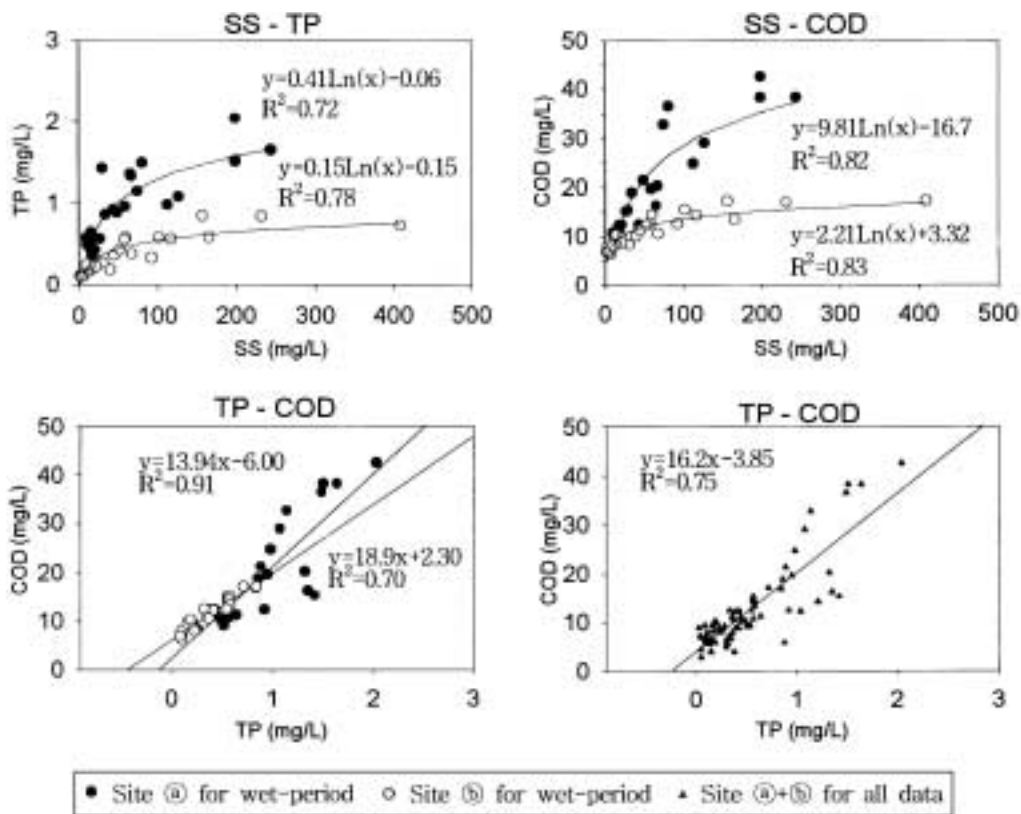


Fig. 3. Regression curve between SS and TP and between SS and COD and between TP and COD.

a, b : 회귀계수 (regression coefficient)

회귀계수 a, b를 비교한 결과 대체적으로 유사한 범위의 값을 나타내었으며 특히 회귀계수 a는 곡선이나 직선의 기울기를 나타내기 때문에 자료의 경향을 나타내어 중요한 계수라 할 수 있다. 따라서 각각의 지점에 있어 두 강우에 의해 산출된 회귀식은 비교적 합리적으로 산출되었다고 할 수 있다.

Ⓐ지점, Ⓑ지점 그리고 이들 자료를 합한 경우에 강우 시 SS-COD, SS-TP, TP-COD의 회귀곡선은 Fig. 3과 같다. Fig. 3를 보면 TP와 COD는 선형적인 관계를 나타

내었으며, Ⓐ와 Ⓑ지점의 강우기와 비강우기의 수질자료를 모두 포함하였을 경우에도 상당히 높은 결정계수를 나타내었다. 이는 오염물질 내의 TP와 COD와의 화학적인 성분비가 최소한 두 영역에서는 유사하였기 때문으로 판단된다.

SS와 관련된 수질항목들은 모두 반 대수함수 관계를 나타내었다. 이는 저농도의 SS에서는 SS의 소폭 변화에 다른 물질들은 큰 폭으로 변화하는 반면에, 고농도의 SS에서는 SS의 큰폭의 변화에도 TP와 COD같은 수질오염물질에는 변화폭이 소폭일 수 있음을 의미한다.

Table 8. Correlation coefficients between two variables at other non-urban area.

Site	SS-TP			SS-COD			TP-COD		
	a	b	R ²	a	b	R ²	a	b	R ²
Deachun	0.16	-0.22	0.81	2.26	5.91	0.46	13.8	9.11	0.54
Sintean	0.14	-0.39	0.57	2.41	-2.09	0.56	13.6	5.28	0.63

새만금호 유역의 수질모니터링 자료 (농업기반공사, 1998)를 이용하여 대천지점 (만경강)과 신태인지점 (동진강)에서의 강우시 SS-COD, SS-TP, TP-COD사이의 회귀분석을 실시하였으며 결과는 Table 8과 같다. 새만금 유역에서도 본 연구에서 사용된 회귀식이 가장 높은 결정계수를 나타내었다. 대천의 경우 SS-TP에서 가장 높은 결정계수 ($R^2 = 0.81$)를 나타내었으며 신태인의 경우 TP-COD에서 가장 높은 결정계수 ($R^2 = 0.63$)를 나타내었다. 또한 화옹 유역의 ⑥지점과 새만금 유역의 대천지점, 신태인지점의 강우시 SS-COD, SS-TP, TP-COD회귀식의 기울기가 매우 유사한 값을 나타내었다 (Table 7, Table 8). 이는 기본농도는 다를지라도 오염물질간의 증가비율은 유사하다는 것을 의미한다.

이상의 회귀분석 결과에 의하면 수질오염물질 중에 SS, COD, TP사이에는 상호 일정한 형태의 상관성을 유지하고 있었으며 회귀분석결과도 상당히 높은 결정계수를 나타내었다. 따라서, 오염이 우려되는 주요하천의 경우 수질 항목간의 상관관계가 밝혀진다면 한가지 성분의 자료에 의해 다른 성분의 수질을 예측하는데 활용이 가능할 것으로 판단되며 나아가 연속적인 수질 측정이 가능한 항목 (예를 들어 탁도)을 이용하면 실시간으로 수질 모니터링이 가능할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구에서는 비도시 유역에서 수질오염물질간의 상관관계를 알아보기 위하여, 화옹간척지구의 상류 유역 두 지점에서 1999년 강우시와 비강우시의 수질측정자료를 이용하여 오염물질간의 상관관계를 분석하였다. 비강우시에는 오염물질간 뚜렷한 상관관계를 확인하기 어려웠으나, 강우시에는 SS-TP, SS-COD, TP-COD사이에는 높은 상관관계를 나타내었으며 TN과 다른 오염물질사이에는 일정한 경향을 나타내지 않았다. 오염물질간의 회귀분석결과는 SS-TP, SS-COD사이에는 반 대수함수의 경향을 나타내고 유역특성에 영향을 받았으며, TP-COD는 선형함수의 경향을 나타내고 유역특성에 영향을 적게 받았다. 본 연구에서 발표한 수질오염물질 사이

의 회귀식들은 유역의 특성에 영향을 받았으나 화옹지구는 물론, 자료가 부족한 다른 비도시 유역에도 기본계획 단계에서는 사용이 가능할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

- 권순국, 김복영, 김진수, 김태철, 윤춘경, 정재춘, 홍성구. 1998. 지역환경공학. 향문사.
- 김성재, 박청길. 1982. 식품공장 폐수의 BOD, COD, TOD 및 TOC 값들 간의 상관관계에 관한 연구. 대한환경공학회 4(1): 8-22.
- 농업기반공사. 1998. 새만금호 유역의 수질모니터링과 인공스비조성방안연구 최종보고서.
- 박승우, 류순호, 강문성. 1997. 소유역의 토지이용에 따른 비점원오염 부하량. 한국농공학회지 39: 115-127.
- 백수봉, 도은수, 안정현, 호교순. 1994. 실험통계학. 건국대학교 출판부.
- 서영화, 조순행. 1998. 침출수 분석 항목간의 상관관계분석과 주성분분석. 대한환경공학회지 20(12): 1705-1715.
- 신성교, 박청길, 이수용. 1996. 낙동강에서 chlorophyll-a와 BOD의 상관관계. 한국수질보전학회지 4: 369-375.
- 엄명철, 권순국. 1996. 탱크모형을 이용한 일별 오염부하량의 산정. 한국농공학회지 38: 92-100.
- 이인선, 김태승, 유덕희, 박수용, 김기현, 김태근, 황종연, 정동환, 김명희. 1996. 금강상류지천으로부터의 오염물질 유출 특성에 관한 연구. 한국수질보전학회 학술연구발표회. 237-240.
- 정영상, 양재의, 박철수, 권영기, 주영규. 1998. 북한강 울문천 소유역에서 수질 변화와 농업활동에 의한 N, P 부하량. 한국토양비료학회지 31: 170-176.
- 조정구, 양원섭. 1997. 이론 및 응용통계학. 청문각.
- 최중대. 1996. 중소규모 농촌 유역의 비점원 오염물질 배출특성. 한국농촌환경연구회 1996년 6월 세미나 발표자료.
- 한재식, 김주훈, 김만식. 2000. 유역의 비점오염부하량 산정에 관한 연구. 환경관리학회지 6(4) 147-157.
- 환경부. 1996. 수질오염공정시험법.
- APHA. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (19th edn.) American Public Health Association, Washington, D. C., U.S.A.
- Choi, K.S., B.C. Kim, H.B. Kim, and S.H. Sa. 2000. Relationship Between Organic Carbon and COD_{MN} in a Deep Reservoir, Lake Soyang, Korea. Korean J. Limnol. 33: 328-335.
- Christensen, V.G., P.P. Rasmussen, 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).

- Edward, A.M. and A.R. Frank. 1998. Statistical Procedures for Analysis of Environmental Monitoring Data and Risk Assessment.
- Kapil Gupta, Michael E. Barrett, Joseph F Malina Jr., Randall J. Charbeneau, Arun Kumar, and Vijay K. Minocha. 2000. Use of regression models for analyzing highway storm-water loads. *J. Enviro. Eng.* **126**: 577-579.
- Ryden, J.C., J.K. Syers, and R.F. Harris. 1972. Potential of an eroding urban soil for the phosphorus enrichment of streams. *J. Enviro. Qual.* **1**: 430.
- Shiping Liu, Lu, Jye-Chyi, W.K. Dana, and Q.M. William. 1997. Analysis of environmental data with censored observations. *Environ. Sci. Technol.* **31**: 3358-3362.
- Wall, G.J., A.W. Bos, and A.H. Marshall. 1996. The relationship between phosphorus and suspended sediment loads in Ontario watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation.* **51**: 504-507.

(Received 30 Apr. 2001, Manuscript accepted 15 Jul. 2001)