

탐진강 수질측정 지점 간 동질성 검정을 위한 비모수적 자료 분석

김미아[†] · 이수웅^{*} · 이재관 · 이정섭^{**}

국립환경과학원 환경진단연구부

^{*}환경총량연구부

^{**}환경측정기준부

A Non-parametric Analysis of the Tam-Jin River : Data Homogeneity between Monitoring Stations

Mi-Ah Kim[†] · Su-Woong Lee^{*} · Jae-Kwan Lee · Jung-Sub Lee^{**}

Department of Environmental Diagnostics Research,

**Department of Environmental Cap System Research*

***Department of Environmental Measurement Standards, National Institute of Environmental Research*

(Received 2 August 2005, Accepted 11 October 2005)

Abstract

The Non-parametric Analysis is powerful in data test especially for the non-normality water quality data. The data at three monitoring stations of the Tam-Jin River were evaluated for their normality using Skewness, Q-Q plot and Shapiro-Willks tests. Various constituent of water quality data including temperature, pH, DO, SS, BOD, COD, TN and TP in the period of January 1994 to December 2004 were used as dataset.

Shapiro-Willks normality test was carried out for a test 5% significance level. Most water quality data except DO at monitoring stations 1 and 2 showed that data does not normally distributed. It is indicating that non-parametric method must be used for a water quality data.

Therefore, a homogeneity was conducted by Mann-Whitney U test ($p < 0.05$). Two stations were paired in three pairs of such stations. Differences between stations 1, 2 and stations 1, 3 for pH, BOD, COD, TN and TP were meaningful, but Tam-Jin 2 and 3 stations did not meaningful. In addition, a narrow gap of the water quality ranges is not a difference. Categories in which all three pairs of stations (1 and 2, 2 and 3, 1 and 3) in the Tam-Jin River showed difference in water quality were analyzed on TN and TP. The results of in this research suggest a right analysis in the homogeneity test of water quality data and a reasonable management of pollutant sources.

keywords : Non-parametric analysis, Mann-Whitney U test, Water quality comparison, Data normality

1. 서론

국가적인 수질개선 대책의 추진 결과에 따라 각 수계의 수질 측정지점별 장기간 관측된 수질자료의 축적으로 측정 데이터의 보다 안정된 통계적 분석을 실시할 수 있게 되었다. 그러나 “수질 관측지점 간 항목별 측정 데이터의 수치적 차별성이 지점별 수질차이가 있는 것으로 결론 지을 수 있는지의 문제와, 또한 하천의 상류에서 하류로 유하함에 따라 여러 지천이 합류하고 유기물질을 동반하게 되어 수질오염이 심해진다고 알려져 있으나(Barry et al., 1995), 이에 대한 수질자료의 분포차이와, 항목에 따른 지점 간 수질차이에 대한 해석이 산술적 수준에 의존하고 있는 현실이다. 그러므로 본 연구에서는 탐진강 수계의 3개 측정지점을 중심으로 측정지점에 따라 항목별로 수질자료에 통계

적 기법을 적용하여 동질성 검정을 실시함으로써 측정 데이터 간 수치적 차별성을 규명하여 수질해석 시 범할 수 있는 산술해석의 오류를 최소화 하는데 도움을 주고자 하였다.

일반적으로 장기간 관측된 수질 자료는 계절에 따른 변화가 심하고, 비 정규성, 유량과의 상관성, 결측 자료, 검출 한계이하의 자료 등의 특성(Hirsch et al., 1982, 1984; Lettnmaier, 1988; Montgomery et al., 1984; Van Belle et al., 1984)을 보이므로 분석이 난해하다. 즉, 수질 자료 대부분이 0값 부근에 많은 관측치를 갖고 0값에 하위 한계를 두는 경우가 많아 분석 능력에 따라 검출 한계를 갖게 되고 강우에 따라 수량이 변화하여 관측치 수에 관계없이 정규분포에서 크게 벗어난다(박 등, 1995). 이런 특징을 고려하여 수질자료의 분석은 정규분포의 가정 없이 비교가 가능해야하나, 여전히 모수적 통계검정인 모집단의 분포가 정규분포를 이루고 있다는 가정에 근거를 둔 t-검정과 회귀분

[†] To whom correspondence should be addressed.

miah00@me.go.kr

석법을 이용하는 경우가 많아 분석결과자료 해석 시 왜곡된 결과를 도출할 가능성이 높다. 이에 본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하고자 모집단의 정규성을 인정할 수 없을 때에는 모집단의 분포와 무관한 검사로서 비모수적 방법을 활용하여야 한다. 정규성 검정은 정규확률지(Normal Probability Plot), 왜도, 가설검증을 함께 실시한 후, 그 결과에 따라 분석 기법을 정하여 지점 간 수질차이가 유의한지를 평가함으로써 분석과정 및 결과해석에 대한 논리적 판단을 통하여 제반 오류를 개선시키고, 나아가 수질모델링 이용 시 보정 및 검증 결과 치를 시각적으로 표현함과 동시에 동질성 검사 방법을 함께 적용하여, 결과의 적합성 표현을 보다 합리적으로 도출하는데 활용될 수 있도록 하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 연구대상 지역 및 수질현황

탐진강은 전남 3대 하천의 하나로, 장흥군 유치면에서 압천천과 합류하고 장흥읍에서 금강천과 합류하여 강진만으로 흘러가는 하천이다.

탐진강은 동경 126°37'00"~126°59'01", 북위 34°12'35"~34°36'01"에 위치하고 있으며, 유로연장은 55.0 km이다. Fig. 1의 탐진강 측정지점은 환경부 물 환경정보시스템자료에서 1과 2의 지점간 거리는 약 9.4 km, 2와 3의 지점간 거리는 약 8.5 km이고 유역면적은 477.32 km², 연평균 강수량은 1,438 mm을 기록하고 있으며(김 등, 2003), 유역의 동쪽에는 섬진강, 북쪽 및 서쪽에는 영산강에 접하고 있다. 탐진강의 오염원 분포현황과 유역면적은 영산강물환경연구소(2004)를 참고하여 배수유역별로 Table 1에 나타내었다.

Table 1에서 전체적으로 전 배수구역의 인구 중 도시인구가 대부분을 차지하고 있으며, 가축은 가금류가 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 토지이용상태로는 임야로 이용되는 부분이 많았다. 또한 하류 만에는 양식에 의한 오염이

주요오염원으로 나타났다(김 등, 2003). 또한 환경기초시설에 의한 배출은 강진군, 영암군, 장흥군의 총 배출량은 71,041 m³/d이며, 대규모 시설을 제외하고 마을 하수도 배출량은 1,541 m³/d로 조사되었다.

유역별로 조사지점을 살펴보면 탐진강 1, 2지점은 유역 V, 3지점은 유역 VII에 해당하며, 수질측정지점은 배수유역별로 Fig. 1에 나타내었다. 탐진강 1지점은 전남도 장흥군 부산면 기동리(유양교), 탐진강 2지점은 장흥군 장흥읍 순지리(세월교), 탐진강 3지점은 강진군 군동면 석교리(석교교)에 위치하며, 모두 탐진강 수계 분류에 해당하고 영산강 유역환경청 조사기관으로 자료분석은 이들 지점의 수질측정망 측정값을 이용하였다. 자료는 1994년 1월부터 2004년 12월까지의 수온, pH, DO, BOD, COD, SS, TN, TP의 항목으로 구분하여 분석하였다.

Fig. 2에서 탐진강 각 지점의 10여 년간 수질분포를 보기 위해 각 항목별로(수온, pH, DO, BOD, COD, SS, TN, TP) box-plot을 이용하여 표현하였고 그에 대한 통계량을 Table 2에 나타내었다.

2.2. 분석방법

통계분석은 SPSS 11.0 프로그램을 이용하여 국립환경과

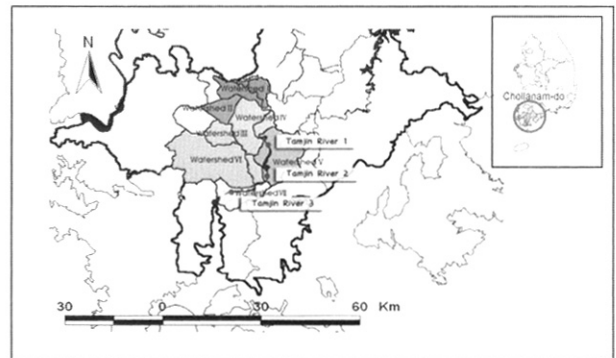


Fig. 1. The Tam-Jin River basin.

Table 1. Primary pollutant sources and watersheds area in the Tam-Jin River basin

Tam-Jin River basin		Watersheds							Total
		I	II	III	IV	V	VI	VII	
Population (person)	Urban	733	1,477	806	1,210	1,121	1,093	1,434	7,874
	Rural	-	-	-	316	-	-	-	316
Livestock (head)	Cattle	1,869	1,432	2,018	2,156	3,123	8,237	1,993	20,828
	Milk cow	262	139	47	75	108	200	50	881
	Pig	2,939	1,791	810	1,698	2,460	3,547	898	14,143
	Poultry	159,395	102,882	9,662	113,255	164,097	69,230	21,640	640,161
Land uses (km ²)	Farm	1.33	1.38	0.66	2.43	5.21	9.97	2.09	23.70
	Rice field	2.78	1.98	4.44	4.84	17.95	32.62	8.29	72.9
	Forest	45.86	26.07	21.93	51.67	55.31	89.66	23.84	314.34
	Bare field	0.28	0.18	0.37	0.55	2.73	2.93	0.75	7.79
	Stock farm	0.51	1.49	0.05	0.06	0.40	1.17	0.11	3.79
	Others	2.14	10.81	8.69	3.09	9.16	18.10	3.42	55.41
	Industrial wastewater(m ³ /d)	-	-	-	-	99	6.31	-	105.3
Area(km ²)		52.91	41.91	36.14	62.64	90.76	154.45	38.51	477.32

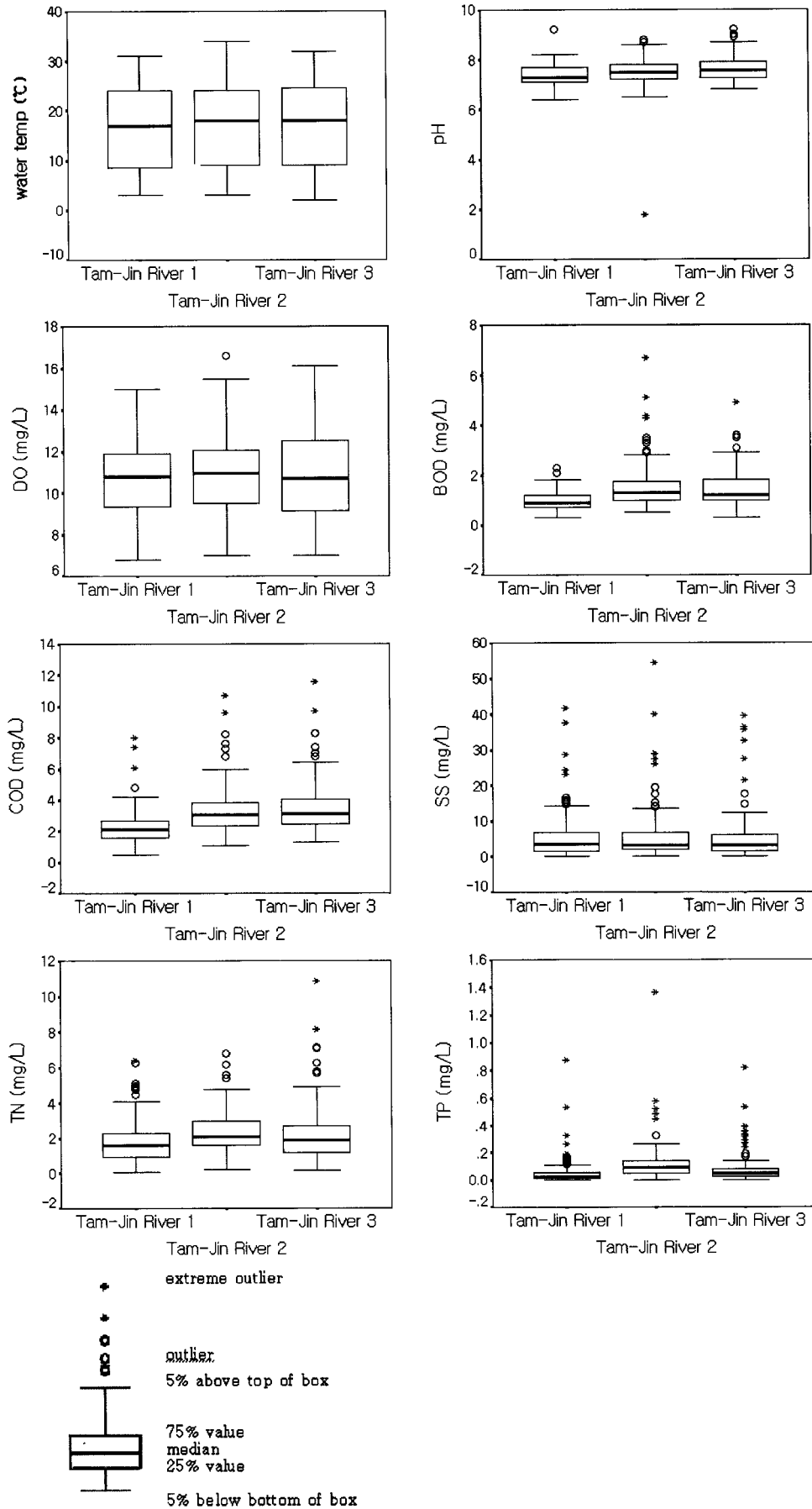


Fig. 2. Box-plot of Tam-Jin River data.

Table 2. Descriptive statistics of box-plot used in the Tam-Jin River data

Variables	Stations	n	Median	Percentiles		
				25	50	75
Water temp.	Tam-Jin 1	132	17.00	8.25	17.00	24.00
	Tam-Jin 2	132	18.00	9.00	18.00	24.00
	Tam-Jin 3	132	18.00	9.00	18.00	24.75
pH	Tam-Jin 1	132	7.30	7.10	7.30	7.70
	Tam-Jin 2	132	7.50	7.20	7.50	7.80
	Tam-Jin 3	132	7.55	7.23	7.55	7.90
DO	Tam-Jin 1	132	10.80	9.33	10.80	11.90
	Tam-Jin 2	132	10.95	9.50	10.95	12.08
	Tam-Jin 3	132	10.70	9.13	10.70	12.50
BOD	Tam-Jin 1	132	0.90	0.70	0.90	1.20
	Tam-Jin 2	132	1.30	1.00	1.30	1.78
	Tam-Jin 3	132	1.20	1.00	1.20	1.80
COD	Tam-Jin 1	132	2.10	1.60	2.10	2.70
	Tam-Jin 2	132	3.05	2.33	3.05	3.88
	Tam-Jin 3	132	3.10	2.42	3.10	4.07
SS	Tam-Jin 1	132	3.50	1.60	3.50	6.80
	Tam-Jin 2	132	3.20	2.00	3.20	6.80
	Tam-Jin 3	132	3.20	1.60	3.20	6.30
TN	Tam-Jin 1	132	1.63	0.92	1.63	2.30
	Tam-Jin 2	132	2.09	1.60	2.09	3.02
	Tam-Jin 3	132	1.92	1.19	1.92	2.72
TP	Tam-Jin 1	132	0.03	0.01	0.03	0.05
	Tam-Jin 2	132	0.09	0.05	0.09	0.14
	Tam-Jin 3	132	0.05	0.02	0.05	0.08

학원 물 환경정보시스템에서 탐진강 1, 2, 3수질 측정지점의 자료를 추출하여 정규성과 Mann-Whitney U test ($P < 0.05$)를 이용하여 각 지점 간 수질항목별로 동질성 검정을 분석하였다.

2.2.1. 정규성 검토

정규분포를 따르는가 그렇지 않은가의 문제는 수집된 자료의 특징을 평균과 표준편차 등으로 표현이 가능한 모수적 검정으로 오차 없이 나타낼 수 있는가 하는 문제이다. 즉, 표본이 모집단의 정규성을 정당화시킬 경우에 이용될 수 있는 통계적 방법이므로 먼저 자료에 대한 정규성 검토를 실행하여야 하며, 정규성의 근거가 없다고 판단될 경우에는 비모수 검정법을 이용해야 한다. 분포의 정규성에 검정하는 대표적인 대수적 통계방법으로 Kolmogorov-Smirnov 검정, Shapiro-Willks의 W검정(1965)과 그래프에 의하여 시각적으로 분포의 정규성을 검정하는 방법인 줄기와 잎(Stem-and-Leaf), 상자그림(Boxplot), 정규확률지(Normal Probability Plot) 등이 있다(이 등, 1997). 특히 대표적인 정규확률지 그래프로 분포에 필요한 절편과 기울기가 표본에서 추정되어 정해지는 P-P(Probability Plot)도와 분위수를 나타내는 그래프인 Q-Q도(Quantile-Quantile plot)로 나타낼 수 있으며, 데이터가 정규분포에 따른다면 기대되는 직선상에 위치한다. 이 그림들은 사람의 주관적인 기준에 따라 결론을 내려야 하는 경우가 많아 다른 방법과 병행해서 분석하는 것이 합리적이란 판단된다. 그러므로 본 연구의 정규성 검토 방법으로, 자료의 치우침 정도를 나타내는 왜도(Skew-

ness)와 Q-Q도, 가설검정으로 Shapiro-Willks 분석법을 이용하였다.

Shapiro-Willks 분석은 정규성을 검정하기 위한 일반적인 분석방법으로, 귀무가설(H_0)은 정규분포를 따른다고 하며, 대립가설(H_a)은 정규분포를 따르지 않는다고 한다. 분석결과 유의수준 5% 하에서 검정하였다.

2.2.2. 동질성 검정 방법

1) 맨 위트니(Mann-Whitney) U test

맨 위트니(Mann-Whitney) U test는 MW test 혹은, Mann-Whitney Wilcoxon test 라고도 한다. 두 집단의 중앙값(median), 중앙집중도(central tendency) 또는 평균(mean)의 분포 차이가 유의한지를 평가하기 위한 테스트이다. 모수적 방법인 t-test와 비교하여 수문학적 시계열 데이터로 비모수적으로 분포되었을 경우 더 적합한 분석법이다. 지난 30여년간 수질, 강수량, 하천의 흐름 등 수문학적 시계열 평균의 변화에 따라 통계적으로 유의한지를 평가하기 위해 광범위하게 이용되어 왔다(Hirsch et al., 1984).

또한 맨 위트니(Mann-Whitney) 검정은 표본이 가지고 있는 모든 정보를 사용하지 않기 때문에 모수적 검정인 t-검정에 비해 효율성이 크게 떨어질 것이라고 생각할 수 있으나, 실제로는 그렇지 않은 것으로 알려져 있다(배 등, 2003).

이 검정은 어떤 표본 A와 B의 관측값 $n_1 + n_2$ 개를 크기 순으로 배열한 뒤 표본 B의 개개의 관측값보다 작은 표본 A의 관측값의 개수를 더하는 방법으로 얻을 수 있다.

$$u_A = n_1 n_2 + n_1(n_1 + 1)/2 - r_A$$

$$u_B = n_1 n_2 + n_2(n_2 + 1)/2 - r_B$$

여기서 u_A, u_B 는 표본 A, B의 통계량, r_A 는 표본 A의 순위합이고 r_B 는 표본 B의 순위합이다.

가설은 다음과 같다.

H_0 = 두 모집단의 분포는 같다.

H_a = 두 모집단의 분포는 다르다.

인 양측검정의 경우, 실험에서 얻어진 $u = \min(u_A, u_B)$ 가 $P(U \leq u_0) = \alpha/2$ 을 만족하는 기각역에 대한 임계값 u_0 보다 작으면 H_0 를 기각한다. 또한 $n_1 \leq n_2 \leq 20$ 인 경우에는 다음과 같이 U의 분포를 정규분포로 근사화 하여 Z 검정을 실시한다.

H_0 하에서 통계량 U의 평균과 분산은 각각

$$E(U_i) = \frac{n_1 n_2}{2}, \quad Var(U_i) = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12},$$

$$i = 1, 2$$

따라서, 통계량

$$Z = \frac{U - E(U)}{\sqrt{Var(U)}} = \frac{U - (n_1 n_2 / 2)}{\sqrt{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1) / 12}}$$

3. 연구결과

3.1. 정규성 검정

본 연구의 정규성 검정으로 왜도(Skewness), Q-Q도, Shapiro-Willks 검정을 실시하였다.

0값 부근의 관측치가 많아 변수변환하지 않았으며, 총 샘플수가 지점 당 132개이고 결측치는 존재하지 않았으며, 이 중 extreme outliers와 outliers는 지점 당 최고 10개 내 외이며, 발생 원인을 정확히 알지 못하기 때문에 제거하지 않고 분석에 포함시켜 실행하였다.

Table 3에서와 같이 왜도가 0인 경우 정규분포의 형태를 갖추고 있으며, -값일 경우에는 오른쪽으로 치우쳐 있어 왼쪽으로 꼬리가 긴 경우이며, +값인 경우에는 왼쪽으로 치우친 형태로 오른쪽으로 꼬리가 긴 분포 형태를 보이고 있다. 수온의 경우 탐진강 3개 지점 모두 오른쪽으로 약간 치우쳐 있는 형태이며, 탐진강 2지점의 pH 역시 오른쪽으로 치우쳐 있고 그 외 지점과 항목들 모두 +값을 나타내어 왼쪽으로 치우쳐 있어 정규분포의 형태를 보이고 있지 않았다. Shapiro-Willks 검정 결과 유의수준 5%하에서 DO 항목에서 탐진 1,2 지점을 제외한 3지점과 전 항목의 지점들이 모두 정규분포를 하고 있지 않는 것으로 분석되었다.

Fig. 3~5은 탐진강 지점별로 수온, pH, DO, BOD, COD, SS, TN, TP의 분포가 정규분포를 따르는지 확인하는 그림 Q-Q도이다. 측정된 항목들의 자료가 정규분포를 따른다면 자료들이 그림에 표시된 직선상에 분포되어야 한다. 그림에서 보듯이 DO가 다른 항목에 비해서 직선상에 가장 적합하게 분포되어 있어 정규분포를 따르는 것 같으나 거의 대부분의 항목의 값들은 추세에서 벗어나는 것을

Table 3. Results of Normality Test in the Tam-Jin River

Variables	Stations	Skewness	Shapiro-Willks(p<0.05)	
			p-values	H ₀
water temp.	Tam-Jin 1	-0.057	0.000	R
	Tam-Jin 2	-0.096	0.000	R
	Tam-Jin 3	-0.132	0.000	R
pH	Tam-Jin 1	0.649	0.001	R
	Tam-Jin 2	-4.203	0.000	R
	Tam-Jin 3	0.699	0.000	R
DO	Tam-Jin 1	0.132	0.254	A
	Tam-Jin 2	0.159	0.120	A
	Tam-Jin 3	0.282	0.032	R
BOD	Tam-Jin 1	1.014	0.000	R
	Tam-Jin 2	2.411	0.000	R
	Tam-Jin 3	1.826	0.000	R
COD	Tam-Jin 1	2.138	0.000	R
	Tam-Jin 2	1.907	0.000	R
	Tam-Jin 3	1.911	0.000	R
SS	Tam-Jin 1	2.821	0.000	R
	Tam-Jin 2	3.713	0.000	R
	Tam-Jin 3	3.290	0.000	R
TN	Tam-Jin 1	1.428	0.000	R
	Tam-Jin 2	1.148	0.000	R
	Tam-Jin 3	2.138	0.000	R
TP	Tam-Jin 1	5.756	0.000	R
	Tam-Jin 2	5.604	0.000	R
	Tam-Jin 3	4.225	0.000	R

R: reject H₀, A: accept H₀

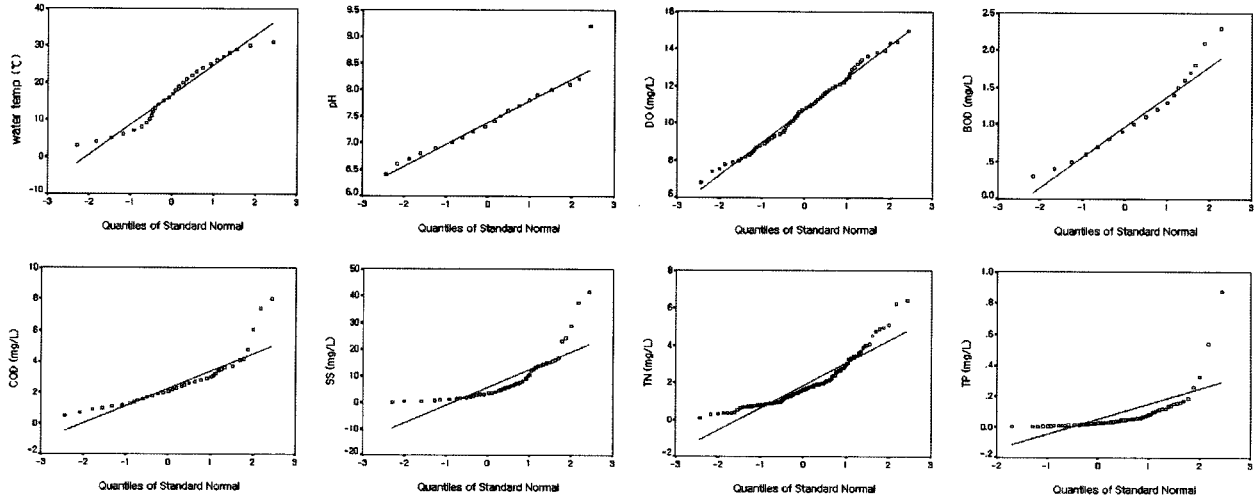


Fig. 3. Quantiles of Standard Normal of the Tam-Jin River 1 Station.

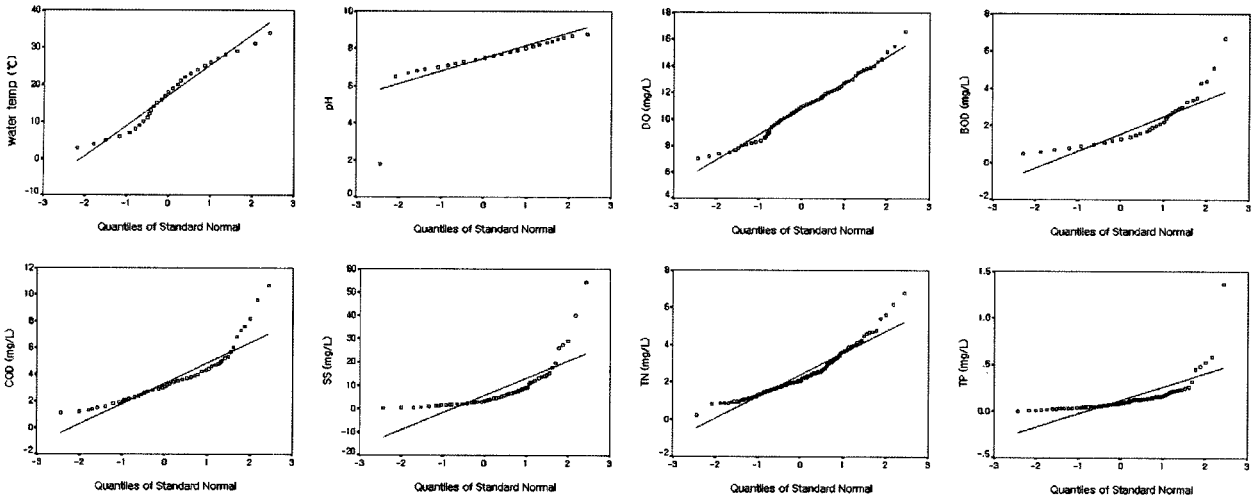


Fig. 4. Quantiles of Standard Normal of the Tam-Jin River 2 Station.

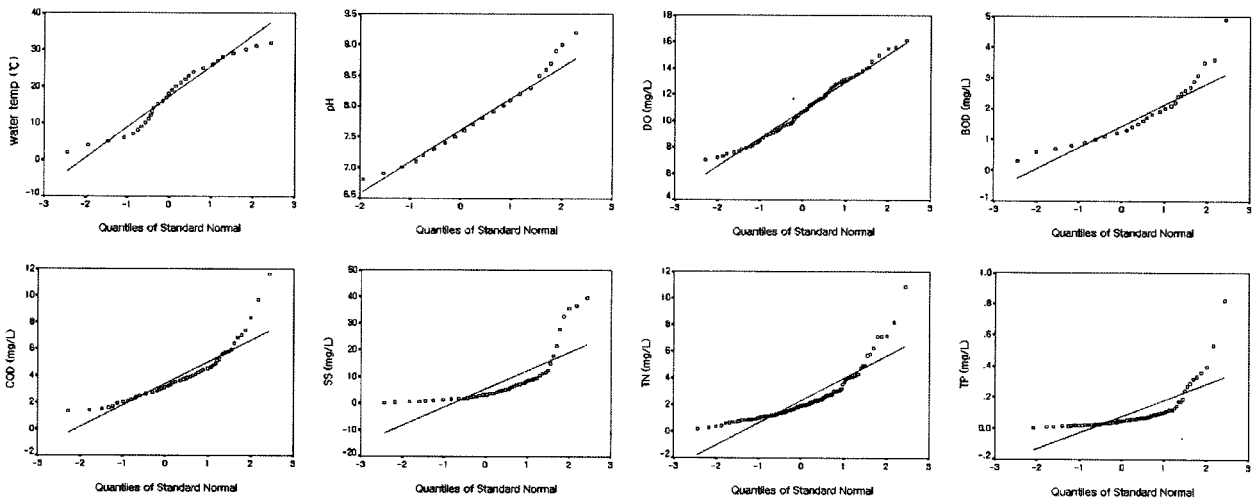


Fig. 5. Quantiles of Standard Normal of the Tam-Jin River 3 Station.

볼 수 있다. 다시 말해 TN, TP, SS, COD, BOD의 분포는 정규분포하지 않으며, 특히 TN, TP의 값은 대부분 0부근에 분포하고 있음을 알 수 있다.

3.2. 탐진강 지점 간의 수질에 대한 동질성 검정
 탐진강 수질 3개 측정지점 중 1과 2지점, 2와 3지점, 1과 3지점으로 구분하여 정규성 검정 결과에 따라 DO를 제외

한 수온, pH, BOD, COD, SS, TN, TP 에 대하여 각각 두 집단씩 구분하여 수질차이가 통계적으로 유의한지를 유의수준 5% 하에서 맨 윌트니(Mann-Whitney) U 검정을 이용하여 분석하였다.

Table 4는 분석결과로 탐진강 1, 2 두 지점의 경우 수온과 SS를 제외한 전 항목이 귀무가설을 기각하여 pH, BOD, COD, TN, TP는 지점 간 수질차이가 있으며, 특히 TN과 TP는 각 지점에 따라 각각의 중위수는 TN인 경우 지점에 따라 1.63, 2.09이며, TP는 0.03, 0.09이다. 귀무가설을 받아들인 수온과 SS는 지점 간 수질차이가 없었으며, 이때의 중위수는 수온은 17.00, 18.00이며, SS는 3.50, 3.20이었다. 탐진강 2, 3지점은 TN과 TP를 제외한 전 항목이 지점에 따라 귀무가설을 채택하여 각 지점 간 수질차이가 없었다. 두 지점의 중위수는 수온의 경우 18.00으로 동일하며, pH는 각각 7.50, 7.55, BOD 1.30, 1.20, COD는 3.05, 3.10, SS는 3.20으로 동일함을 알 수 있다. 탐진강 1, 3지점의 경우 1과 2지점과 동일하게 수온과 SS를 제외한 전 항목에 따라 두 지점 간 수질차이가 있다는 결과를 나타냈다. 수온의 중위수는 두 지점에 따라 17.00, 18.00, SS는 3.50, 3.20을 나타내어 귀무가설을 채택하여 1, 3지점에 따라 수질의 차이가 없음을 알 수 있었으며, 그 이외의 항목 중 pH는 7.30, 7.55, BOD는 0.90, 1.20, COD는 2.10, 3.10이고 TN의 경우 1.63, 1.92, TP는 0.03, 0.05로 분석되어 귀무가설을 기각하여 두 지점 간 각 항목에 대한 수질 차이가 있음을 알 수 있었다.

위의 분석결과 1과 2지점, 2와 3지점, 1과 3 지점 간 공통적으로 수온과 SS의 수질차이는 없는 것으로 나타났으며, 1과 2지점, 1과 3지점 각각 비교 시 pH, BOD, COD, TN, TP가 지점에 따라 수질 차이가 있다는 결과를 도출하였다.

4. 결론

본 연구에서는 탐진강 수계를 대상으로 정규성 검정과 동질성 검정을 실시하여 각 항목에 대하여 지점 간 수질차이가 있는지를 분석하였으며, 1994년 1월부터 2004년 12월 까지 10여 년간의 수온, pH, DO, SS, BOD, COD, TN, TP의 자료를 이용하여 정규성 검정을 실시한 후, 그 결과에 따라 분석방법을 고려하여 DO를 제외한 전 수질항목에 대

하여 비모수적 통계방법인 Mann-Whitney U 검정을($P < 0.05$) 이용하여 수질측정 3지점을 두 지점씩 구분하여 분석하였다.

- 1) 정규성 검정 결과 왜도(Skewness)는 수온의 경우 탐진강 3개 지점 모두 오른쪽으로 약간 치우쳐 있는 형태이며, 탐진강 2지점의 pH 역시 오른쪽으로 치우쳐 있고 그 외 지점의 항목들 모두 양의 값을 나타내며 왼쪽으로 치우쳐있다. Shapiro-Willks 검정 결과 유의수준 5% 하에서 DO 항목의 탐진 1, 2 지점을 제외한 3지점과 각 지점의 전 항목에서 모두 정규분포를 하고 있지 않은 것으로 나타났다.
- 2) 위의 동질성 분석결과, 유의수준 5%에서 모든 지점의 수온과 SS는 지점 간 수질차이는 없는 것으로 나타났으며, 1과 2지점, 1과 3지점을 각각 비교 시 pH, BOD, COD, TN, TP 모두 지점에 따른 수질 차이를 보였고 2와 3지점은 TN과 TP를 제외한 모든 항목에서 수질의 차이가 없었다. 또한 탐진강 3개 지점에 대하여 전 항목별 수질차이를 보인 것은 부영양화 오염물질인 TN과 TP로 나타났다. 결과적으로 서론에서 제시한 소폭의 농도차를 “수질 차이가 있다”라고 말할 수 없었으며, 수치적으로 동일한 차이가 있다 해도 항목에 따라 그 수치의 차이가 다를 수 있음을 본 분석을 통해 알 수 있었다. 또한 탐진강의 경우 거리 차에 따라 1과 3지점을 비교해 볼 때 수온의 분포는 각 지점에 관계없이 계절의 영향을 더 많이 받고 있으며, SS의 경우도 지점 간 거리 차보다는 배수구역 내에 위치해 있는 오염원의 물리적 특성에 영향을 받고 있음을 추측할 수 있었다. 전 지점 간 차이를 보인 부영양화 오염물질인 TN, TP는 지점에 따라 균일한 오염원 분포와 하류의 양식장에 의한 오염으로 인한 결과로 유추할 수 있다. 하지만 본 연구를 바탕으로 전체 수체에 대하여 동일하게 “수온과 SS가 지점 간 수질 차이가 없고 TN, TP는 수질차이가 있다.”라고 말할 수는 없다. 이는 오염원 분포현황과 거리 차이만으로는 수질변동 원인의 해석에 무리가 있으므로 수계 내·외부 환경의 보다 심도 있는 연계 조사가 필요하다고 판단된다.

위의 연구결과로 인하여 각 항목에 따른 지점 간 수질차이의 유무와 이에 대한 올바른 통계적 기초자료를 제공함으로써, 오염원과 수질상태에 대한 논리적인 판단 근거자

Table 4. Results of Mann-Whitney U Test ($p < 0.05$) in the Tam-Jin River

Variables	Median			H ₀	Median			H ₀	Median			H ₀
	Sta.1	Sta.2	p-value		Sta.2	Sta.3	p-value		Sta.1	Sta.3	p-value	
Water temp.	17.00	18.00	0.761	A	18.00	18.00	0.840	A	17.00	18.00	0.761	A
pH	7.30	7.50	0.010	R	7.50	7.55	0.309	A	7.30	7.55	0.000	R
BOD	0.90	1.30	0.000	R	1.30	1.20	0.592	A	0.90	1.20	0.000	R
COD	2.10	3.05	0.000	R	3.05	3.10	0.799	A	2.10	3.10	0.000	R
SS	3.50	3.20	0.786	A	3.20	3.20	0.321	A	3.50	3.20	0.548	A
TN	1.63	2.09	0.000	R	2.09	1.92	0.047	R	1.63	1.92	0.016	R
TP	0.03	0.09	0.000	R	0.09	0.05	0.000	R	0.03	0.05	0.000	R

R: reject H₀, A: accept H₀

료 이용할 수 있으며, 수질측정망에서 다량으로 생성된 데이터의 특성을 고려한 통계분석법의 기초를 제시했다 할 수 있다. 그 외에도 수질모델링 결과로 생성된 예측치와 실측치의 검증 시 본 연구방법을 활용하여 통계적으로 해석된 결과를 생성함으로써, 시각적인 표현에 따른 주관적인 판단 방법을 개선하여, 객관적인 결과자료를 도출함으로써 합리적인 수질관리의 토대를 마련하는데 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 김용구, 박성천, 표영평, 탐진강 유역의 BOD 오염 부하량 삭감을 산정, *한국물환경학회지*, **19**(4), pp. 393-400 (2003).
- 박석순, 이상희, 박배경, 이상호, 비모수 통계방법을 이용한 남·북한강 지천의 수질비교, *한국육수학회지*, **28**(3), pp. 299-307 (1995).
- 배도선, 이낙영, 권혁무, 장중순, 차명수, 윤원영, 김명수, 이민구, *통계학 이론과 응용*, 청문각, pp. 665-666 (2003).
- 영산강물환경연구소, 탐진강수계 오염물질 배출원 및 유출 특성 조사(1), 국립환경연구원보, NIER No.2004-33-739 (2004).
- 이재영, 이성원, 특정분포에 따른 확률 Plot들의 정규성과 Bimodality 비교, *한국통계학회논문집*, **4**(1), pp. 243-254 (1997).
- 환경부 물 환경정보시스템, <http://water.nier.go.kr/weis/> (accessed June, 2005).
- Barry, L. J., Richardson, W. B. and Naimo, T. J., Past, Present and Future Concepts in Large River Ecology, *Bioscience*, **45**, pp. 134-152 (1995).
- Hirsch, R. M., Slack, J. R. and Smith, R. A., Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data, *Water Resources Research*, **18**(1), pp. 107-121 (1982).
- Hirsch, R. M. and Slack, J. R., A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data with Serial Dependence, *Water Resources Research*, **20**(6), pp. 727-732 (1984).
- Lettenmaier, D. P., Multivariate Nonparametric Test for Trend, *Water Resources Bulletin*, **24**(3), pp. 505-512 (1988).
- Montgomery, R. H. and Reckhow, K. H., Techniques for Detecting Trends in Lake Water Quality, *Water Resources Bulletin*, **20**(1), pp. 45-52 (1984).
- Shapiro, S. S. and Wilk, M. B., An Analysis-of-variance Test for Normality (complete sample), *Biometrika*, **52**, pp. 591-611 (1965).
- Van Belle, G. and Hughes, J. P., Nonparametric Tests for Trend in Water Quality; *Water Resources Research*, **20**(1), pp. 127-136 (1984).