농촌유역특성과 하천수질과의 관계

Relationship between rural watershed characteristics and stream water quality

홍 성 구* · 권 순 국**
Hong, Seong gu · Kwun, Soon kuk

Abstract

In interpreting stream water quality data, scientific or statistical mehtods should be employed. Classical parametric statistical methods may not be adopted in analyzing water quality data, due to the violation of normality. In this study, nonparametric statistical methods, such as Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney test, were used in comparing water quality data from several monitoring stations. Water quality data used are those collected in Bokha watershed, located in Ichon-city, Kyonggi province. Based on the test results, domestic sewage is the major pollution source. A couple of sub-watersheds with a large number of livestock do not show significant differences in water quality parameters. It should be noted that comparison of mean values of water quality parameters is difficult to relate water quality with watershed characteristics. The results also indicate that livestock farming does not significantly affect the water quality.

I. 서 론

하천수의 수질은 해당 유역으로부터 유입되는 유출수의 수질특성에 의해 결정된다. 이러한 유출수는 지하수, 강우-유출수 외에 각종 점오염원이나 처리장에서 방류되는 것들이 포함된다. 생활하수나 산업폐수는 처리 여부에 관계없이 대체로 일정한 수질을 가지나 강우로 인한 지표 유출수의 경우 유역의 토지이용에 따라서 크게 영향을 받는다. 특히 강우-유출과 밀접한 관계를 갖는 비점원으로부터 수계로 유입되는 오염물질의 양은 도시화의 가속화와 산업화로 인해 크게 증가하고 있으며, 오염물질의 종류 또한 다양해지고 있는 실정이다.

하천 및 호소에서 적정한 수질관리를 하기 위해서는 비점원오염에 의한 오염부하량의 추정과 이에 대한 적절한 관리방안이 모색되어야 한다. 따라서 최근에는 비점오염원과 수계 수질과의 관계를 파악하기 위한 다양한 기관에 의해서 수계 수질모니터링 작업이 진행되어오고 있다. 수계 수질모니터링 작업은 많은 시간과 노력이 요구되며, 그 결과 또한 대상 하천이나 유역의 특성에 큰 영향을 받기 때문에 수질관리차원의 결과해석에 있어서 여러 가지 어려움이 따르게 된다. 수질과 관

*한경대학교 농촌공학과
**서울대학교 생물자원공학부

키워드 : 수질모니터링, 비모수검정, 하천수질, Kruskal-Wallis 검정, 오염원.

련된 유역의 특성에는 토지이용, 오염원의 종류와 분포, 하천의 수리·수문학적 특성 등이 있다. 점오염원의 경우 각각의 특성에 적합한 처리공정을 거쳐서 상대적으로 어렵지 않게 처리가 가능하나 토지이용과 밀접한 관련을 갖는 비점오염원의 경우 오염원으로부터 오염물질이 배출되지 않도록 오염원을 관리해야한다.

비점원오염과 관련지어 토지이용과 하천수질과의 관계를 구명하는 노력은 여러 분야에서 시도되어 왔으나 아직까지 명확하게 정립되지 못한 것으로 판단된다. 대부분의 이러한 노력은 수질측정결과의 단순해석으로서 측점 간 항목별 수질의 차이를 과학적으로 규명하지 않은 상태에서 상대적으로 높고 낮음을 서술하는 수준에 불과하다. 임 등(1995)은 경안천 유역의 하천수질과 토지이용과의 관계의 조사에서 용존산소, BOD, COD, SS, PO_4-P, 질소화합물 등은 제한된 시료채취 및 분석결과를 바탕으로 토지이용형태와 상관관계가 없다고 하였다. 이 등(1999) 또한 충북 이원천에서의 수질조사결과에서 주거지 면적과 BOD, 경지면적과 총인과의 상관관계가 있다고 하였으나 각각의 유역이 갖는 오염원 및 오염부하특성을 고려한 수질 항목별 차이를 명확하게 서술하지 못하고 있다. 박 등(1997)은 경기도 안산의 반월저수지 상류유역을 대상으로 수행한 수질조사결과에서 역시 수질항목에 대한 소유역별 차이를 산술적으로 나타내고 그 원인을 유역내 조사된 오염원의 특성과 관련 짓고 있다.

즉, 지금까지의 토지이용 혹은 유역특성과 관련지어 수질조사 연구가 다양하게 이루어지고 있으나 측점 간 항목별 수질 차이의 존재 유무를 명확하게 언급하지 못하고 산술적 차이에 대한 서술수준에 머물러 있는 실정이다. 물론 수질 측정회수의 부족이나 연구의 범위의 한계로 인한 것으로 인식되나, 모니터링 결과에 대하여 정밀하고 과학적인 분석이 절실히 요망된다고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 농촌유역 하천수질조사결과를 이용하여, 통계학적 검정을 통해 유역 간 항목별 평균 수질농도 차이를 확인하고 이를 바탕으로 유역특성과 수질과의 관계를 파악하고자 한다.

Ⅱ. 수질모니터링 및 유역특성

1. 유역 개황

본 연구에서 이용된 수질관측 자료는 경기도 이천시 복하천의 주미교를 유역말단으로 하는 유역으로서, 북측으로 양각산(EL.380 m), 남측으로 봉의산(EL.310 m), 서측으로는 독조봉(EL.400 m)의 분수령을 유역 경계로 하고 있다. 용인군 내사면 제일리에 위치한 독조봉에서 발원한 복하천 본류가 대상 유역의 중심을 통과하여 동북으로 흐르고 있다. 유역의 최상류부에서 말단 지점까지 17 km를 유하하는 동안 7개의 지천이 유입하고 있다. 유역면적은 78.7 km^2이며, 하천 연변에 농경지가 집중되어 있고, 유역 전반에 축산농가가 산재한 전형적인 농촌유역이다. 수질분석을 위한 시료의 채취는 하천 본류구간에서 10곳와 13개 소유역 가운데 선정된 8개의 소유역 말단부에서 하도록 모니터링 망을 구성하였다(Figure 1).

본 연구에서 유역특성과 수질과의 관계를 파악하기 위한 수질자료는 지천에서의 시료채취가 이루어진 소유역 WS#1-4, 8, 그리고 10-13의 총 9개의 지점의 것을 이용하였다.

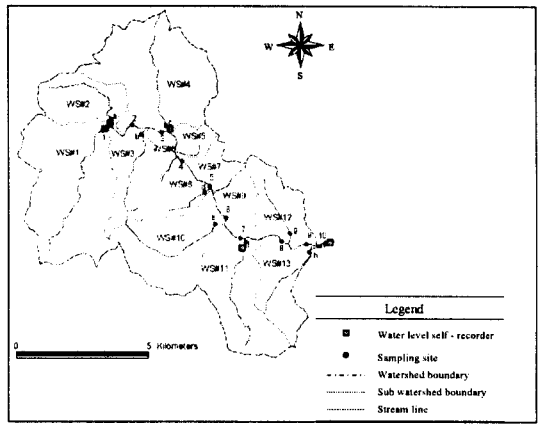


Fig. 1 Watershed boundary and monitoring network

Table 1 Methods of water quality analysis

	Methods	Reference
EC	Portable EC meter(Orion Model 9107 potable meter)	
pH	Electrometric pH meter (ORION Model 9107 potable meter)	APHA 4500-H
BOD	5-Day BOD Test	APHA 5210 B
COD	$K_2Cr_2O_7$	APHA 5220
NO_3-N	Ion Chromatography	APHA 4500-NO_3
NH_3-N	Phenate method	APHA 4500-NH_3
TKN	Peroxide digestion method	
T-N	NO_2-N+NO_3-N+TKN	
PO_4-P	Ascorbic acid method	
T-P	Persulfate digestion method	APHA 4500-P
SS	GF/C filtration	APHA 2540 B

2. 수질조사 방법

수질조사는 1996년 3월부터 2000년 8월까지 수행하였으며, 동절기를 제외하고 월 1회를 원칙으로 총 37회의 시료채취 및 분석이 이루어졌다. 분석된 항목은 수질환경기준에 포함된 7개를 포함하여 총 16개이나 본 연구를 위한 분석에서는 BOD, TN, TP의 3가지 항목을 선정하였다. 주요 항목별 수질분석방법은 Table 1에 제시된 바와 같다.

3. 유역특성

유역의 전체 면적 중 64%는 임야, 26%는 농경지, 도심지역이나 도로 등을 포함하는 기타이용의 면적이 10%이나, 소유역에 따라서 토지이용 면적 비율이 다소 다르다(Table 2). 임야의 면적비가 가장 큰 소유역은 WS#2이고 기타는 WS#8, 농경지의 면적비가 가장 높은 소유역은 WS#6이나 시료채취가 이루어지지 않아 분석에는 포함되지 않았다.

1998년 기준 유역 내에 거주하는 총 인구수는 10,463인으로서 소유역 WS#6을 제외한 모든 소유역에서 생활하수를 처리하지 않고서 배출하고 있는 상태이다. 분뇨처리 또한 WS#6 유역에서만 하수처리장에서 처리되고, 약 4%가 정화조처리, 나머지 대부분의 경우 분뇨수거차량에 의해서 수

Table 2 Landuse characteristic for the sub-watersheds

Sub-watershed	Area (ha)	Landuse (ha)				Landuse (%)			
		Paddy	Upland	Forest	Other	Paddy	Upland	Forest	Other
WS# 1	1522.99	178.57	145.54	1052.03	146.9	11.7	9.6	69.1	9.6
WS# 2	507.82	58.02	49.45	389.37	11.0	11.4	9.7	76.7	2.2
WS# 3	576.7	80.07	63.58	394.88	38.2	13.9	11.0	68.5	6.6
WS# 4	1401.37	224.47	156.09	927.41	93.4	16.0	11.1	66.2	6.7
WS# 5	155.26	40.96	23.16	68.79	22.4	26.4	14.9	44.3	14.4
WS# 6	103.02	19.08	23.97	43.3	16.7	18.5	23.3	42.0	16.2
WS# 7	216.4	63.11	15.76	110.04	27.5	29.2	7.3	50.9	12.7
WS# 8	278.56	64.16	32.87	131.5	50.0	23.0	11.8	47.2	18.0
WS# 9	269.63	64.43	17.58	148.16	39.5	23.9	6.5	54.9	14.6
WS#10	873.4	75.7	103.15	585.73	108.8	8.7	11.8	67.1	12.5
WS#11	972.18	184.8	77.39	641.15	68.8	19.0	8.0	65.9	7.1
WS#12	476.73	104.17	46.67	242.23	83.7	21.9	9.8	50.8	17.5
WS#13	519.96	118.93	51.28	289.09	60.7	22.9	9.9	55.6	11.7
Total	7874.02	1276.47	806.49	5023.68	767.4	16.2	10.2	63.8	9.7

Table 3 Population/sanitary sewage treatment and livestock status

Sub-watershed	Population ('98)	Population density (p/ha)	Sewage		Sanitary sewage		
			No-treatment	Treatment Plant	Collection	Treatment plant	Septic system
WS# 1	2,117	1.39	2,117		2,117		0
WS# 2	315	0.62	315		235		80
WS# 3	261	0.45	261		227		34
WS# 4	1,701	1.21	1,701		1,576		125
WS# 5	529	3.41	529		502		27
WS# 6	1,648	16.0	0	1,648	0	1,648	0
WS# 7	126	0.58	126		111		15
WS# 8	962	3.45	962		866		96
WS# 9	190	0.70	190		190		0
WS#10	747	0.86	747		715		32
WS#11	840	0.86	840		840		0
WS#12	601	1.26	601		601		0
WS#13	426	0.82	426		426		0
합계	10,463		8,815	1,648	8,406	1,648	409

Table 4 Sizes of livestock and types of animal waste treatment

Sub-watershed	Dominant treatment type (solid/liquid)	Cattle			Hog			Chicken		
		'96	'98	(%)*	'96	'98	(%)*	'96	'98	(%)*
WS# 1	LA/LA	38	40	105.3	0	1,000	-	8,000	35,000	437.5
WS# 2	-	40	0	-	1,550	0	-	35,000	0	-
WS# 3	LA/NT	75	0	-	570	700	122.8	10,000	0	-
WS# 4	LA/TT	579	715	123.5	3,167	3,879	122.5	0	0	-
WS# 5	LA/LA	0	30	-	976	1,400	143.4	0	0	-
WS# 6	-	6	0	-	0	0	-	0	0	-
WS# 7	LA/LA	145	178	122.7	821	0	-	30,000	45,000	
WS# 8	LA/LA	164	70	42.6	0	0	-	0	0	-
WS# 9	-	20	0	-	55	0	-	0	0	-
WS#10	LA/LA	457	754	164.9	871	300	34.4	109,000	0	-
WS#11	LA/TT	461	612	132.7	0	0	-	30,000	0	-
WS#12	LA/TT	415	870	209.6	2,589	6,514	251.6	20,000	0	-
WS#13	LA/TT	293	846	288.6	280	1,578	563.5	115,000	47,700	41.4
Total		2496	4,115		10,879	15,371		357,000	127,700	

* : percent increase compared to value of '96

Types of treatment : LA-land application, NT-no treatment, TT-treatment

Table 5 Description of industries with over 20 m^3/day water use

Sub-watershed	Types of manufacturing	Water use (m^3/day)
WS# 1	communication devices	20
WS# 4	starch/sugar	80
WS# 8	beverage	1,340
WS#11	seasoning	200
	etc.	300

집 유역 외에서 처리되고 있는 실정이다(Table 3).

축산현황 자료는 1996년과 1998년의 2회에 걸쳐 조사되었다. 1996년 1차 조사 때에 비해서 1998년에는 닭의 사육두수가 크게 감소한 반면, 돼지와 소의 사육두수는 크게 증가하였음을 알 수 있었다. 소유역별 1998년 현재 축종별 사육두수는 Table 4에 나타난 바와 같으며, 대부분의 축산농가에서 축산분뇨처리 방법으로서 퇴비화하여 농지 환원하고 있었다.

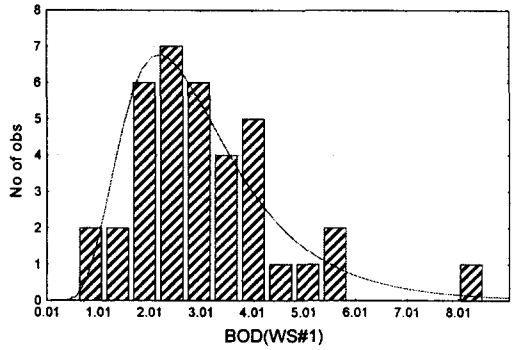
일 용수량이 20 m^3/day 이상인 업체는 Table 5에 나타난 바와 같이 WS#1, WS#4, WS#8, 그리고 WS#11에 위치하고 있다. 특히 WS#8과 WS#11은 일 용수량이 다른 소유역에 비해 상대적으로 매우 많음을 알 수 있다.

Ⅲ. 수질측정결과의 분석

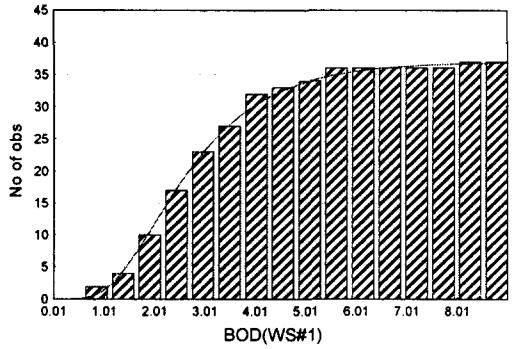
1. 분석방법

수질 측정 데이터의 분석에는 데이터를 시간 또는 측점에 따라서 그래프로 나타내어 비교하거나, 평균치 또는 범위를 상호 비교하는 방식이 널리 이용되고 있다. 특히 그래프 등으로 도식화하는 경우 측점 또는 특정 시기의 수질이 얼마나 다른지 쉽게 이해할 수 있다. 그러나 토지이용이나 오염원의 종류와 같이 유역의 특성이 수질에 미치는 영향을 명확하게 설명하기 위해서는 통계학적인 검증이 요구된다.

수질자료의 분석을 위해서는 적절한 통계학적 검정방법을 선택하여야 한다. 일반적으로 널리 이용되는 모수적 검정(parametric test)을 적용하기 위해서는 자료가 Gaussian 또는 정규분포를 가져야하나 수질 측정자료의 경우 그렇지 못한 경우가 많다. 따라서 대수변환을 거치거나 정규분포의 가정이 요구되지 않는 비모수 검정법(nonparametric test)을 이용해야한다. 수질 데이터의 분석에 이용하기 곤란하다. 많은 경우 수질항목은 음의 농도를 가질 수 없기 때문이다. 예를 들어 WS#1의 BOD는 log-normal 분포에 따른다고 판단할 수 있다(Figure 2). 따라서 수질 데이터의 평균치에 대해서 비교하기 위해서는 대수변환이나 정규분포의 가정을 필요로 하지 않는 비모수적 검정방법을 이용하여야 한다.



a) Frequency distribution



b) Cumulative distribution

Fig. 2 Distribution of BOD at WS#1 for log-normal assumption.

비모수적 검정방법(nonparametric test) 가운데 2개 표본을 비교하는 방법에는 데이터의 순위를 이용하는 순위합 (Wilcoxon rank sum) 검정이나 부호순위(Wilcoxon signed-rank) 검정을 생각할 수 있다. 부호순위 검정은 짝지어진 데이터에 대한 평균치를 검정하는데 이용할 수 있다. 반면에 순위합 검정은 2개의 표본으로부터 추출된 독립된 자료의 평균치를 비교, 검정하는데 이용된다. 순위합 검정과 유사한 검정방법에는 Mann-Whitney 검정이 있다. 2개 이상의 표본에 대한 평균의 비교에는 모수적 검정기법으로서 Tukey 검정법이나 Duncan 검정법 등을 이용할 수 있으며, 비모수적 기법으로는 Kruskal-Wallis 검정이나 Jonckheere-Terpstra 검정을 이용할 수 있다(Hollander and Wolfe, 1973). 2개 이상의 표본에 대한 검정법을 적용하면 표본간의 차이에 유의성 유무를 판단할 수 있다. 평균 수질 혹은 수질에 대한 유역특성의 영향을 τ 라고 할 때, Kruskal-Wallis 검정의 귀무가설과 대립가설은 다음과 같다.

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \ldots = \tau_i$
H_1 : Not all equal for $\tau_1, \tau_2, \tau_3 \cdots\cdots \tau_i$

Mann-Whitney 검정은 각각 다음과 같다.

$H_0 : \tau_1 = \tau_2$
$H_1 : \tau_1 \neq \tau_2$

수질 데이터에 대해서 소유역 간 차이를 명확하게 알기 위해서 순위합 검정을 유역 대 유역으로 비교하는 방법을 생각할 수 있으나, 이 경우에는 유의수준 α 의 관리가 어려워진다. 즉, α 가 급격히 커지기 때문에 비모수적 기법의 다중비교방법을 이용해야 한다.

본 연구에서는 소유역 간 항목별 수질농도의 차이에 대하여 Kruskal-Wallis 검정과 Mann-Whitney 검정결과를 중심으로 분석하였으며 검정결과를 바탕으로 항목별 수질농도와 유역특성과의 관계를 살펴보았다. 또한 대수변환을 거친 후 ANOVA 및 post hoc 검정으로서 Duncan의 다중비교검정을 수행한 결과를 간단히 비교하였다. 본 연구에서 이들 검정은 StatSoft사의 Statistica release 5.0을 이용하였다.

Table 6 Descriptive statistics for BOD

WS #	No. of samples	Mean	Median	Minimum	Maximum
WS 1	37	3.05	2.70	1.05	8.20
WS 2	37	2.40	2.30	0.51	4.60
WS 3	37	2.47	2.20	0.60	5.90
WS 4	36	3.54	3.10	0.60	11.70
WS 8	30	8.46	6.35	0.80	28.50
WS10	36	2.51	2.40	0.20	8.87
WS11	36	2.72	2.80	0.90	5.30
WS12	26	3.31	3.50	1.40	6.23
WS13	15	3.13	3.00	1.65	5.20

2. 항목별 평균농도의 비교 및 유역 특성과의 관계

가. BOD

소유역 WS#8에서의 평균 BOD 8.46 mg/L를 제외하고 나머지 소유역에서는 2.4 - 3.3 mg/L의 범위를 나타내고 있다(Table 6, Figure 3). 소유역 WS#8의 BOD범위는 0.8 - 28.5 mg/L로서 표준편차 또한 다른 유역에 비해서 매우 높았다.

BOD에 대해서 Kruskal-Wallis 검정결과 귀무가설이 기각되어 분석대상 9개 소유역 사이에 차이가 있는 것으로 나타났다($p=0.0129$). 소유역 간 비교를 하기 위해서 그룹으로 나누어 분석한 결과, WS#1, 2, 3의 3개 소유역과 WS#10, 11, 12, 13의 4개 소유역간에는 95% 수준에서 평균 BOD 농도 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 이들 7개 소유역에 대해서 비교한 결과 소유역 WS#12가 나머지 유역에 비해서 다른(높은) 것으로 나타났다.

소유역 간 일대일 비교를 위한 Mann-Whitney 검정결과는 Table 7에 나타난 바와 같다.(95% 신뢰수준). ◎표시는 비교 대상 두 유역간 평균 농도의 차이에 유의성이 있음을 나타낸다. 소유역

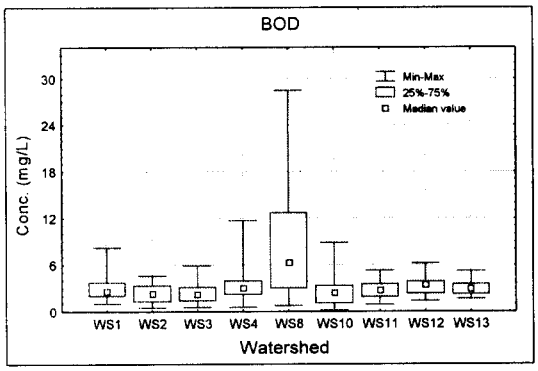


Fig. 3 Box-Whisker plot of BOD for watersheds

WS#4와 12는 소유역 WS#2, 3, 10에 비해서 BOD가 높고 WS#8보다는 낮으나 나머지 유역과는 다르지 않은 것으로 나타났다. 한편 소유역 WS#10은 WS#4, 8, 12에 비해서 낮으나 나머지 유역과는 다르지 않음을 알 수 있다.

Table 7 Significance of differences in average BOD concentration by Mann-Whitney test

	WS1	WS2	WS3	WS4	WS8	WS10	WS11	WS12	WS13
WS 1					◎				
WS 2				◎	◎			◎	
WS 3				◎	◎			◎	
WS 4					◎	◎			
WS 8						◎	◎	◎	◎
WS10								◎	
WS11									
WS12									
WS13									

◎: significantly different between two sub-watersheds($p<0.05$)

한편 대수변환을 통해서 ANOVA를 통해 유역간의 차이를 확인하고 ($F=9.214$), 사후검정으로서 Duncan 검정을 수행한 결과는 Table 8에 나타난 바와 같다. 또다른 사후검정으로서 이용된 Tukey 검정에서는 소유역 WS#8 만이 유일하게 나머지 유역과 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 8 Result of Duncan's multiple range test

	WS1	WS2	WS3	WS4	WS8	WS10	WS11	WS12	WS13
WS 1					◎	◎			
WS 2				◎	◎			◎	◎
WS 3					◎			◎	
WS 4					◎	◎			
WS 8						◎	◎	◎	◎
WS10								◎	◎
WS11									
WS12									
WS13									

◎: significantly different between two sub-watersheds($p<0.05$)

검정결과를 종합해서 요약하면, 소유역 WS#4, 8, 12는 다른 소유역에 비해 BOD 평균 농도가 상대적으로 높다고 할 수 있다. 소유역 WS#4, 8, 12에 대한 유역 특성을 살펴보면 인구밀도가 각각 1.21, 3.45, 1.26 인/ha로서 나머지 유역에 비해서 상대적으로 높으며, 농경지 비율은 각각 27.1, 34.8, 31.7%로서 나머지 유역에 비해 다소 높다. 이들 유역 WS#4, 8, 12에 대한 축산현황은 소 사육두수가 각각 715, 70, 870두이고 돼지의 사육두수는 각각 3879, 0, 6514이다. 이러한 유역현황을 BOD 평균 농도와의 관계를 살펴보면 유역의 인구밀도와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. 반면에 소유역 WS#4와 12의 경우 돼지의 사육두수가 상대적으로 많고 WS#8의 경우 극히 미미함을 알 수 있다. 따라서 유역 내 하천수 중의 BOD는 가축의 사육두수 보다는 인구밀도 혹은 생활하수와 관련이 있다고 판단할 수 있다. 물론 WS#8에 존재하는 산업체의 일일 용수량이 1,340m^3이므로 이로부터 발생되는 오염부하량을 생각할 수 있지만, 음료수 제조업체라는 것을 감안하면 대부분이 상품으로 출하된다는 것을 생각해야한다. 소유역 WS#4와 12의 BOD 평균 농도가 다른 유역에 비해서 상대적으로 높은 것도 유역 내 높은 인구밀도 내지는 생활하수에 의한 것으로 유추할 수 있다.

나. 총질소 (TN)

총질소의 평균 농도는 소유역 WS#8의 6.384 mg/L를 제외하면 모두 3.2 - 4.07 mg/L의 범위로서 대부분 유사하게 나타났다 (Table 9). Figure 4에서 보는 바와 같이 유역별 TN 농도의 범위가 대체로 유사하며 특히 median 값은 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. Kruskal-Wallis 검정 결과 TN의 경우 유역 간에 TN 평균은 서로 다르지 않은 것으로 나타났다 ($p=0.5708$). 소유역 WS#8의 평균 TN이 다른 유역의 평균에 비해 약 2배 정도 높음에도 불구하고 검정 결과, 다른 유역의 TN과 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 평균 TN이 최저인 WS#3과 WS#8 역시 다르지 않은 것으로 나타났다.

Kruskal-Wallis 검정결과 소유역 간 TN의 차이가 없는 것으로 나타났기 때문에 소유역 간 1:1 비교를 위한 Mann-Whitney 검정의 필요성은 없었다. 단지 median 값이 최저인 소유역 WS#3과 최고인 WS#10에 대해서 Mann-Whitney 검정결과 p 값이 0.053으로서 90% 신뢰수준에서는 차이가 있다고 할 수 있다. 대수변환 후 ANOVA 결과에서도 Kruskal-Wallis 검정결과와 마찬가지로 TN의 평균농도에 있어서 유역간 차이는 존재하지 않는 것으로 나타났다.

Table 9 Descriptive statistics of TN concentrations

WS#	No. of samples	Mean	Median	Minimum	Maximum
WS 1	37	3.404	2.326	0.084	15.790
WS 2	37	3.241	2.213	0.110	14.540
WS 3	37	2.934	2.110	0.060	14.650
WS 4	35	3.298	2.250	0.065	14.180
WS 8	31	6.384	2.460	0.094	51.990
WS10	37	4.066	2.972	0.047	26.870
WS11	36	3.676	2.625	0.026	16.686
WS12	26	3.201	2.357	0.029	15.880
WS13	16	3.897	2.553	0.097	16.285

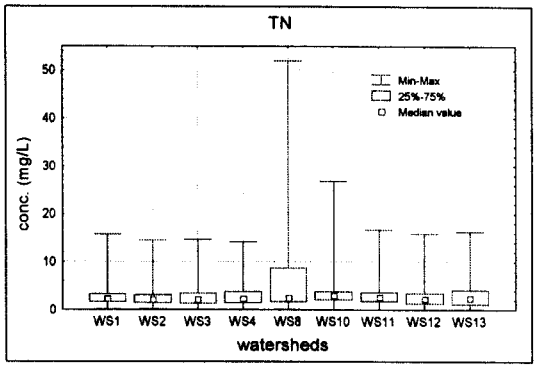


Fig. 4 Box-Whisker plots of TN concentrations for watersheds

다. 총인 (TP)

9개 소유역 전체에 대한 Kruskal-Wallis 검정 결과, 유역 간 평균 TP 농도의 차이가 존재하는 것으로 나타났다 ($p=0.0001$). WS#8과 WS#13의 평균 TP 농도는 각각 0.426, 0.197 mg/L로서 상대적으로 높았으며, WS#8은 나머지 유역에 비해 약 3배 가량 높음을 알 수 있다(Table 10). 소유역 WS#8과 13을 제외하고 Kruskal-Wallis 재검정한 결과에서는 유역간 TP 농도의 차이는 없는 것으로 나타났다. Figure 5에서 나타난 바와 같이 median 값 또한 WS#8과 13이 다른 유역에 비해서 다소 높게 위치하고 있음을 알 수 있다.

Table 10과 Mann-Whitney 검정결과(Table 11)를 살펴 보면 Kruskal-Wallis 검정 결과와 마찬가지로 WS#8의 TP 농도는 나머지 모든 유역에 비해서 높음을 알 수 있으며, WS#10은 WS#1, 4, 8, 13에 비해서 낮다는 것을 알 수 있다. WS#13은 0.197 mg/L의 농도를 가져 WS#8 유역을 제외한 나머지 유역에 비해서 높다고 추정할 수 있으나 Mann-Whitney 검정 결과, WS#13은 WS#1, 4, 12 보다는 높다고 말할 수 없다.

WS#8은 가장 높은 인구밀도를 갖기 때문에 BOD와 마찬가지로 TP 역시 생활하수로 인해 높게 나타났다고 판단된다. 한편 WS#13의 경우 WS#1, 4, 8을 제외한 나머지 유역에 비해서 높다. 소유역 WS#13은 인구밀도가 상대적으로 낮

으나 가축 사육두수와 농경지의 비율이 다소 높은 것이 특징이다. 그러나 WS#13에서 TP가 상대적으로 높은 원인을 가축의 사육두수와 농경지의 비율 때문이라고 단정하기는 곤란하다. 소와 돼지의 사육두수가 많은 WS#12와 WS#13의 경우 TP가 나머지 유역과 다르지 않기 때문이다.

ANOVA 결과 역시 Kruskal-Wallis 검정결과와 동일하게 나타났다. Ducan 검정에서는 WS#8과 WS#10이 나머지 유역과 다른 것으로 나타났으며, WS#13은 WS#3과 WS#11에 비해서 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, WS#8은 나머지

Table 10 Descriptive statistics of TP concentrations

WS#	No. of samples	Mean	Median	Minimum	Maximum
WS 1	36	0.132	0.09	0.002	0.560
WS 2	36	0.115	0.08	0.012	0.450
WS 3	36	0.123	0.06	0.007	0.540
WS 4	35	0.151	0.08	0.022	0.804
WS 8	30	0.426	0.36	0.068	2.608
WS10	36	0.103	0.05	0.003	0.612
WS11	34	0.133	0.08	0.018	0.470
WS12	26	0.170	0.09	0.020	0.950
WS13	16	0.197	0.16	0.045	0.480

Table 11 Significance of differences in average BOD concentration by Mann-Whitney test

	WS1	WS2	WS3	WS4	WS8	WS10	WS11	WS12	WS13
WS 1					◎	◎			
WS 2					◎				◎
WS 3					◎				◎
WS 4					◎	◎			
WS 8						◎	◎	◎	◎
WS10									◎
WS11									◎
WS12									
WS13									

◎:significantly different between the sub-watersheds($p<0.05$)

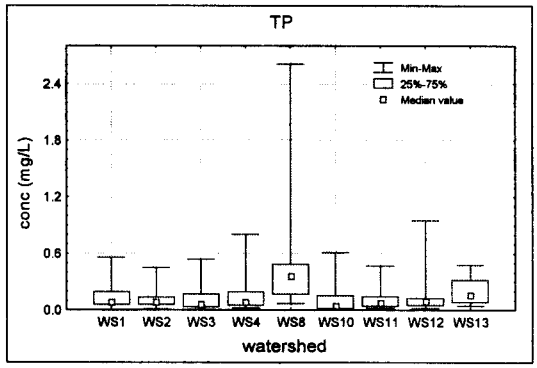


Fig. 5 Box-Whisker plots of TP concentrations for watersheds

모든 유역에 비해서 TP농도가 높고 WS#10은 다른 모든 유역에 비해서 TP농도가 낮다고 판단할 수 있다. Tukey 검정에서는 WS#13이 소유역 WS#10 한 개와 다른 것으로 나타났다.

라. 유역특성과 수질과의 관계

비모수(nonparametric) 검정방법인 Mann-Whitney 검정과 Kruskal-Wallis 검정 결과를 중심으로 BOD, TN, 그리고 TP에 대한 평균 농도의 차이에 유의성이 있는 유역 간 유역특성을 살펴본 결과, 뚜렷하게 확인할 수 있었던 사실은 BOD와 TP의 경우 인구밀도, 즉 생활하수와 밀접한 관련이 있다는 것이다. 유역 내 축산에 의한 수질에 대한 영향은 상대적으로 크지 않은 것으로 판단된다. 가축 사육두수가 가장 많은 WS#12에서 BOD가 다소 높다고 할 수 있으나 WS#8에 비해 낮으며 사육두수가 상대적으로 적은 소유역 WS#1과 WS#11과 차이가 없기 때문이다. 대부분의 축산농가에서 퇴비화를 통한 농지환원으로 축산분뇨를 처리하기 때문으로 판단되며, 유역 내 축산농가의 축산분뇨 처리조건에 따라서 영향을 받을 수 있겠지만 축산농가에 의한 수질 오염문제는 상대적으로 작다는 것을 의미한다.

본 연구에서 토지이용과 수질과의 관계는 살펴볼 수 없었다. 농경지의 면적비가 모든 소유역에서 21.1-34.8% 수준이고, 농경지의 비율이 가장 높은 소유역이 WS#8이었기 때문에 다른 요인들

과 중첩되어서 설명이 곤란하였다.

가축의 사육두수가 상대적으로 높은 소유역 WS#4, 12, 13의 경우 3가지 항목 모두 단순히 산술적으로 높다고 판단한다면 이들 유역의 주 오염원은 축산농가에 의한 것으로 추정할 수 있다. 그러나 검정결과에서 살펴보았듯이 이들 유역이 나머지 다른 유역에 비해 높다고 단정할 수 없다.

Ⅳ. 요약 및 결론

1996년 3월부터 2000년 8월까지 경기도 이천시 복하천 주미교를 말단으로하는 유역에서 얻어진 수질측정 자료 가운데 BOD, TN, TP를 대상으로 비모수 검정방법인 Kruskal-Wallis 검정방법과 Mann-Whitney 검정방법을 이용하여 유역특성과의 관계를 살펴보았다. 산술적인 평균값의 차이를 단순히 비교하고 유역특성과의 관계를 서술하는 경우, 오염원의 기여도를 설명하기 곤란하기 때문이다. 선정된 수질항목에 대해 상기 검정방법을 적용한 결과를 바탕으로 유역특성과의 관계를 살펴본 결과 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 하천 수질측정 데이터를 분석하는데 있어서는 자료의 정규분포 조건을 필요로 하지 않는 비모수 검정방법이 이용할 수 있으며, 이를 위해서 Kruskal-Wallis 검정방법과 Mann-Whitney 검정방법을 적용하였다. 이들 방법의 검정결과를 중심으로 대수변환 후 추가로 수행한 ANOVA와 사후검정을 통해서 소유역 간 평균 수질농도의 차이와 유역특성간의 관계를 설명할 수 있었다.

2. BOD의 경우 인구밀도가 높은 소유역 WS#8에서 가장 높았으며, 유역 내 가축 사육두수와의 관계는 명확하지 않았다. 이는 모든 유역의 생활하수가 처리되지 않고 방류되는 상태였고, 대부분의 축산농가에서 퇴비화를 통한 농지환원으로 축산분뇨를 처리하고 있었기 때문으로 판단된다.

3. TN의 경우 산술적으로 평균값의 차이가 보이나 Kruskal-Wallis 검정 결과 소유역 간의 차이에 유의성이 없는 것으로 나타났다.

4. TP는 소유역 WS#8과 WS#13이 나머지 대부분의 유역과 차이가 존재하는 것으로 나타났다. WS#8은 다른 소유역에 비해서 매우 높은 TP농도를 나타낸다고 인정할 수 있었다. WS#12는 유역 내 가축의 사육두수가 가장 많음에도 불구하고 나머지 유역과 차이가 없다는 것을 생각하면 WS#13의 높은 TP 농도의 원인이 축산 혹은 축산분뇨 때문이라고 단정하기는 곤란하다.

5. 가축의 사육두수가 상대적으로 높은 소유역 WS#4, 12, 13의 경우 3가지 항목 모두 단순히 산술적으로 높다고 판단한다면, 축산에 의한 수질오염으로 추정할 수 있으나, 검정결과를 살펴보면 이들 유역과 나머지 다른 유역과의 차이가 명확하지 않음을 알 수 있었다. 따라서 단순한 산술적 평균을 이용하여 축산 등과 같은 유역의 일부 특성을 오염원으로 규정하는 것은 지양되어야 한다고 판단된다.

"본 연구는 농림부의 첨단농업기술개발사업과제인 "농촌하천유역의 종합적 수질관리 시스템 개발"의 연구비 지원에 의해 수행되었음."

참 고 문 헌

1. 권순국, 정형근, 김진수, 차기철, 홍성구, 박병흔, 신동석, 2000, 농촌하천유역의 종합적 수질관리 시스템 개발, 농림부, pp. 462.
2. 임양재, 김윤동, 방제용, 1995, 경안천 유역의 토지이용에 따른 하천수질의 변화, 한국생태학회지 제18권 3호, pp. 341-352.
3. 이호준, 방제용, 김용옥, 1999, 토지이용이 이원천 유역의 하천수질에 미치는 영향, 한국생태학회지, 제22권 5호, pp. 235-240.
4. 박승우, 류순호, 강문성, 1997, 소유역의 토지이용에 따른 비점원오염 부하량, 한국농공학회지, 제39권 3호, pp.115-127.
5. Hollander, M. and D. A. Wolfe, 1973, Nonparametric statistical methods, John Wiley and Sons. Inc., New York.