

동진강 유역의 수질 경향 분석에 관한 연구

이 혜 원 · 박 석 순*

(이화여자대학교 공과대학 환경공학과)

Trend Analysis of Water Quality in Dongjin River Watershed. Lee, Hyewon and Seok Soon Park* (Department of Environmental Science and Engineering, College of Engineering, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea)

Spatial and temporal analysis of water quality was performed for eleven monitoring stations in Dongjin River watershed in order to determine the trends of monthly water quality. The monthly water quality data of biochemical oxygen demand (BOD), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) during 1995~2004, were analyzed utilizing Seasonal Mann-Kendall test, LOWESS and three-dimensional graphic approaches. The results indicated that BOD and TN concentrations had the downward trend, but TP showed the upward trend, especially in Gobucheon. This numerical and graphic analysis is the useful tool to analyze the long-term trend of water quality in a large river system.

Key words : Seasonal Mann-Kendall test, LOWESS, trend analysis, trend graph, Saemangeum, water quality

서 론

새만금 수역은 유역 환경 변화 및 새만금 방조제의 공사단계에 따라서 시·공간적 수리 및 수질 변화가 매우 심한 수체이며, 새만금 공사단계시와 향후 건설될 담수호의 수질에 대한 사회적 관심이 집중된 지역이다. 새만금 공사 진행 과정 및 담수호의 효과적인 수질 관리 정책 수립을 위해서는 새만금 수역의 수리적 특성과 이들 특성이 수질 변화에 미치는 영향에 대한 규명이 우선적으로 요구된다. 그러나 새만금 간척사업에 의한 향후 수질 변화 우려에 비하여 새만금 유역의 수질 변화에 대한 과학적이고 체계적인 연구는 미흡하다(김 등, 2007; 이와 박, 2008).

수질관리 정책의 효과적인 운영과 향후 수질관리 정책을 보완, 수정하기 위해서는 장기적인 수질 변화 경향 분

석을 정량적 및 정성적으로 실시하는 것이 중요하다(김 과 박, 2004; Bekele and McFarland, 2004). 자연 수계에서 관측되는 수질 자료는 계절 변이가 심하고 결측치가 존재하기 때문에 대상 자료의 통계적 특성을 파악하고 적절한 통계 기법을 적용하여 분석하고 해석하는 것이 중요하다(Hirsch and Slack, 1984; Montgomery and Reckhow, 1984; Lettenmaier, 1988; Zipper *et al.*, 2001). 우리나라 자연 수계에서 관측되는 수질 자료는 여름철 집중강우와 계절별 뚜렷한 온도 변화로 인하여 계절 변이가 심한 특성을 고려하여 본 연구에서는 계절적 변동 특성을 갖는 수질자료의 추이를 분석하기 위해 Hirsch *et al.* (1982)이 제안한 계절 맨-켄달 검정법(Seasonal Mann-Kendall Test)과 LOWESS (LOcally Weighted Scatter plot Smoother)을 적용하였다.

연구 대상 지역인 동진강 유역은 전형적인 농촌지역으로 산지와 농경지가 대부분을 차지하고 있다. 그러나 산

* Corresponding author: Tel: 02) 3277-3546, Fax: 02) 3277-3275, E-mail: ssp@ewha.ac.kr

업화가 진행되고 주택 공급이 증가되면서 논, 밭과 임야는 점차 감소하고 대지와 도로 등을 포함한 기타 면적은 증가하고 있으며, 상류 유역에 축산 단지가 많이 분포하고 있어 비점오염원의 유입이 많다(김과 김, 2002; 김 등, 2002). 기존 연구에 따르면 동진강 BOD는 평균 2.8 mg L^{-1} 로 만경강 평균 5.4 mg L^{-1} 보다 수질이 양호한 상태이며, 도시 생활하수 및 공장폐수 등의 영향보다 정읍천에서 유입되는 오염물질로 인한 영향이 큰 것으로 밝혀져 있다(Yun *et al.*, 2002; 이 등, 2004). 특히 동진강 유역에서는 2001년 새만금 정부대책수립시 상대적으로 수질이 양호한 동진수역을 먼저 개발하고 만경수역은 수질이 목표에 도달하였을 때 공사를 진행하는 “친환경적 순차 개발 계획”에 따라서 새만금 사업이 진행되고 있다. 또한 현재 환경기초시설이 열악한 동진강 수계에 수질개선 대책이 세워짐에 따라서 수질 개선 속도가 빨라질 것으로 예상하고 있다.

본 연구는 새만금 수역 수질에 영향을 미치는 동진강 유역의 수질 변화 경향을 파악하고자 한다. 이를 위하여 1995년부터 2004년까지 10년간의 시계열 수질자료에 계절 맨-켄달 검정법을 적용하여 정량적인 통계 수치를 제시하였다. 또한 LOWESS 경향 분석법을 적용하여 시·공간 경향 그래프를 통하여 정성적인 수질 경향을 표현하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구대상지역

새만금 수역에는 전라북도 부안군 변산면 대항리부터 고군산군도를 거쳐 군산시 비응도를 연결하는 방조제 33 km 축조를 통해 401 km^2 의 해수면을 토지 283 km^2 , 내부 담수호 118 km^2 로 조성하는 새만금 간척사업이 진행되고 있다. 새만금 유역은 만경강과 동진강 수계에 포함된 지역과 서해안 일부지역 및 새만금 간척개발지 등 크게 4개의 유역으로 구분된다. 새만금 유역의 전체 면적은 $3,319 \text{ km}^2$ 로서 만경강 수계가 $1,571 \text{ km}^2$, 동진강 수계가 $1,004 \text{ km}^2$ 로 전체 유역 면적의 77.5%를 차지한다. 새만금 유역 내 기상 관측은 전주, 군산, 정읍과 부안 4개 관측소에서 이루어지고 있으며, 1995년부터 2004년까지 연평균 강우량은 $1,323 \text{ mm}$ 이며, 1998년에 군산에서 $1,917 \text{ mm}$ 이상의 강우가 내렸다. 이 지역은 몬순 기후의 영향으로 연간 강우량 중 66.0%가 6월에서 9월 사이에 집중되며 8월에 평균 284.5 mm 의 최대 강우량을 보인다.

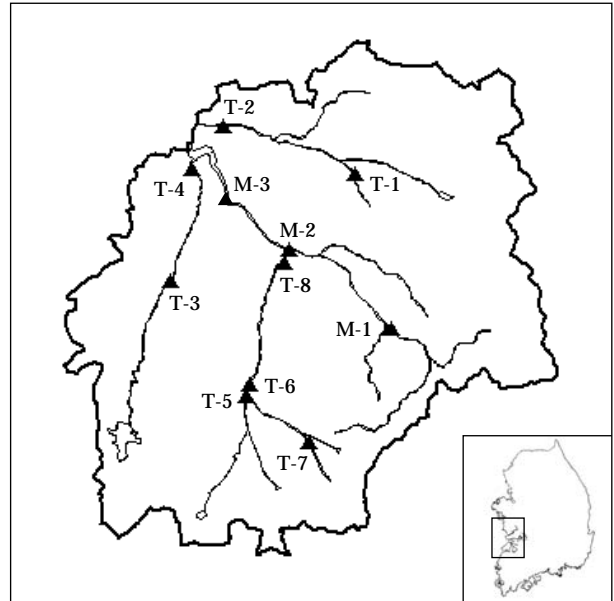


Fig. 1. The map showing the sampling locations (M1 : Dongjin River 1, M2 : Dongjin River 2, M3 : Dongjin River 3, T1 : Wonpyungcheon 1, T2 : Wonpyungcheon 2, T3 : Gobucheon 1, T4 : Gobucheon 2, T5 : Jungubcheon 1, T6 : Jungubcheon 2, T7 : Jungubcheon 3, T8 : Jungubcheon 4).

만경강과 동진강을 통해 유입되는 생활하수와 가축분뇨에 의해 발생하는 오염부하량은 새만금 방조제 공사 이후 새만금 담수호의 오염원으로 작용할 것이다. 동진강 유역 상류에는 축산 단지가 많이 분포하고 있어 비점오염원의 유입이 많아 새만금 연안 해역의 부영양화의 원인이 될 수 있다. 현재 새만금 수역은 2006년 4월 개방구간에 대한 마지막 물막이 공사가 완료되어 배수갑문 운영 계획에 따라 신시배수갑문과 가력배수갑문을 통한 해수유통단계가 유지되고 있다.

본 연구 대상 지역인 동진강 유역은 행정구역 상 전라북도 김제시, 정읍시, 부안군과 고창군 등 2개 시, 2개 군에 위치하고 있다. 동진강 유역의 대부분은 평탄하며 토지가 비옥하고 광활한 평야가 전개되어 곡창지대인 김제 평야를 이루고 있다. 하지만 자체 유역의 수자원만으로는 농업용수 공급을 충족할 수 없어서 유역변경방법을 통한 점진강 물을 끌어들이어 용수를 사용하고 있다. 동진강 유역의 인구는 1998년 24만여 명에서 2002년에 23만 명까지 감소하였으나 2004년 245,365명으로 다소 증가하는 경향을 보였다. 동진강은 전라북도 정읍군에서 발원하여 남서방향으로 유하하다가 칠보천과 합류한 후 북서방향으로 전환하여 정읍천, 고부천, 원평천 등의 지류와 합류

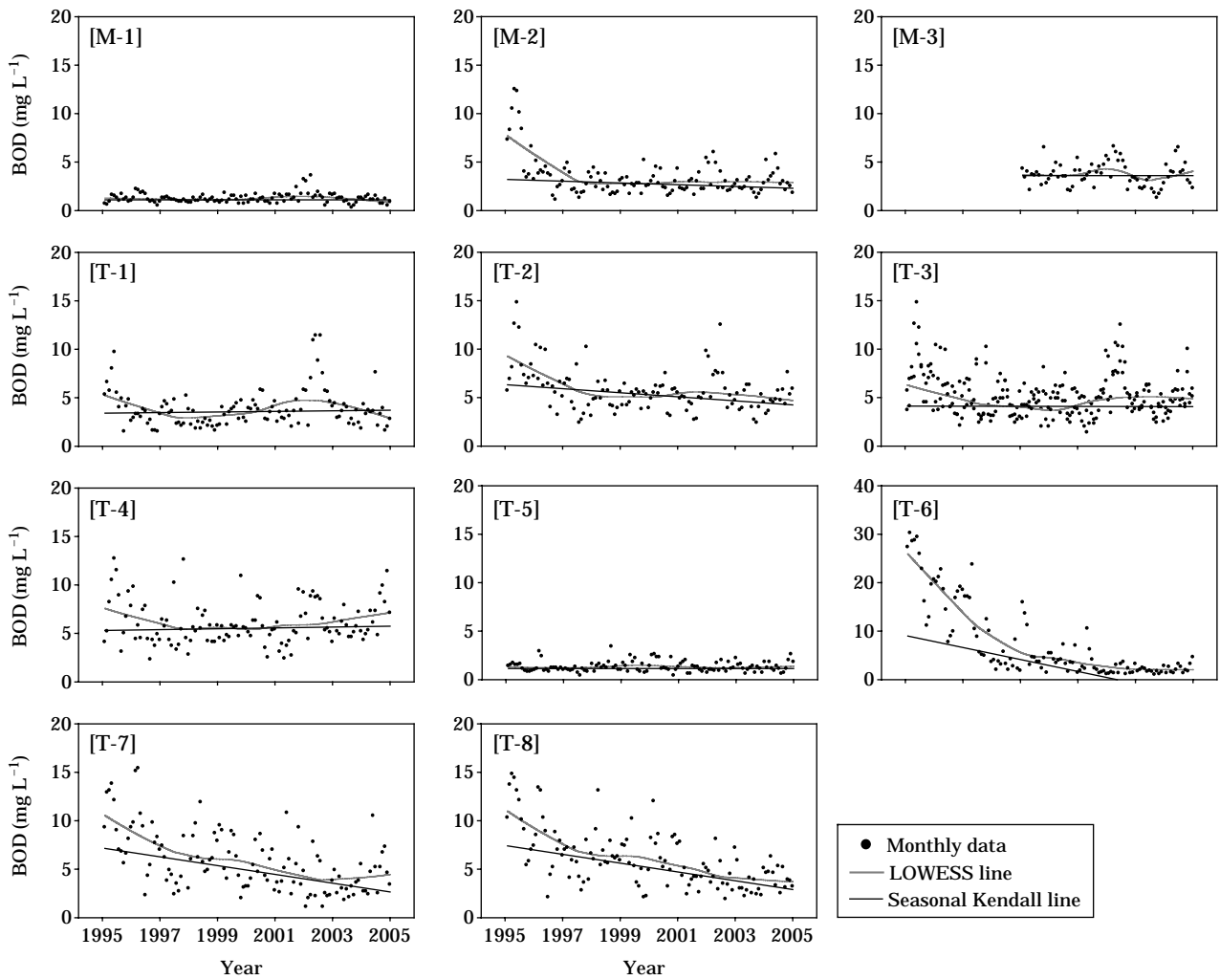


Fig. 2. Trend analysis of BOD in Dongjin River.

하여 서해로 유입되는 하천이다.

2. 통계분석

본 연구에서는 새만금 유역에 위치한 환경부 수질 측정망에서 동진강 본류 3지점(동진강 1, 동진강 2, 동진강 3)과 지류 8지점(정읍천 1, 정읍천 2, 정읍천 3, 정읍천 4, 원평천 1, 원평천 2, 고부천 1, 고부천 2)의 1995년부터 2004년까지 10년간 월별 관측된 수질 자료를 수집하였다. 관측된 항목 중 수질을 대표할 수 있는 BOD (Biochemical Oxygen Demand), TN (Total Nitrogen)과 TP (Total Phosphorus)를 대상으로 시간에 따른 변화 형태로 정리하였다. 본 연구에서 사용된 수질항목은 이 기간 동안 규칙적으로 측정이 이루어져 결측치가 거의 존재하지 않았

다. 단 동진강 3 지점은 1999년부터 수질 측정이 시작되었다. 통계분석은 SPSS 15.0 통계 패키지를 이용하여 실시하였다.

동진강 수계의 11개 측정지점들의 위치는 Fig. 1에 제시하였다. 동진강 본류인 동진강 1, 2, 3 지점이 북서에서 남동으로 위치해 있다. 동진강 유역의 지류는 동진강으로 유입되는 고부천과 정읍천, 그리고 새만금 하구역으로 직접 유입되는 원평천이 있다.

동진강의 수질 자료의 변화 경향을 정량적으로 분석하기 위하여 계절 맨-켄달 검정법을 적용하였다. 계절 맨-켄달 검정법은 사용자가 정의한 각 계절에 대한 측정치의 상대적인 크기를 독립적으로 계산하여, 각 결과들의 가중합을 통하여 켄달 통계 추정치 S를 도출하여 계절성을 배제하는 비모수 통계방법이다. 여기서 켄달 통계 추

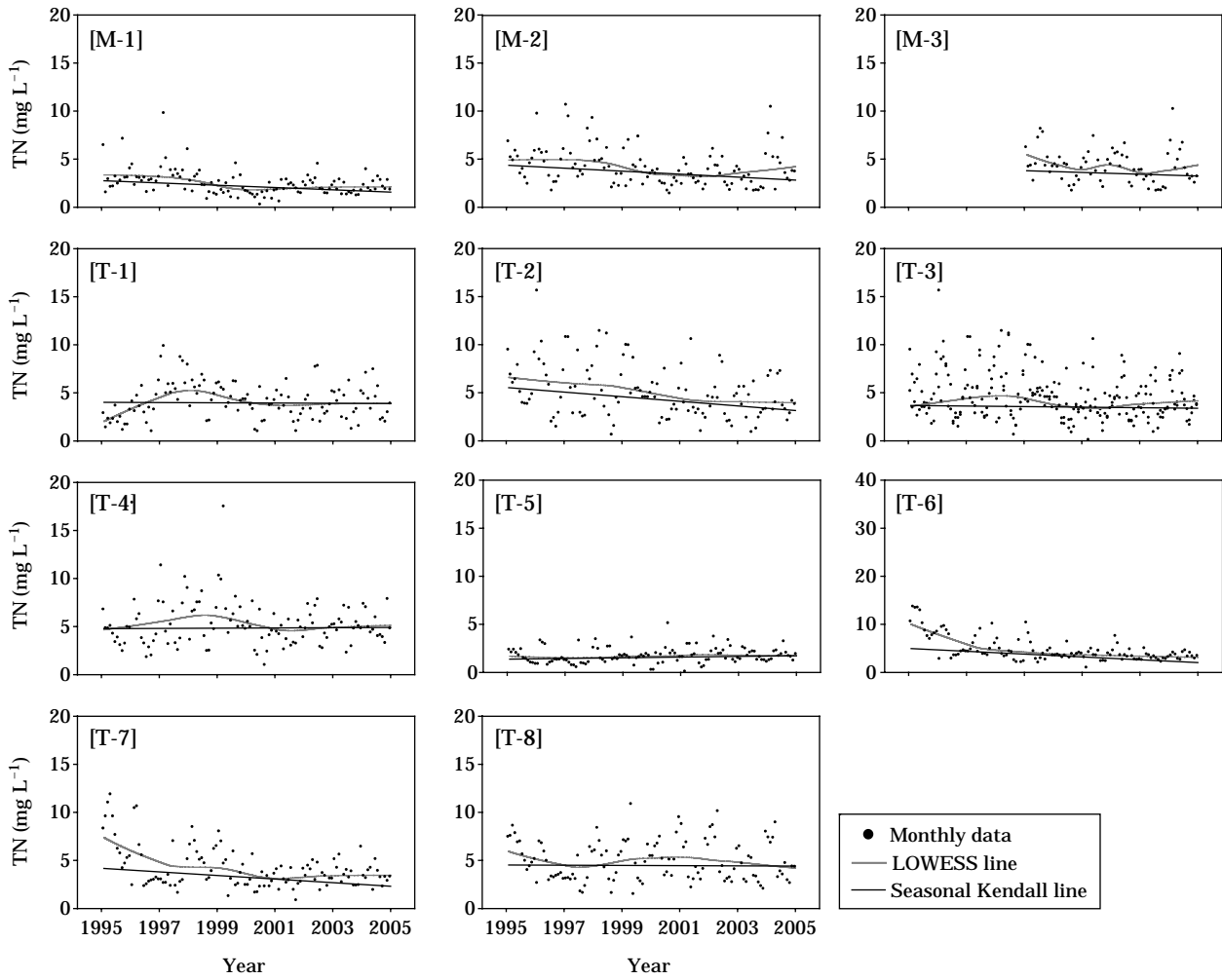


Fig. 3. Trend analysis of TN in Dongjin River.

정치 S_i 는 i 월에서의 관측치 간의 차이의 합으로 해당 월에서의 수질관측치를 $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ 으로 표현하면 다음 식 (1)과 같다.

$$S_j = \sum_{k=1}^{n_j-1} \sum_{j=k+1}^{n_j} \text{sgn}(x_{ij} - x_{ik}) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_{ij} - x_{ik}) &= 1 && \text{if } x_{ij} - x_{ik} > 0 \\ &= 0 && \text{if } x_{ij} - x_{ik} = 0 \\ &= -1 && \text{if } x_{ij} - x_{ik} < 0 \end{aligned}$$

여기서 $\text{sgn}(x_{ij} - x_{ik})$ 는 j 시점과 k 시점의 관측치 간의 차이를 1, 0, -1로 나타내는 지표(indicator)다. 이와 같이 계산된 각 월별 추정치를 모두 합산하여 전체 켄달 통계 추정치를 구한다. 또한 켄달 통계 추정치 S 에 대한 분산은 아래 식 (2)와 같이 정의되며, S_i 는 $n_i \rightarrow \infty$ 에 대하여

정규분포를 나타낸다.

$$\begin{aligned} \text{Var}[S] &= \sum_{i=1}^{12} \text{Var}[S_i] \\ &= \sum_{i=1}^{12} \frac{n_i(n_i-1)(2n_i+5) - \sum_{t_i} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (2) \end{aligned}$$

여기서 n 은 관찰치의 총 개수이고, q 는 자료에서 같은 수로 묶여져 있는 전체 개수이며, x_p 는 같은 수의 개수를 나타낸다.

또한 표준 정규화에 의해 다음 식 (3)에 제시한 멘-켄달 통계치 (Z)를 산정하고 이를 유의수준의 표준통계치 (p)와 비교하여 경향을 파악한다. 양측 검정을 통해 $p \geq \alpha$ 이면 경향성이 없다는 귀무가설을 수용하고 $p < \alpha$ 이면 귀무가설을 기각하고 경향성이 있다는 대립가설을 수용하며, α

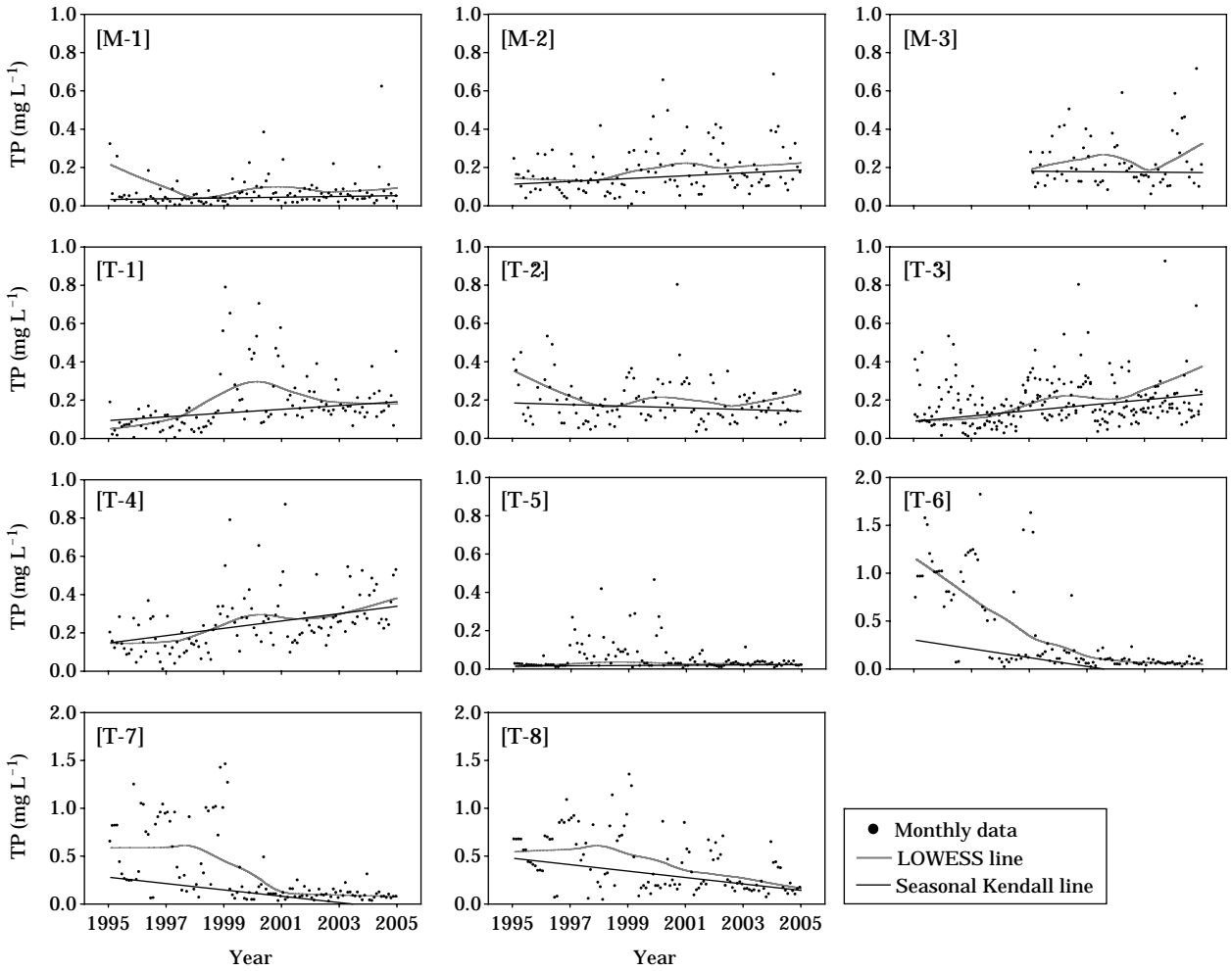


Fig. 4. Trend analysis of TP in Dongjin River.

는 검정에 대한 유의수준을 의미한다. 본 연구에서는 95% 신뢰구간으로 분석하였으며, 이때 양의 S 값은 시간에 따른 증가추이를, 음의 S 값은 감소추이를 의미하게 된다.

$$\begin{aligned}
 Z_c &= \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S > 0 \\
 &= 0, & S = 0 \\
 &= \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S < 0
 \end{aligned} \tag{3}$$

계절 켄달 기울기 통계량 (Seasonal Kendall slope estimator)은 계절 변화에 경향성의 정도를 평가하는 것으로, 선형 경향성의 기울기에 관한 통계량이다. 계절 켄달 기울기 통계량 β 는 식 (4)와 같이 i 계절 내에 n_i 개의 (X ,

Y) 자료쌍에 대해 $\Delta Y/\Delta X$ 를 구한 후, 각각의 계절에 대한 모든 가능한 기울기들의 중간값으로 계산된다. 이때 전체 계절 켄달 기울기 통계량에는 서로 다른 계절에 대해 계산된 값들은 포함되지 않게 된다. 여기서, $j < k$ 이고 $j=1, 2, 3, \dots, n_{i-1}, k=2, 3, 4, \dots, n_i$ 이다. S 통계량은 가능한 자료쌍의 기울기를 구했을 때 그 부호들의 합을 의미하고 β 는 가능한 자료쌍의 기울기들의 중간값이므로 계절 켄달 기울기 통계량 β 는 계절 검정 통계량 S 와 관련이 있다.

$$\beta = \text{median} \left(\frac{Y_{ik} - Y_{ij}}{X_{ik} - X_{ij}} \right) \tag{4}$$

또한 계절 맨-켄달 검정법은 연구 대상 기간 동안의 선형 경향을 기본 가정으로 하기 때문에 경향성이 변할 경우 이를 적절히 반영할 수 없다. 따라서 특정 기간 내

Table 1. Seasonal Mann-Kendall test results for the BOD data in Dongjin River during 1995~2004.

Water quality	Stream	Station	Range	Z value	p value	Trend	Slope (mg L ⁻¹ y ⁻¹)
BOD (mg L ⁻¹)	Main	Dongjingang 1	0.3~3.6	-0.08	0.94	NO	0.00
		Dongjingang 2	1.1~12.5	-2.39	0.02	DOWN	-0.10
		Dongjingang 3	1.3~6.6	-0.10	0.92	NO	0.00
	Tributary	Wonpyungcheon 1	1.5~11.4	0.67	0.50	NO	0.03
		Wonpyungcheon 2	2.4~14.8	-3.71	0.00	DOWN	-0.23
		Gobucheon 1	1.4~10.6	-0.16	0.87	NO	-0.01
		Gobucheon 2	2.3~12.7	0.66	0.51	NO	0.05
		Jungubcheon 1	0.4~3.4	0.55	0.58	NO	0.00
		Jungubcheon 2	1.0~30.2	-9.30	0.00	DOWN	-1.36
		Jungubcheon 3	1.1~15.4	-5.04	0.00	DOWN	-0.50
		Jungubcheon 4	1.9~14.8	-6.74	0.00	DOWN	-0.50

Table 2. Seasonal Mann-Kendall test results for the TN data in Dongjin River during 1995~2004.

Water quality	Stream	Station	Range	Z value	p value	Trend	Slope (mg L ⁻¹ y ⁻¹)
TN (mg L ⁻¹)	Main	Dongjingang 1	0.2~9.7	-3.21	0.00	DOWN	-0.13
		Dongjingang 2	1.4~10.6	-3.72	0.00	DOWN	-0.17
		Dongjingang 3	1.7~10.2	-0.92	0.36	NO	-0.11
	Tributary	Wonpyungcheon 1	0.9~9.8	-0.18	0.86	NO	-0.01
		Wonpyungcheon 2	0.6~15.6	-4.05	0.00	DOWN	-0.26
		Gobucheon 1	0.0~10.9	-0.85	0.40	NO	-0.03
		Gobucheon 2	0.9~17.8	0.29	0.77	NO	0.01
		Jungubcheon 1	0.0~5.1	1.83	0.07	NO	0.04
		Jungubcheon 2	0.9~13.6	-5.39	0.00	DOWN	-0.32
		Jungubcheon 3	0.8~11.8	-3.67	0.00	DOWN	-0.21
		Jungubcheon 4	1.4~10.8	-0.31	0.76	NO	-0.01

변화하는 경향성을 파악하고, 수질 자료의 변화 경향을 정성적으로 분석하기 위하여 LOWESS (LOcally WEighted Scatter plot Smoother) 통계분석 방법을 적용하고 Surfer 8.0을 이용하여 그 결과를 시각화하였다. LOWESS는 좌표(x_i, y_i)를 중심으로 $f=0.5$ 간격의 수직대 사이의 데이터의 가중값 함수를 적용하여 이동직선을 구하고 이로부터 y 의 평활값을 얻은 후 평활점을 직선으로 연결하는 방법이다 (Cleveland, 1979; Hirsch *et al.*, 1982; Cleveland and Devlin, 1988; Paul and Linfield, 1997; Clow and Mast, 1999; Richards and Baker, 2002).

결과 및 고찰

1. 계절 맨-켄달 통계분석

동진강 유역의 1995년부터 2004년까지 10년간의 수질 자료에 대한 정량적 경향 분석을 계절 맨-켄달 검정법을

적용하여 실시하였으며, 결과는 Tables 1~3에 제시하였다.

BOD 농도는 11개 지점 중 본류 동진강 2 지점을 포함한 5개 지점의 p 값이 0.02 이하로 대상 기간 동안 통계적으로 유의한 감소 경향을 보였다. 수질 측정지점 중 정읍천 유입 이전에 위치한 본류 동진강 2 지점의 BOD 농도는 1.1~12.5 mg L⁻¹ 범위이다. 이 지점의 BOD 농도는 연구 대상 기간인 1995년에 최고값을 나타낸 뒤 1998년까지 급격한 감소 경향을 보이고 있다. 1998년을 기준으로 전과 후의 BOD 농도 범위를 비교한 결과, 1995년부터 1997년까지 1.1~12.5 mg L⁻¹이고, 1998년부터 2004년까지 1.3~6.0 mg L⁻¹으로 그 차이를 알 수 있다. 1998년 이후에는 연도별 변화 경향은 보이지 않고 계절 변이에 따라서 BOD 농도가 변화하고 있다. 동진강 수계이지만 동진대교 하류부에서 합류하여 유출수가 바로 새만금 담수호 예정 수역으로 유입되는 원평천은 상류 지점인 원평천 1 지점에서는 유의한 경향이 없으나, 새만금 수역

Table 3. Seasonal Mann-Kendall test results for the TP data in Dongjin River during 1995~2004.

Water quality	Stream	Station	Range	Z value	p value	Trend	Slope (mg m ⁻³ y ⁻¹)
TP (mg m ⁻³)	Main	Dongjingang 1	0~2250	2.09	0.04	UP	0.002
		Dongjingang 2	4~682	3.38	0.00	UP	0.008
		Dongjingang 3	56~1041	-0.27	0.79	NO	-0.002
	Tributary	Wonpyungcheon 1	0~1032	5.45	0.00	UP	0.011
		Wonpyungcheon 2	3~1038	-1.35	0.18	NO	-0.005
		Gobucheon 1	6~1129	5.17	0.00	UP	0.015
		Gobucheon 2	6~866	5.60	0.00	UP	0.021
		Jungubcheon 1	0~168	2.17	0.03	UP	0.001
		Jungubcheon 2	12~1812	-7.78	0.00	DOWN	-0.051
		Jungubcheon 3	18~1452	-6.59	0.00	DOWN	-0.036
		Jungubcheon 4	36~2232	-4.70	0.00	DOWN	-0.037

으로 유입되는 원평천 2 지점의 BOD 농도는 2.4~14.8 mg L⁻¹ 범위로 0.23 mg L⁻¹ y⁻¹의 감소하는 경향이 있었다. 이것은 2000년 운영 개시된 김제하수종말처리장의 BOD 94.9%의 제거 효율의 영향 때문으로 판단된다. 동진강 2와 동진강 3 지점 사이로 유입되는 정읍천은 평균 0.4~30.2 mg L⁻¹의 범위를 나타낸다. 이는 정읍천을 통하여 유입되는 정읍시와 신태인읍의 도시생활하수와 공장폐수가 주요오염원으로 작용하였기 때문이다. 그러나 정읍천의 4개 측정지점 중 3개 지점에서 평균 0.76 mg L⁻¹ y⁻¹의 BOD 감소 경향을 보이고 있다. 특히 정읍천 2 지점은 LOWESS 경향 분석 결과 1995년부터 1999년까지 크게 감소하는 경향을 보이다가 그 이후에 감소 경향이 줄어들었으며 계절 맨-켄달 검정에 의하면 1.36 mg L⁻¹ y⁻¹의 큰 감소 경향을 보였다. 동진강 본류와 합류하기 직전 지점인 정읍천 4 지점의 경우에도 0.50 mg L⁻¹ y⁻¹의 감소 경향을 보이며 동진강 유역의 수질 개선 정책이 효과적으로 진행되었음을 시사한다. 이러한 수질 개선 효과는 향후 정읍시 환경사업소 등의 환경기초시설이 완비된 이후 더욱 커질 것으로 예상된다. 그러나 동진강의 최하류로 유입되는 고부천의 BOD 농도는 1.4~12.7 mg L⁻¹ 범위를 나타내어 농업용수 수질 기준치 8.0 mg L⁻¹보다 높기 때문에 농업용수로 사용하기 위해서는 좀 더 집중적인 수질관리 대책이 요구된다.

TN 농도는 11개 지점 중 5개 지점이 *p*값 0.00 이하로 감소하는 경향을 보였고, 6개 지점은 유의한 경향 변화가 없는 것으로 나타났다. 본류에서는 유의한 경향 변화가 없는 동진강 3 지점을 제외하고, 동진강 1과 2 지점의 TN 농도는 평균 0.15 mg L⁻¹ y⁻¹의 감소 경향을 보였다. 이것은 동진강 3 지점이 1999년 이후에 실측이 개시되었고, 동진강 1과 2 지점은 1995년부터 1998년까지 높은 수준

의 TN 농도를 보이다가 감소한 영향으로 판단된다. 원평천은 상류인 원평천 1 지점의 TN 농도의 증감은 없으나, 하류인 원평천 2 지점은 0.26 mg L⁻¹ y⁻¹의 높은 감소 경향을 보이며 수질도 계속 개선되는 추세를 보이고 있다. 이것은 원평천으로 방류되는 김제하수종말처리장의 하수의 TN 제거효율이 45%에 이르면서 동진강 유역의 오염처리가 효율적으로 이루어지고 있다는 것을 보여주고 있다. 고부천은 BOD 농도와 유사하게 고부천 1과 2 지점 모두에서 증감 경향이 없으며 2000년 이후 수질 변화가 크게 없이 높은 수준의 TN 농도를 유지하고 있다.

TP 농도는 11개 지점 중 9개 지점에서 유의한 변화를 보였으며, 그 중 6개 지점은 증가하는 경향을, 3개 지점은 감소하는 경향을 보였다. 본류인 동진강 1과 2 지점 각각 0.002 mg m⁻³ y⁻¹, 0.008 mg m⁻³ y⁻¹의 증가 경향을 보였으나, 동진강 3 지점에서는 통계적으로 유의한 경향이 없는 것으로 판단되었다. 이것은 동진강 2와 동진강 3 지점 사이에 특별한 유입지원은 없으나 하천의 유하에 따른 자정작용의 효과뿐만 아니라 차지단체와 주민의 하천 주변 정화 및 수질 오염방지책의 시행 결과로 동진강 본류로 유입하는 정읍천의 수질이 개선되었기 때문으로 판단된다. 이를 뒷받침하는 결과로 정읍천 2 지점에서는 0.051 mg m⁻³ y⁻¹의 TP 농도의 감소 경향으로 동진강 총 11개 지점에서 가장 높은 감소 경향을 보였고, 그 영향으로 정읍천 4 지점에서는 0.037 mg m⁻³ y⁻¹의 감소 경향을 보였다. 그러나 하구역으로 직접 유입되는 동진강의 수질은 고부천에서 0.015~0.021 mg m⁻³ y⁻¹의 증가 경향을 보인다. 이것은 인근 지역의 생활하수와 가축분뇨 등이 여과없이 고부천으로 유입되고, 고부천의 경사도가 완만하여 오염물질이 흘러가지 못하고 축적되기 때문으로 판단된다. TP 농도가 BOD와 TN 농도에 비하여 증가 경향을 보인 지

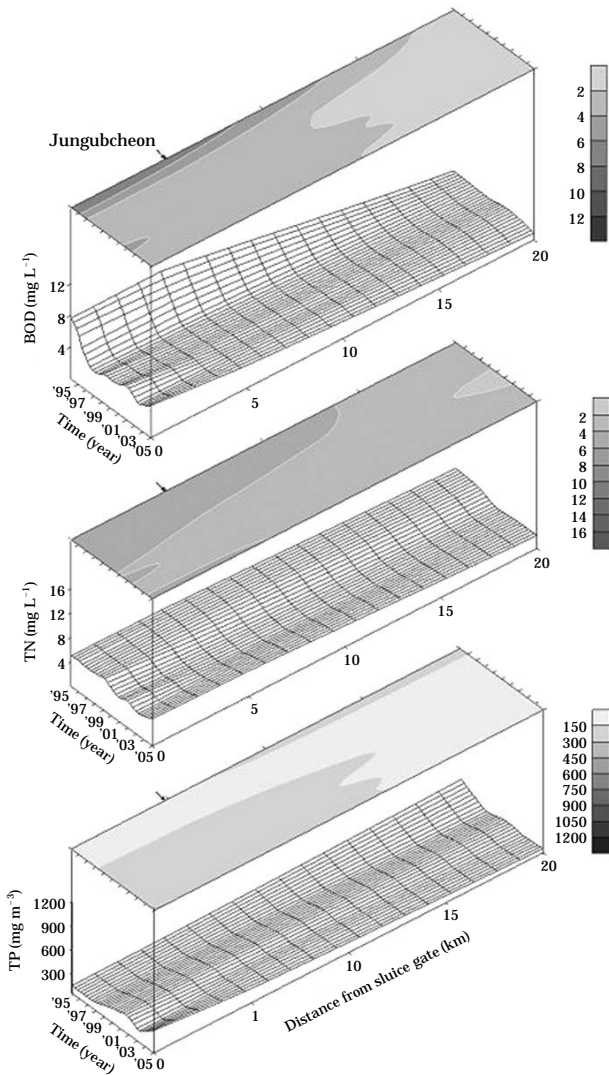


Fig. 5. Temporal-spatial contour map of water qualities in Dongjin River.

점이 많은 것은 계절 맨-켄달 검정법이 선형 경향 분석 기법으로서 단일한 경향 분석 결과를 산출하기 때문에 대상 기간 내 경향성이 변할 경우 이를 제대로 반영할 수 없기 때문이다. 원평천 1의 TP 농도는 2000년 이전까지 증가하다가 그 이후에 감소하는 경향을 보였다.

2. 시·공간적 그래프

지점별, 항목별 수질 경향을 제시한 Figs. 2~4에서는 계절 맨-켄달 검정 결과와 LOWESS 경향 분석 결과의 차이를 알 수 있다. 새만금 유역의 통계적 수치로 알아본 장기간의 수질 변화를 시각화하기 위하여 LOWESS 방법을 통하여 평활한 자료를 시·공간적 그래프로 Fig. 5

에 제시하였으며 동진강 유역에서 본류에 직접 유입되는 지류는 정읍천을 고려하였다.

동진강의 지류인 정읍천이 동진강 본류 수질에 미치는 영향은 크지 않았다. 이는 만경강 유역의 수질이 지류인 익산천, 삼천과 소양천의 영향으로 수질 변화가 크고 공간적 변화가 많은 특징과는 대조적이다(이와 박, 2008). 그러나 새만금 하구역에 직접 영향을 미치는 원평천과 고부천의 수질이 동진강 본류에 직접 영향을 주는 정읍천에 비하여 좋지 않고 감소 경향이 적거나 TP 농도의 경우 증가하는 경향을 보이기 때문에 지천에 대한 관심과 대책이 요구된다. 연구 대상 기간 동안 BOD와 TN 농도는 연도별 변화가 거의 없는 반면에 TP 농도는 1997년 이후 수질이 악화된 이후 현재까지 개선되지 않고 있다.

시·공간 그래프는 앞 절에서 분석한 계절-맨 켄달 검정법에 비하여 정량적인 변화 양상을 파악할 수 없으나 전체 대상지역의 크기에 상관없이 장기간 수질 데이터를 시각적으로 쉽게 파악할 수 있는 도구로 활용할 수 있다.

적 요

본 연구에서는 계절적 변화가 뚜렷한 장기간 수질 자료의 특성을 고려하여 경향 분석을 위하여 계절 맨-켄달 검정법, LOWESS와 시·공간 그래프를 활용하였다. 이 방법들을 통하여 기존의 수질 경향 분석의 한계점을 보완하여 정량적이고 정성적으로 수질 경향을 파악할 수 있는 방안을 제시 및 적용하였다.

연구 대상 지역인 새만금 유역의 동진강에서 측정된 1995년부터 2004년까지 10년간의 계절 맨-켄달 검정법의 결과를 살펴보면, BOD와 TN 농도는 감소하거나 경향이 없는 것으로 나타났다. 이것은 유역 내 하수종말처리장의 처리효율 증가와 수질 대책 등의 효과로 판단된다. 반면 TP 농도는 11개 지점 중에서 6개 지점에서 증가하는 경향을 보였다. 지류인 정읍천의 수질 농도는 모든 항목에서 개선되는 경향을 보이면서 하천의 유하에 따른 자정작용의 효과와 하천 주변정화 사업 등의 효과를 잘 보여주었다. 그러나 원평천과 고부천의 경우에는 연구 대상 기간 동안의 수질이 변화가 없거나 악화되는 현상을 보이기 때문에 향후 조성될 새만금 담수호에 악영향을 미칠 가능성이 있다. 이러한 경향은 시·공간 그래프에서도 동일하게 나타난다. 동진강 유역의 수질은 공간적으로 정읍천의 영향을 크게 받고 있지 않으며 전체적으로 동일한 경향을 보이고 있다. 또한 시간적으로는 연구 대

상 기간 동안 BOD와 TN 농도는 연도별 변화가 거의 없는 반면에 TP 농도는 1997년 이후 수질이 악화되어 현재까지 비슷한 수준으로 유지되고 있다.

본 연구에서 적용한 정량적, 정성적 기법은 전문가들의 정책 효과 여부 및 향후 정책 결정 등의 기본 자료로 활용될 수 있으며, 일반인들도 쉽게 수질 변화 정도를 이해할 수 있기 때문에 해당 유역 이해관계자들의 유역 관리 활동을 유도하는 데 과학적인 근거자료로도 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 연구는 학술진흥재단 BK21 사업 “지표수 환경관리 기술 인력양성팀” 사업의 일부 지원으로 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다

인 용 문 헌

- 김종구, 김양수. 2002. 새만금 사업지구의 연안해역에서 부영양화관리를 위한 생태계 모델의 적용-1. 해역의 수질 특성 및 저질의 용출 부하량 산정. *한국수산학회지* **35**(4): 348-355.
- 김종구, 김양수, 조은일. 2002. 새만금 사업지구의 연안해역에서 부영양화관리를 위한 생태계 모델의 적용-2. 오염부하의 적량적 관리. *한국수산학회지* **35**(4): 356-365.
- 김주화, 박석순. 2004. 비모수 통계기법을 이용한 낙동강 수계의 수질 장기 경향 분석. *한국물환경학회지* **20**(1): 63-71.
- 김현경, 이혜원, 최정현, 박석순. 2007. 해안 구조물 건설에 따른 조간대 및 퇴적물 변화에 관한 모델 연구. *대한환경공학학회지* **29**(10): 1106-1113.
- 이종식, 정구복, 김진호, 윤순강, 김원일, 신중도. 2004. 만경강 및 동진강 수계의 BOD에 의한 수질 평가. *한국환경농학회지* **23**(2): 81-84.
- 이혜원, 박석순. 2008. 비모수 통계기법을 이용한 만경강 유역의 장기간 수질 경향 분석. *한국물환경학회지* **24**(4): 480-487.
- Bekele, A. and A. McFarland. 2004. Regression-based flow adjustment procedures for trend analysis of water quality data. *Transactions of the ASABE* **47**(4): 1093-1104.
- Cleveland, W.S. 1979. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplot. *Journal of the American Statistical Association* **74**(3): 829-836.
- Cleveland, W.S. and S.J. Devlin. 1988. Locally weighted regression: an approach to regression analysis by local fitting. *Journal of the American Statistical Association* **83**: 596-610.
- Clow, D.W. and M.A. Mast. 1999. Long-term trends in stream water precipitation chemistry at five headwater basins in the northeastern United States. *Water Resources Research* **35**(2): 541-554.
- Hirsch, R.M., J.R. Slack and R.A. Smith. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* **18**: 107-121.
- Hirsch, R.M. and J.R. Slack. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research* **20**(6): 727-732.
- Lettenmaier, D.P. 1988. Multivariate nonparametric tests for trend in water quality. *Water Resources Bulletin* **24**(3): 505-512.
- Montgomery, R.H. and K.H. Reckhow. 1984. Techniques for detecting trends in lake water quality. *Water Resources Bulletin* **20**(1): 45-52.
- Paul, M.B. and C.B. Linfield. 1997. Statistics for environmental engineers. Lewis Publishers.
- Richards, R.P. and D.B. Baker. 2002. Trends in water quality in LEASEQ rivers and streams (Northwestern Ohio), 1975-1995. *Journal of Environmental Quality* **31**: 90-96.
- Yun, S.G., W.I. Kim, J.H. Kim, S.J. Kim, M.H. Koh and K.C. Eom. 2002. Evaluation of water quality characteristics on tributaries of Dongjin river watershed. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **21**(4): 234-247.
- Zipper, C., G. Holtzman, P. Darken, J. Gildea, P. Thomas and R. Stewart. 2002. Surface-water quality trend analysis: A multiple-site application. Water Resources Publications, Colorado.

(Manuscript received 4 December 2008,
Revision accepted 28 February 2009)