

비모수 통계기법을 이용한 낙동강 수계의 수질 장기 경향 분석

김주화 · 박석순[†]

이화여자대학교 공과대학 환경학과

Long-Term Trend Analyses of Water Qualities in Nakdong River Based on Non-Parametric Statistical Methods

Joo-Hwa Kim · Seok-Soon Park[†]

Department of Environmental Science and Engineering College of Engineering, Ewha Womans University

Abstract : The long-term trend analyses of water qualities were performed for 49 monitoring stations located in Nakdong River. Water quality parameters used in this study are the monthly data of BOD(Biological Oxygen Demand), TN(Total Nitrogen) and TP(Total Phosphorus) measured from 1990 to 1999. The long-term trends were analyzed by Seasonal Mann-Kendall Test and Locally WEighted Scatter plot Smoother(LOWESS). Nakdong river was divided into four subbasins, including upstream watershed, midstream watershed, western downstream watershed and eastern downstream watershed. The results of Seasonal Mann-Kendall Test indicated that there would be no trends of BOD in upstream watershed, western and eastern downstream watershed. Trends of BOD were downward in midstream watershed. For TN and TP, there were upward trends in all of watersheds. But LOWESS curves suggested that BOD, TN and TP concentrations generally increased between 1990 and 1996, then resumed decreasing.

keywords : Trend analysis, Water quality, Non-parametric statistics, Nakdong River, Mann-Kendall Test, LOWESS

1. 서 론

우리나라는 지난 90년대에 적극적인 수질개선 대책이 추진되어 왔으며, 일부 지역에서 이미 상당한 효과가 나타나고 있는 것으로 관측되고 있다. 이러한 효과는 장기간 관측된 수질에 대하여 통계적 경향분석을 실시함으로써 정량적으로 분석할 수 있다. 수계내 지역별 특성과 투자 형태에 따라 나타나는 개선효과를 비교하고, 지천과 본류, 상류와 하류 등 위치에 따른 수질경향을 파악할 수 있다. 관측 수질에 대한 경향 분석을 실시하기 위해서는 대상 수계의 수질이 갖는 통계적 특성을 파악하고 이에 적합한 방법을 선정하는 것이 필요하다.

일반적으로 자료의 시간적 경향을 분석하기 위해서는 모수 (Parametric) 또는 비모수(Non-Parametric) 통계방법이 사용된다. 자연 수계에서 관측된 수질자료의 경우 계절에 따른 변이가 심하고, 정규분포를 나타내지 않으며, 결측치가 많기 때문에 비모수 통계방법이 널리 사용되고 있다.^{5,6,11,13,14} 수질 자료가 갖는 이러한 특성에 적합한 방법들이 제안되고 발전되어 오고 있으며, 지금까지 가장 많이 활용되는 것은 계절 맨-켄달 검정법(Seasonal Mann-Kendall Test)이다.^{7,12} 계절 맨-켄달 검정법은 결측치가 많고 계절성이 분명한 자료에 적합하나, 선형 경향 분석기법으로 단일

한 경향 분석 결과를 산출하기 때문에 대상 기간내 경향성이 변할 경우 이를 제대로 반영할 수 없다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 방법이 LOWESS(LOcally WEighted Scatter plot Smoother) 경향분석법으로 기간내 변화하는 경향성을 반영할 수 있다.

본 연구는 지난 90년대 낙동강에서 월별 관측된 시계열 수질자료에 계절 맨-켄달법과 LOWESS 법을 함께 적용하였다. 본 연구를 통하여 적용된 두 방법의 적합성을 비교 검토하고, 낙동강에서 나타난 수질 개선효과를 정량적으로 파악하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상

낙동강은 해발 1,549m의 태백산에서 발원하여 남쪽으로 흐르다 안동호에 유입된 후 댐에서 유로를 변경하여 서쪽으로 흐르면서 차례로 반변천, 미천, 내성천과 합류하게 된다. 내성천 합류후 다시 남쪽으로 유하하면서 영강, 병성천, 위천, 감천, 백천, 금호강, 회천, 황강, 남강과 차례로 합류한 후 남서쪽으로 유로를 변경하면서 양산천과 합류하고 하구언을 통하여 남해에 유입된다. 낙동강 본류의 유로 연장은 509.7 km이며 현재 5개의 인공댐이 설치되어 있다. 상류의 산악지대에서는 하상경사가 급하며 하류 평야지대에서는 경사가 비교적 완만하다.

낙동강 수계의 유역면적은 23,817.3 km²로서 국토의 약

[†] To whom correspondence should be addressed.

ssp@ewha.ac.kr



Fig. 1. Division of subbasins in the Nakdong River systems.

24%를 차지하고 있으며 유역의 동서장은 150 km이고 남북장은 250 km에 해당한다. 낙동강의 유역을 행정구역별로 보면 대부분이 경북과 경남지역이고 대구시와 부산시 그리고 강원도 태백시의 일부와 전북 남원군 일부 그리고 전남 구례군 일부지역이 유역에 포함되어 있으며 6백 50여만명에 해당하는 인구가 거주하고 있다. 중하류 유역에 대규모 공업단지가 조성되어 있으며 구미, 대구 등에 인구 밀도가 높은 도시가 위치해 있다. 낙동강 수계는 Fig. 1에서 제시한 것처럼 유역의 지형과 산업 특성에 따라 상류, 중류, 하류서부와 하류동부 4개의 권역으로 크게 구분된다.¹⁵⁾

2.2. 경향분석

낙동강 수계에 위치한 환경부 수질 측정망에서 1990년부터 1999년까지 10년간 월별 관측된 수질 자료를 수집한 후, 수계를 대표할 수 있는 총 49개 지점(상류 18개, 중류 13개, 하류서부 11개, 하류동부 7개)이 선정하였다. 관측된 항목중 수질을 대표할 수 있는 BOD(Biological Oxygen Demand), TN(Total Nitrogen)과 TP(Total Phosphorus)를 대상으로 시계열 형태로 정리하였다. 본 연구에 사용된 3개의 수질항목은 이 기간동안 측정이 규칙적으로 이루어져 결측치가 거의 존재하지 않았다. 경향분석은 SPSS 통계 패키지를 통해 이루어졌으며 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 평활상수는 $f=0.5$ 로 수행하였다. 각 측정지점들에 대한 경향분석 결과는 공간적으로 상류, 중류, 하류서부와 하류동부 4개의 유역으로 구분하여 제시하였다. 본 연구에 사용된 계절 맨-켄달 검정법과 LOWESS 경향분석법의 이론적 배경은 다음과 같다.

2.2.1. 계절 맨-켄달 검정법

계절적 맨-켄달 검정법(Seasonal Mann-Kendall Test)은 관찰치들 사이의 상관 측정치를 통해 경향을 분석하는 비모수 통계방법(Non-parametric statistical method)이다. 이

방법은 각 계절에 대해 켄달 검정을 독립적으로 시행한 후, 각 결과들의 가중합을 구함으로써 하나의 경향 분석 결과를 도출해냄으로써 계절성을 배제하는 방법이다.^{1,5,6,8,9,10,12)}

켄달 통계 추정치 S 는 관찰치간의 차이의 합으로 계산되어지며, 각 수질인자들의 관찰치를 x_1, x_2, \dots, x_n 으로 표현한다면 다음 식 (1)과 같다.⁵⁾

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & \text{if } x_j - x_k > 0 \\ 0, & \text{if } x_j - x_k = 0 \\ -1, & \text{if } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$\text{sgn}(x_j - x_k)$ 는 j 시점과 k 시점의 관찰치간의 차이를 1, 0, -1로 나타내 주는 지시자(Indicator)이며, 이에 따른 $x_j - x_k$ 가 각각 양(positive), 영(zero), 음(negative)일 때, +1, 0, -1로 표현하여 이들의 합인 S 를 구한다. 또한, $\text{VAR}(S)$ 는 S 의 분산으로 다음 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (2)$$

여기서, n 는 관찰치의 총 갯수이고, q 는 자료에서 같은 수로 묶여져 있는 전체 갯수이며, t_p 는 같은 수의 갯수이다.

표준 정규화에 의해 다음 식 (3)에 제시한 맨-켄달 통계치(Z)를 산정하고 이를 유의수준의 표준 통계치(p)와 비교하여 경향을 파악한다.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}}, & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}}, & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

이 때 $p \geq \alpha$ 이면 경향성이 없다는 귀무가설을 수용하고 $p < \alpha$ 이면 귀무가설을 기각하고 경향성이 있다는 대립가설을 수용한다. α 는 검정에 대한 유의수준이다. 양의 S 값은 시간에 따른 증가추이를 의미하고 음의 S 값은 감소추이를 의미한다.

2.2.2. LOWESS 검정법

LOWESS(Locally WEighted Scatter plot Smoother)는 각 x 값에 대해 이동선(moving line)을 구하고 이로부터 y 의 평활값을 얻은 후 이 평활점들을 직선으로 연결한 것이다.^{2,3)} 이는 어떤 특정 모델 형태 즉, 1차 또는 2차 회귀모델에 대한 가정없이 자료들을 회귀모델에 맞추므로 유용한 경향 분석법이다.⁴⁾

이동선(\hat{x}_i, \hat{y}_i)를 계산하는 방법은 다음과 같다. $x = x_i$ 를 중심으로 일정 간격에 걸친 수직띠를 만든다. $n \times f$ 에 가

장 가까운 정수만큼의 데이터를 포함하도록 수직띠의 폭을 결정한다. f 는 $0 < f < 1$ 인 평활상수로서 흔히 $\frac{1}{3} < f < \frac{2}{5}$ 가 추천된다. 그 다음 가중값 함수(Weighted Function)을 정의하고 부근 가중값들(Neighborhood Weights)을 계산한다. 흔히 겹세제곱 가중값 함수(Tricube Weight Function)가 사용된다.

$$T(u) = (1 - |u|^3)^3, \quad |u| < 1$$

$$= 0, \quad |u| \geq 1 \tag{4}$$

따라서, x_i 로부터 수직띠까지의 최대거리를 d_i 라 하면 (x_k, y_k)의 가중값 w_k 는 다음 식 (5)와 같이 계산된다.

$$w_k = T\left(\frac{x_k - x_i}{d}\right) \tag{5}$$

수직띠안의 데이터 점들은 가중최소제곱법(Weighted Least Squares Method)을 써서 직선으로 적합시킨 다음 a, b를 이용하여 $x = x_i$ 에서의 y의 적합값 \hat{y} 을 계산한다.

$$\hat{y}_i = a + bx_i \tag{6}$$

3. 연구결과

3.1. 상류유역

상류유역의 18개 측정지점들의 위치는 Fig. 2에, 계절 맨-켄달 검정법과 LOWESS 경향 분석 기법을 적용한 결과는 유역내 측정지점들 중 본류와 지류에서 각각 한 지점씩을 선정하여 Fig. 3에 제시하였다. 계절 맨-켄달 검정법을 적용하여 10년간의 경향 분석을 수행한 결과 BOD 농도는 18개 지점 중 9개 지점이 경향성이 없는 것으로 나타나서 유의한 경향을 보인 지점과 유의하지 않은 경향을 보인 지점들의 수가 동일하였다. 유의한 경향을 나타낸 지점들의 경우 6개 지점들에서 감소하는 경향을 보여 감소하는 경향이 더 우세하게 나타났다. 증가 경향을 보인 세 지점은 영주서천, 용전천1, 반변천2 지점이었다. LOWESS 경향 분석 기법을 적용한 결과 BOD 농도는 90년부터 96년 이전까지 거의 변화가 없다가 그 이후에 감소하는 경향을 나타냈다. 상류유역은 전반적으로 계절 맨-켄달 검정법에서는 BOD 농도가 연구기간동안 경향성이 없는 것으로 나타났으나 LOWESS 경향 분석 기법을 적용한 결과 BOD 농도는 96년 이후에 서서히 감소하고 있는 것으로 나타났다. 계절 맨-켄달 검정법에서 증가 경향을 보인 세 지점은 영주서천, 용전천1, 반변천2 지점으로 93년부터 96년 이전까지 BOD 농도가 증가하는 경향을 보이다 그 이후에 감소하는 경향을 나타냈다. 따라서 이 세 지점이 계절 맨-켄달 검정법에서 증가 경향을 보인 것은 93년부터 96년까지의 BOD 농도 증가의 영향 때문으로 판단된다.



Fig. 2. Stations used in trend analysis of upstream watershed.

TN 농도는 계절 맨-켄달 검정법을 적용한 결과 18개 지점 모두에서 증가하는 경향이 나타났다. LOWESS 경향 분석 기법을 적용한 결과 TN은 90년부터 93년 사이에 약간 증가하다가 94년부터 96년 사이 급격히 증가하였고 그 이후 서서히 감소하는 경향을 보였다. 이를 통해 계절 맨-켄달 검정법에서 나타난 증가 경향은 90년부터 96년 사이의 증가 경향 때문이며 실제로 상류에서 총질소의 농도는 96년 이후 감소하는 것으로 나타났다.

TP 농도는 18개 지점 중 9개 지점이 경향성이 없는 것으로 나타나서 유의한 경향을 보인 지점과 유의하지 않은 경향을 보인 지점들의 수가 동일하였다. 유의한 경향을 나타낸 지점들의 경우, 7개 지점이 증가하는 경향을 보여 증가하는 경향이 우세하게 나타났다. 감소하는 경향을 나타낸 지점은 임하댐 유역에 존재하는 용전천 1과 반변천 2 지점이었다. LOWESS 경향 분석 기법을 적용한 결과 TP 농도는 97년 이전에는 거의 농도 변화가 없다가 97년 이후에 증가하는 양상을 나타냈다. 병성천과 영주서천 지점은 연구 기간동안 계속적으로 증가하는 경향을 보였다.

3.2. 중류유역

중류유역의 13개 측정지점들의 위치는 Fig. 4에 제시하였다. 계절 맨-켄달 검정법과 LOWESS 경향 분석 기법을 적용한 결과는 유역내 측정지점들 중 본류와 지류에서 각각 한 지점씩을 선정하여 Fig. 5에 제시하였다.

계절 맨-켄달 검정법을 적용하여 10년간의 경향 분석을 수행한 결과 BOD 농도는 13개 지점 중 9개 지점이 감소하는 경향을 보였으며 3개 지점이 경향성이 없는 것으로 나타나 중류유역에서 BOD 농도는 감소하고 있는 것으로 판단되었다. 증가하는 경향성을 보인 지점은 구미지점이고 금호강 유역에 존재하는 측정지점들과 금호강 합류 후 본류의 측정지점들은 뚜렷한 감소 경향을 나타냈다. LOWESS 경향 분석 기법을 적용한 결과 BOD 농도는 93년 이

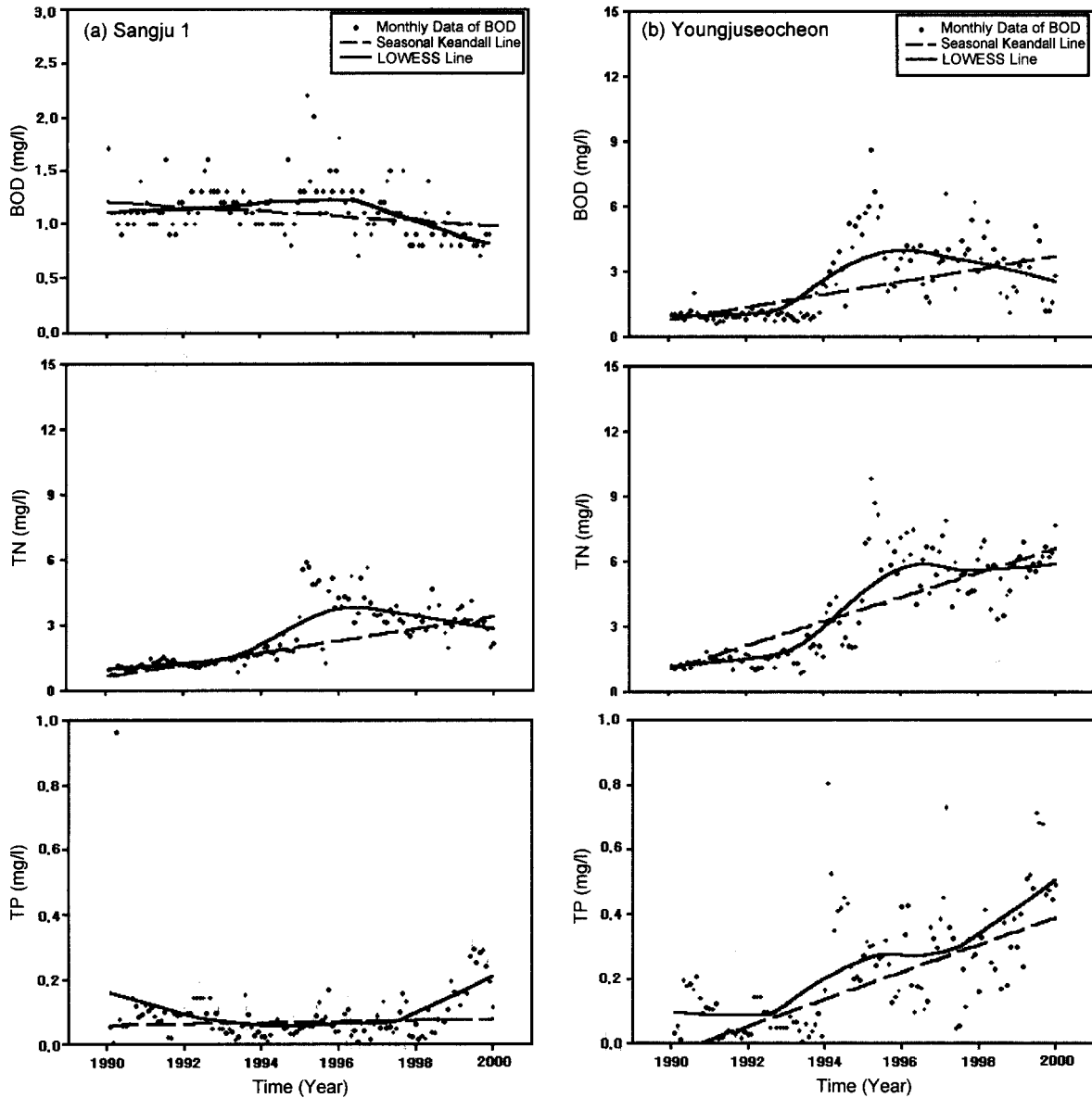


Fig. 3. Trends of BOD, TN and TP in upstream watershed.

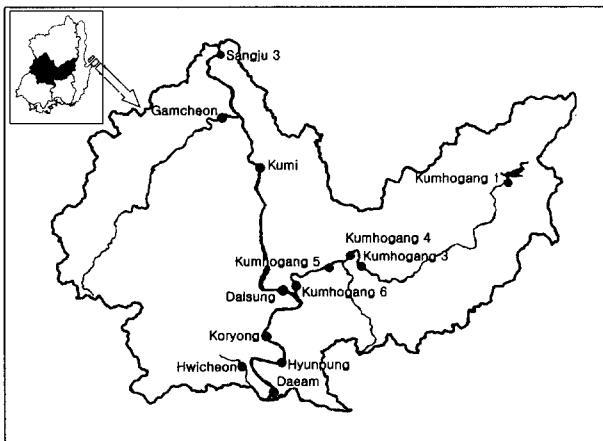


Fig. 4. Stations used in trend analysis of midstream watershed.

전까지 약간 감소하다가 93년부터 95년 사이 농도가 약간 증가하는 경향을 보였다. 그리고 그 이후 96년부터 급격히 감소하는 양상을 나타냈다. 따라서 연구기간동안 BOD 농도의 감소 경향은 96년 이후 BOD 농도의 급격한 감소 때문인 것으로 판단된다. 금호강의 경우 BOD 농도는 연구기간동안 계속적으로 감소하는 경향을 보였다.

TN 농도는 계절 맨-켄달 검정법을 적용한 결과 13개 지점 중 12개 지점에서 증가하는 경향을 보였고 1개 지점에서 경향성이 없는 것으로 나타나 증가 경향이 매우 우세하였다. 그러나 LOWESS 경향 분석 기법을 적용한 결과 TN 농도는 96년 이전까지 증가하다가 그 이후에 감소하는 경향을 나타내 실제로 종류에서 TN 농도는 96년 이후 감소하고 있는 것으로 나타났다. TN 농도가 계절 맨-켄달 검정법에서 증가 경향을 보인 것은 96년 이후 감소하는 경향이 96년 이전 증가하는 경향의 정도보다 작아서 90년대 후반

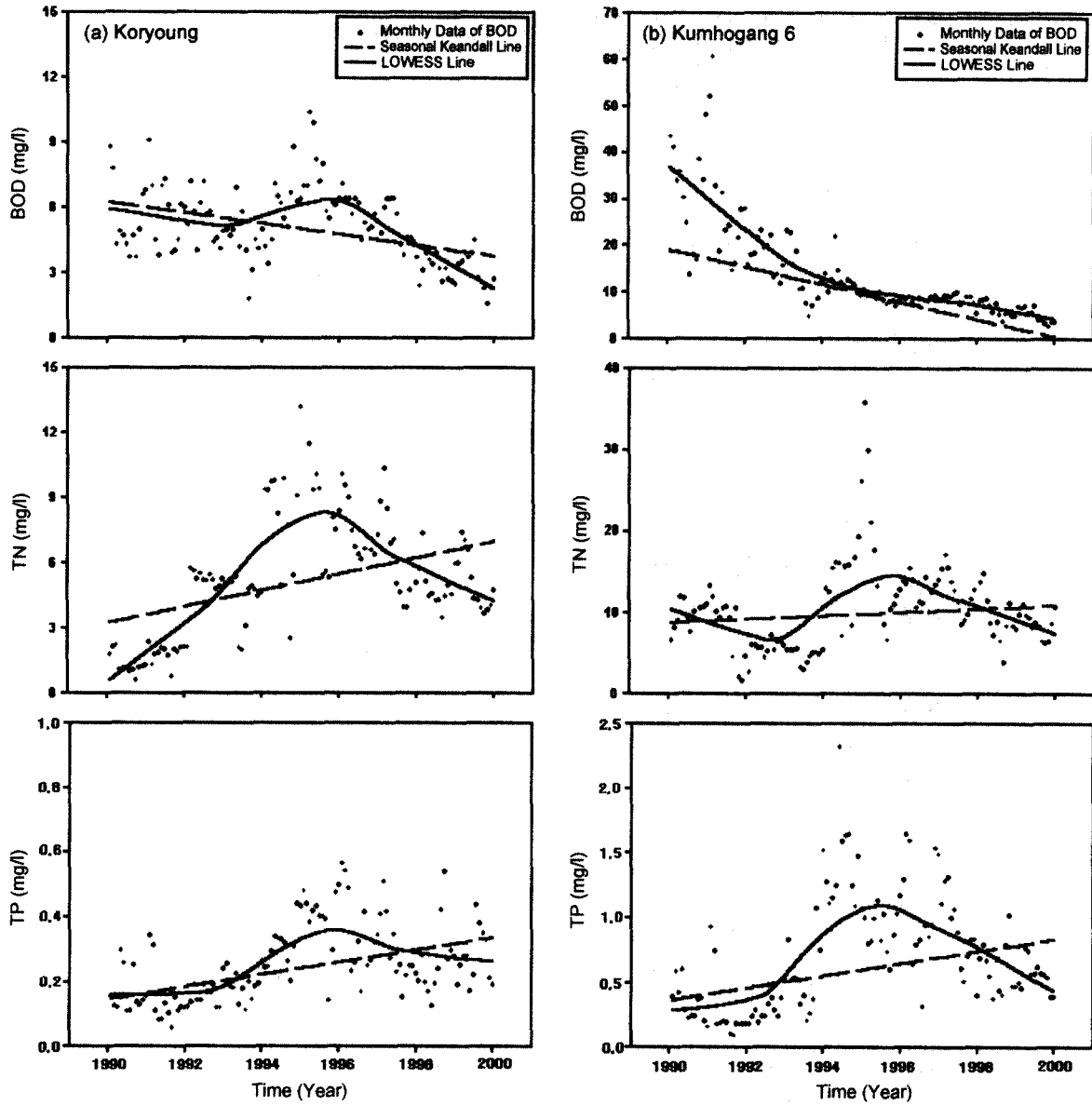


Fig. 5. Trends of BOD, TN and TP in midstream watershed.

의 농도가 90년대 초의 농도 수준을 회복하지 못하였기 때문으로 판단된다.

TP 농도는 13개 지점 중 11개 지점에서 증가하는 경향을 보였고 2개 지점에서 경향성이 없는 것으로 나타나 증가하는 경향이 매우 우세하게 나타났다. LOWESS 경향 분석 기법을 적용한 결과 TP 농도는 96년 이전까지 증가하는 경향을 나타냈고 그 이후부터 다시 감소하는 경향을 보였다. 따라서 TN과 마찬가지로 계절 맨-켄달 검정법에서 나타난 증가 경향은 90년부터 96년 사이의 증가 경향 때문이며 실제로 종류에서 TP 농도는 96년 이후 감소하고 있는 것으로 나타났다.

3.3. 하류서부유역

하류서부유역의 11개 측정지점들의 위치는 Fig. 6에 제시하였다. 계절 맨-켄달 검정법과 LOWESS 경향분석기법

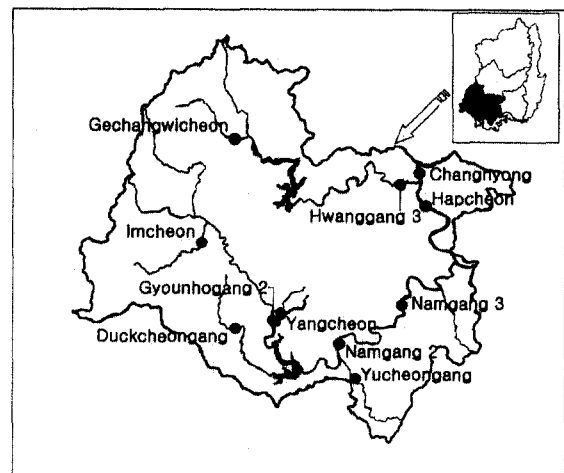


Fig. 6. Stations used in trend analysis of western downstream watershed.

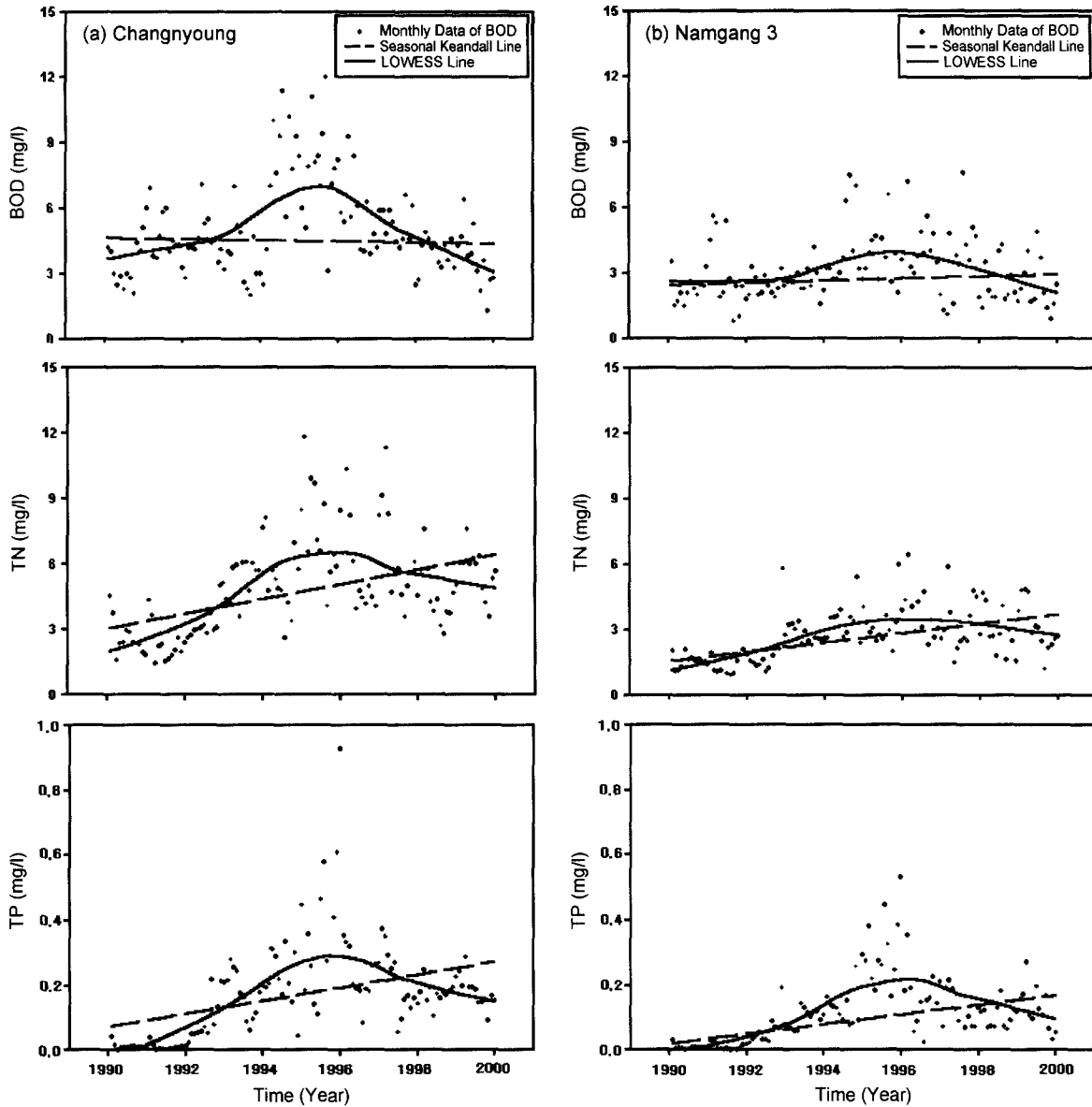


Fig. 7. Trends of BOD, TN and TP in western downstream watershed.

을 적용한 결과는 유역내 측정지점들 중 본류와 지류에서 각각 한 지점씩을 선정하여 Fig. 7에 제시하였다.

계절 맨-켄달 검정법을 적용한 결과 BOD 농도는 11개 지점 중 1개 지점에서만 감소하는 경향을 보이고 나머지 10개 지점에서는 경향성이 없는 것으로 나타나 연구기간동안 하류서부유역의 거의 모든 측정지점에서 BOD 농도가 변화가 없었던 것으로 나타났다. LOWESS 경향 분석 기법을 적용한 경우 BOD 농도는 96년 이전까지 증가하는 경향을 보이다 그 이후 감소하는 경향을 나타냈다. 계절 맨-켄달 검정법에서 BOD 농도가 경향성이 없게 나타난 것은 96년 이전의 증가 경향과 96년 이후의 감소 경향의 정도가 비슷하여 서로 상쇄작용을 일으켰기 때문이며 96년 이후 BOD 농도는 감소하는 경향을 보여 수질이 개선되고 있는 것으로 판단된다.

TN 농도는 계절 맨-켄달 검정법을 적용한 결과 11개 지

점 중 9개 지점에서 증가하는 경향을 보이고 2개 지점에서 경향성을 보이지 않아 증가 경향이 우세하게 나타났다. LOWESS 경향 분석 기법을 적용한 결과 TN 농도는 96년 이전까지 증가하다가 그 이후에 감소하는 경향을 나타냈다. 계절 맨-켄달 검정법에서 TN 농도가 증가 경향을 나타낸 것은 96년 이전의 증가 경향의 정도가 그 이후의 감소 경향의 정도보다 더 크기 때문으로 판단된다.

TP 농도는 계절 맨-켄달 검정법을 적용한 결과 11개 지점 모두에서 증가하는 경향을 나타냈다. LOWESS 경향 분석 기법을 보면 TP 농도는 96년 이전까지 증가하다가 그 이후에 감소하는 경향을 나타냈다. TP 농도도 TN 농도와 마찬가지로 96년 이후 농도가 감소하고 있으나 96년 이전의 증가 경향의 영향 때문에 계절 맨-켄달 검정법의 결과가 증가하는 경향을 나타냈다.

3.4. 하류동부유역

하류동부유역의 7개 측정지점들의 위치는 Fig. 8에 제시하였다. 계절 맨-켄달 검정법과 LOWESS 경향 분석 기법을 적용한 결과는 유역내 측정지점들 중 본류와 지류에서 각각 한 지점씩을 선정하여 Fig. 9에 제시하였다.

계절 맨-켄달 검정법을 적용한 결과 BOD 농도는 7개 지점 중 1개 지점에서만 감소하는 경향을 보이고 나머지 6개 지점에서는 경향성이 없는 것으로 나타나 연구기간동안 하류동부유역의 거의 모든 측정지점들에서 BOD 농도가 변화가 없었던 것으로 나타났다. 감소하는 경향을 보인 지점은 양산천 2지점이었다. LOWESS 경향 분석 기법을 적용한 결과 BOD 농도는 96년 이전까지 증가하는 경향을 보이다 그 이후에 감소하는 경향을 보여 수질이 개선되고 있는 것으로 나타났다. 계절 맨-켄달 검정법에서 BOD 농



Fig. 8. Stations used in trend analysis of eastern downstream watershed.

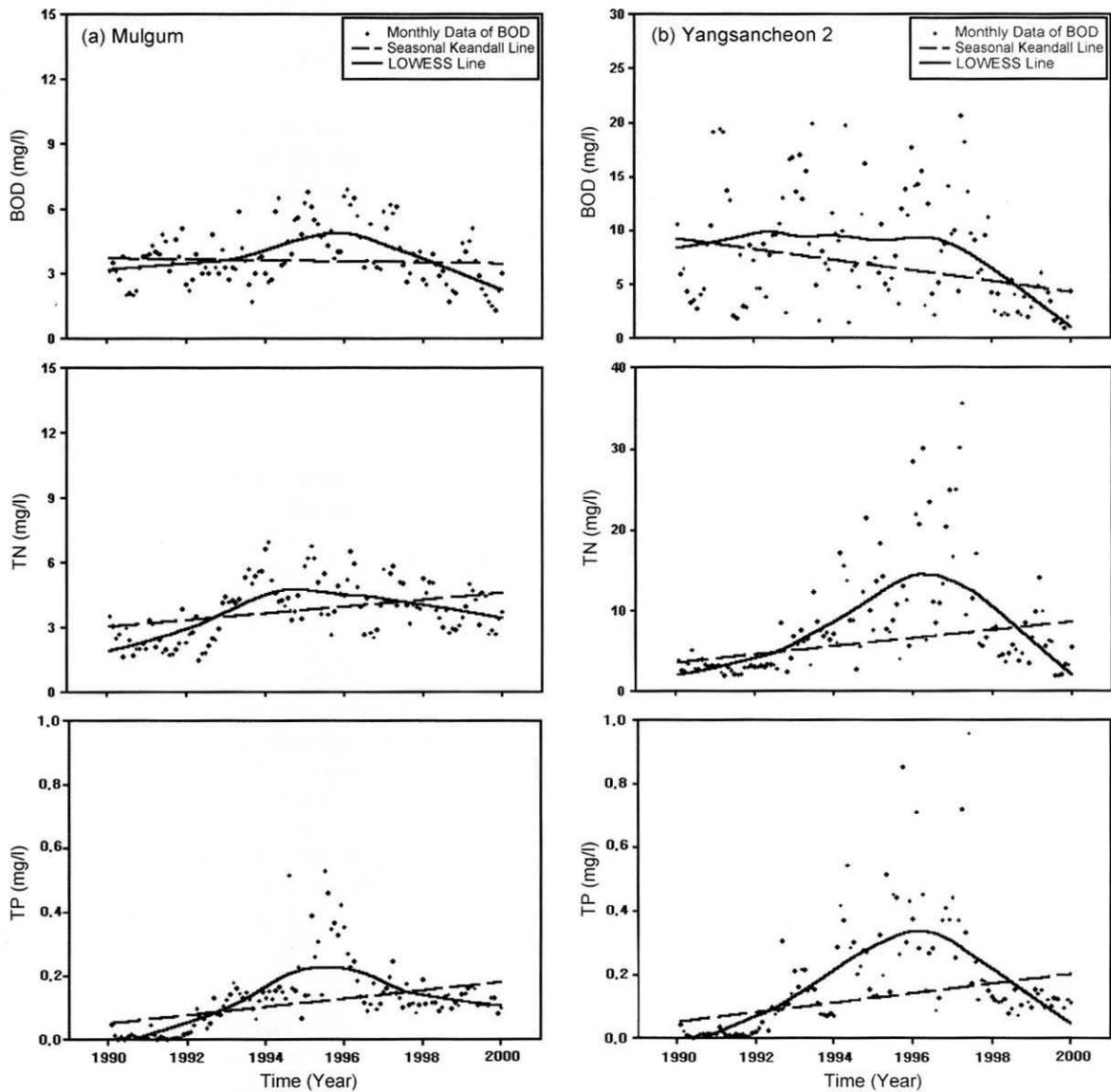


Fig. 9. Trends of BOD, TN and TP in eastern downstream watershed.

도가 경향성이 없게 나타난 것은 96년 이전의 증가 경향과 96년 이후의 감소 경향이 상쇄작용을 일으켰기 때문으로 판단된다.

TN 농도는 계절 맨-켄달 검정법을 적용한 결과 7개 지점 모두에서 증가하는 경향을 나타냈다. LOWESS 경향 분석 기법에 의하면 TN의 농도는 95년 이전까지 증가하는 양상을 보이다 그 이후에 감소하는 경향을 보였다. 양산천 2지점의 경우는 96년 이후에 감소하는 경향을 나타냈다. 계절 맨-켄달 검정법에서 TN 농도가 증가 경향을 나타낸 것은 95년 이전의 증가 경향의 정도가 그 이후의 감소 경향의 정도보다 커 90년대 초반의 농도 수준을 회복하지 못했기 때문이다.

TP 농도는 계절 맨-켄달 검정법을 적용한 결과 TN과 마찬가지로 7개 지점 모두에서 증가하는 경향을 나타냈다. LOWESS 경향 분석 기법에 의하면 TP의 농도는 96년 이전까지 증가하는 양상을 보이다 그 이후에 감소하는 경향을 보였다. 계절 맨-켄달 검정법에서 TP 농도가 증가 경향을 나타낸 것은 TN과 마찬가지로 96년 이전의 증가 경향의 정도가 그 이후의 감소 경향의 정도보다 크기 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서는 낙동강 수계를 대상으로 계절 맨-켄달 검정법과 LOWESS 경향 분석 기법을 적용하여 1990년부터 1999년 10년의 기간동안 BOD, TN과 TP 농도의 장기 수질 경향을 분석하였다.

계절 맨-켄달 검정법을 적용한 결과 연구기간동안 BOD 농도는 중류유역에서 감소하는 경향을 보였고 상류, 하류서부와 하류동부유역에서는 전반적으로 BOD 농도의 변화가 없는 것으로 나타났다. TN과 TP 농도는 네 유역 모두에서 증가하는 경향을 보였다. 그러나 LOWESS 경향분석기법을 적용한 결과 낙동강 수계내 대부분의 측정지점들은 BOD, TN과 TP 농도가 96년 이전에는 증가하는 경향을 보이다 96년 이후부터 감소하는 경향을 보여 수질이 개선되고 있는 것으로 나타났다. 이는 하수종말처리장과 축산폐수처리장 등의 처리시설의 증가와 96년부터 강화된 배출허용기준과 방류수 수질기준으로 인해 수질 개선 효과가 나타난 것으로 판단된다.

계절 맨-켄달 검정법은 관찰치들 사이의 상관측정치를 통해 선형 경향성을 분석하는 비모수 통계방법으로 연구기간 동안 단일한 경향 분석 결과를 산출한다. 따라서 본 연구의 결과처럼 연구기간내 경향성의 변화가 있는 경우 이를 반영하지 못할 뿐만 아니라 경향성의 변화로 인해 기간내 경향 분석 결과가 왜곡되기도 하는 단점이 있다. LOWESS 경향 분석 기법은 어떤 특정 회귀식을 가정하지 않고 데이터 점들을 통해 회귀모형을 적합시키는 방법으로 주어진 기간동안의 수질 경향성의 변화를 잘 반영할 수 있다. 따라서 이 LOWESS 경향 분석 기법을 적용하여 증가나 감소 경향을 파악하고 만약 주어진 기간 내에 경향의 변화가 존재한다면 경향의 변화를 보인 시점을 기준으로 연구기간

을 나누어 각각의 기간에 대하여 계절 맨-켄달 검정법을 적용하여 경향 분석을 수행하여 두 기간의 경향을 비교하는 것이 요구된다. 본 연구에서 경향성의 변화를 보인 시점은 1996년으로 이 시점은 배출허용기준과 방류수 수질기준 등이 강화된 시기이다. 따라서 본 연구의 기간을 1996년을 기준으로 두 기간으로 나누어 계절 맨-켄달 검정법과 계절 맨-켄달 검정법과 관련하여 경향성의 정도를 평가하는 계절 맨-켄달 기울기 통계량을 적용하여 경향 분석을 수행한다면 수질 개선 대책의 시행 여부에 따른 수질 개선 효과를 판단할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 교육인적자원부 BK21 “지표수 환경관리시스템 연구” 사업의 일부 지원으로 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Berryman, D., Bobee, B., Cluis, D., and Haemmerli, J., Nonparametric Tests for Trend Detection in Water Quality Time Series, *Water Resources Bulletin*, **24**(3), pp. 545-556 (1988).
- Chambers, J. M., Cleveland, W. S., Kleiner, B., and Tukey, P. A., *Graphical Methods for Data Analysis*, Wadsworth International Group, Belmont, California and Duxbury Press, Boston, Massachusetts. (1983).
- Cleveland, W. S., Robust locally weighted regression and smoothing scatterplot, *J. American Statistics Association*, **74**(3), pp. 829-836 (1979).
- Clow, D. W., and Mast, M. A., Long-term trends in stream water and precipitation chemistry at five headwater basins in the northeastern United States, *Water Resources Research*, **35**(2), pp. 541-554 (1999).
- 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).
- Hirsch, R. M., Alexander, R. B., and Smith, R. A., Selection of Methods for the Detection and Estimation of Trends in Water Quality, *Water Resources Research*, **27**(5), pp. 803-813 (1991).
- Hughes, J. P., Millard, S. P., A Tau-Like Test for Trend in The Presence of Multiple Censoring Point, *Water Resources Bulletin*, **24**(3), pp. 521-531 (1988).
- Kendall, M. G., *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin, London. (1975).
- Larsen, S. E., Kronvang, B., Windolf, J., and Svendsen, L. M., Trends in Diffuse Nutrient Concentrations and Loading in Denmark: Statistical Trend Analysis of Stream Monitoring Data, *Water Science and Technology*, **39**(12), pp. 197-205 (1999).

11. Lettenmaier, D. P., Multivariate Nonparametric Tests for Trend in Water Quality, *Water Resources Bulletin*, **24**(3), pp. 505-512 (1988).
12. Lettenmaier, D. P., Hooper, E. R., Wagoner, C., and Faris, K. B., Trends in Stream Quality in the Continental United States, 1978-1987, *Water Resources Research*, **27**(3), pp. 327-339 (1991).
13. Montgomery, R. H., and Reckhow, K. H., Techniques for Detecting Trends in Lake Water Quality, *Water Resources Bulletin*, **20**(1), pp. 45-52 (1984).
14. Van Belle, G., and Hughes, J. P., Nonparametric Tests for Trend in Water Quality, *Water Resources Research*, **20**(1), pp. 127-136 (1984).
15. 정부합동, 낙동강 수계 물관리 종합대책 (1999).