

ORIGINAL ARTICLE

계절 맨-켄달 기법을 이용한 금호강 본류 BOD의 장기 경향 분석 및 탐색적 자료 분석

정강영 · 이인정 · 이경락 · 천세억 · 홍준영¹⁾ · 안정민*

국립환경과학원 낙동강물환경연구소, ¹⁾경북대학교 토목공학과

Long-Term Trend Analysis and Exploratory Data Analysis of Geumho River based on Seasonal Mann-Kendall Test

Kang-Young Jung, In Jung Lee, Kyung-Lak Lee, Se-Uk Cheon,
Jun Young Hong¹⁾, Jung-Min Ahn*

Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 40138, Korea

¹⁾Department of Civil Engineering Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

Abstract

The government has conducted a plan of total maximum daily loads(TMDL), which divides with unit watershed, for management of stable water quality target by setting the permitted total amount of the pollutant. In this study, BOD concentration trends over the last 10 years from 2005 to 2014 were analyzed in the Geumho river. Improvement effect of water quality throughout the implementation period of TMDL was evaluated using the seasonal Mann-Kendall test and a LOWESS(locally weighted scatter plot smoother) smooth. As a study result of the seasonal Mann-Kendall test and the LOWESS smooth, BOD concentration in the Geumho river appeared to have been reduced or held at a constant. As a result of quantitatively analysis for BOD concentration with exploratory data analysis(EDA), the mean and the median of BOD concentration appeared in the order of GH8 > GH7 > GH6 > GH5 > GH4 > GH3 > GH2 > GH1. The monthly average concentration of BOD appeared in the order of Apr > Mar > Feb > May > Jun > Jul > Jan > Aug > Sep > Dec > Nov > Oct. As a result of the outlier, its value was the most frequent in February, which is estimated 1.5 times more than July, and was smallest frequent in July. The outlier in terms of water quality management is necessary in order to establish a management plan for the contaminants in watershed.

Key words : Seasonal Mann-Kendall test, Geumho river, Exploratory data analysis, LOWESS, TMDL

1. 서론

우리나라에서 1980년대부터 수질문제가 본격적으로 거론되기 시작한 이래 점오염원에 의한 수질오염을 저감시키기 위해서 대규모의 환경기초시설을 설치하는 등 수

질개선을 위한 지속적인 노력과 투자를 통해 수질을 개선해 오고 있다(Kim et al., 2012). 90년대에 들어 정부는 4대강 물 관리 종합대책을 수립하여 종래의 환경기초 시설 확충위주의 사후관리에서 유역공동체를 중심으로 한 사전 예방적 유역관리로 정책을 전환하였다. 그럼에

Received 21 April, 2015; Revised 3 February, 2016;

Accepted 4 February, 2016

*Corresponding author : Jung Min Ahn, Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, NIER, Goryeong 40138, Korea
Phone: +82-54-950-9780
E-mail: jahn@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

도 불구하고, 하천(상수원)의 수질은 2000년대 들어서는 다소 개선되는 추세를 보였으나 만족할 만큼 개선되지 않았고, 배출되는 오염물질의 총량을 설정, 관리하는 오염총량관리 시스템의 도입·추진이 필요하게 되었다(Jung, 2009). 아울러 정부에서는 안정적인 수질관리를 위해 수계를 단위유역으로 구분하여 목표수질을 설정하고 관리하는 수질오염총량관리제도를 도입 시행하였다(Park and Oh, 2012). 1단계 수질오염총량제 관리대상 물질인 BOD에 대해 2004년부터 2010년까지 시행하였으며, 2011년부터는 2단계 수질오염총량제가 시행 중이다. 이 기간 동안 일부 지역에서는 큰 효과가 나타나는 것으로 관측되고 있다. 이와 같은 수질정책의 효과는 장기간 관측된 수질에 대하여 통계적 경향분석을 실시함으로써 정량적 분석이 가능하다(Kim and Park, 2004). 그러나 장기간 자연 수계에서 관측된 수질자료는 계절에 따른 변이가 심하고, 외부 오염원의 변동, 내부 하천환경 변화 등 복합적인 요인에 의해 영향을 받으며, 결측치와 이상치(outlier)가 존재한다. 때문에 관측 자료는 정규분포보다는 비정규분포 형태를 가지므로, 비모수적 통계기법을 적용하면 해석의 오차를 줄일 수 있다(Hirsch and Slack, 1984; Sokal and Rohlf, 1995). 장기수질경향분석에 적용되고 있는 비모수적통계분석 기법으로는 계절 맨-켄달 검정법(Seasonal Mann-Kendall test)이 많이 활용되고 있다(Kim and Park, 2004; Lee and Park, 2008). 계절 맨-켄달 검정법은 결측치가 많고 계절성이 분명한 자료에 적합하나 선형 경향으로 결과를 산출하기 때문에 대상 기간 내 경향성이 변할 경우 이를 제대로 반영하지 못하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 LOWESS(locally weighted scatter plot smoother) 경향분석이 함께 사용되고 있다. LOWESS는 실제 데이터에 대한 평활곡선들(smoothing curves)을 적합 시키는데 단순하지만 매우 유용한 도구이다(Jacoby, 2000). 국내에서는 Kim and Park(2004) 등이 계절 맨-켄달 검정법과 LOWESS 경향분석법을 이용하여 낙동강 수계의 장기수질경향을 분석하였다. 또한 Kim et al.(2014)은 비모수적 통계분석과 LOWESS 경향분석을 이용하여 금강 수계 단위유역의 수질변화에 대해 연구한 바 있다. 본 연구에서는 2005년부터 2014년까지 금호강에서 지난 10년간의 시계열 BOD자료에 대해 계절 맨-켄달 검정법을 이용하여 오염총량제 시행기간동안의 수질개

선효과를 평가하였으며, 비모수적 회귀분석방법인 LOWESS 경향분석법을 통하여 기간 내 변화 특성을 분석하였다. 또한, 금호강에서 10년간 조사된 월평균 BOD 자료들의 시·공간적 변화와 분포특성을 탐색적 자료 분석 EDA(exploratory data analysis)방법을 이용하여 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상유역 및 자료 분석

대상유역인 금호강은 낙동강의 중동부에 위치한 주요 지류로서 유역 면적은 2078.42 km², 유로연장 118.99 km로 상류에 위치한 영천댐으로부터 유입 후 서류하면서 경산시를 관류하고 대구시역에 들어와 북쪽으로 만곡하여 서류하다가 달성군 다사면 죽곡리 지점에서 낙동강 본류와 합류하는 하천이다. 상류와 중류에 영천시와 경산시 등의 소도시가 위치하고, 하류에는 대도시인 대구광역시역이 위치해 있다. 금호강은 과거 산업화와 도시화에 의해 수질오염이 크게 악화되어 90년대에는 낙동강 연평균 수질을 III급수 이하로 악화시키는 주요 지류였다(Daegu Regional Environmental Office, 2007). 행정구역별로는 대구광역시 523 km²(25%), 영천시 899.6 km²(43%), 경산시 397.5 km²(19%), 포항시 146.4 km²(7%), 칠곡군 125.5 km²(6%)를 차지하고 있다. 금호강 유역의 연평균 강수량은 768.8 ~ 1,735.0 mm로 낙동강 내륙 지역의 지리적 영향으로 강우가 기타지역에 비해 적은 과우지역에 속한다(Jung, 2012). BOD 자료를 분석하기 위해 2005년부터 2014년까지 10년간 금호강 본류의 국가수질측정망 5개 지점과 단위유역 총량측정망 3개 지점 자료를 수집 총 8개 지점의 월별 자료에 대해서 분석을 실시하였다(Fig. 1).

2.2. 계절 맨-켄달 검정법(Seasonal Mann-Kendall test)

이 방법은 Mann(1945)에 의하여 처음 제시된 이후 Dietz와 Kileen에 의하여 Mann-Kendall 통계치의 공분산이 제시되고, 계절적 변동특성을 갖는 수질자료에 대해서도 적용이 가능하도록 확장되었다(Hirsch and Slack, 1984). 계절 맨-켄달 검정법은 상관계수인 켄달의 타우(Kendall tau)를 구하여 그 유의성을 검증함으로써 경향성의 유무를 파악하고, 이에 수반되는 계절 켄달

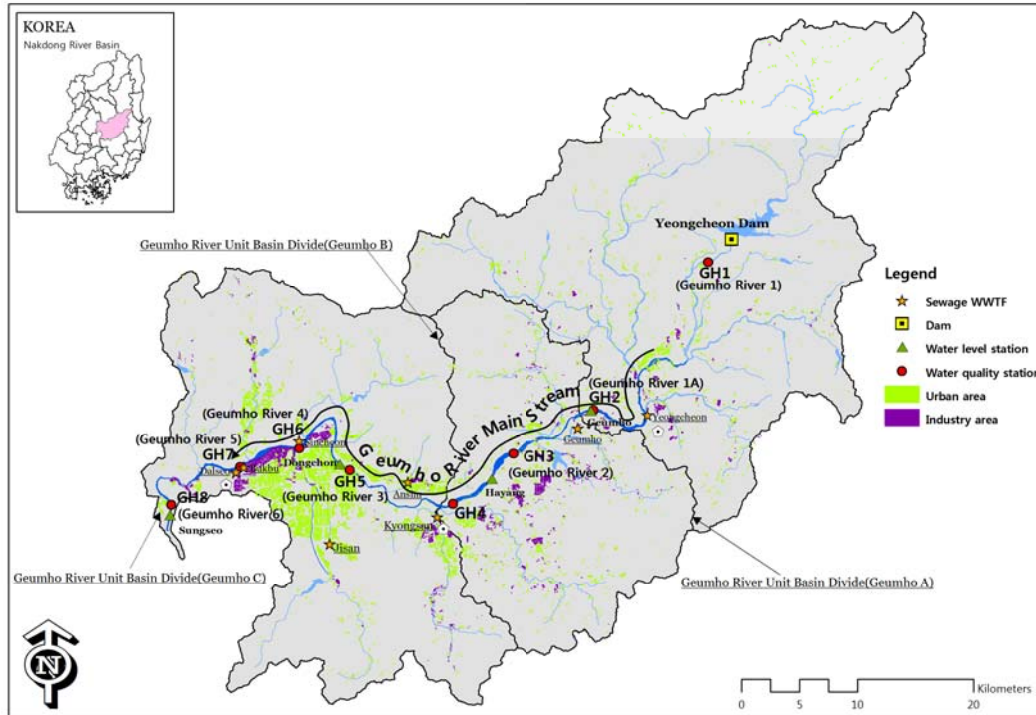


Fig. 1. Study area and station in the Geumho river.

기울기 통계량(seasonal Kendall slope estimator)을 구하여 경향성의 정도를 판단할 수 있다. 자료는 연도별 월 평균 시계열 자료를 이용하게 되며, 켄달 통계 추정치 S-value이 양의 값을 가질 경우 시간에 따른 증가 추이를 의미하며, 음의 값을 가질 경우 시간에 따른 감소 추이를 의미한다(Kim, 2008). 그리고 맨-켄달 통계치 Z-value를 계산한 다음 p-value를 구하여 유의성을 검증함으로써 경향성을 판단하게 된다. 양쪽으로 95% 신뢰구간에서 유의수준 ($\alpha=0.05$)에 대한 $p\text{-value} \geq 0.05$ 이면 경향성이 없다는 귀무가설을 수용하고, $p\text{-value} < 0.05$ 일 때 귀무가설을 기각하고 경향성이 있다는 대립가설을 수용한다(Kim, 2001).

2.3. LOWESS 경향분석

LOWESS는 각 값에 대해 이동 직선(moving line)을 구하고 이로부터 y의 평활점(smooth)을 얻은 후 이 평활점(smooth)들을 직선으로 연결한 것이다. 이는 1차 또는 2차 회귀모형에 대한 가정 없이 자료들을 회귀모형

에 맞추므로 유용한 경향 분석법이다. 이동선(x_i, \hat{y}_i)을 계산하는 방법은 $x = x_i$ 를 중심으로 일정간격에 걸친 수직 띠(window)를 만든다.

$$\hat{y}_i \leftarrow \min_{\beta_0, \beta_1} \sum_{|j-i| \leq k} \omega_{j-i} (y_j - \beta_0 - \beta_1 x_j)^2, \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

따라서 많은 계산이 필요하다. LOWESS는 적합점들을 연결하여 최종적인 회귀곡선(regression curve)을 산출한다.

$$(x_1, \hat{y}_1), \dots, (x_i, \hat{y}_i), \dots, (x_n, \hat{y}_n) \quad (2)$$

LOWESS를 하기 위한 R의 함수는 `lowess(y ~ x, f)`와 같은 형식인데 여기서 f 는 자료크기 대비 평활기 너비(smooth span)의 비율이다. f 는 평활상수로서 $1/3 < f < 2/3$ 이 추천되는데 디폴트 값은 $2/3$ 이다. 평활기

너비 f 를 크게 하면 회귀함수가 직선에 가까운 멱만한 곡선이 되고(과소적합, under-fitting), 반대로 f 를 작게 하면 회귀함수의 휜 정도가 큰 곡선이 된다(과다적합, over-fitting). 따라서 본 연구에서 평활상수 $f=0.5$ 로 수행하였다(Cleveland and Devlin, 1988).

2.4. 탐색적 자료 분석

탐색적 자료 분석은 자료의 분포 또는 밀집된 형태를 최소값(min), 아래 사분위수(제1사분위수: H_L), 중앙값(median: M), 위 사분위수(제3사분위수: H_U), 최대값(max)을 다섯 개의 수치로 요약(min, H_L , M , H_U , max) 표현된다. 다시 말해서 Fig. 2.에서 Box plot 형태의 통계값으로 자료 관측치의 중앙 위치와 관측치들이 어디에 모여 있는지 자료 값들의 흩어진 정도를 파악할 수 있고, 자료 관측치 중 다른 값들에 비해 지나치게 크거나 작은 관측치, 이상치(outlier)의 존재 여부를 파악할 수 있다. 상자도식은 제3사분위수(윗선)와 제1사분위수(아래선)를 이어 직사각형을 그리며, 사각형 안의 선은 중앙값을 의미한다.

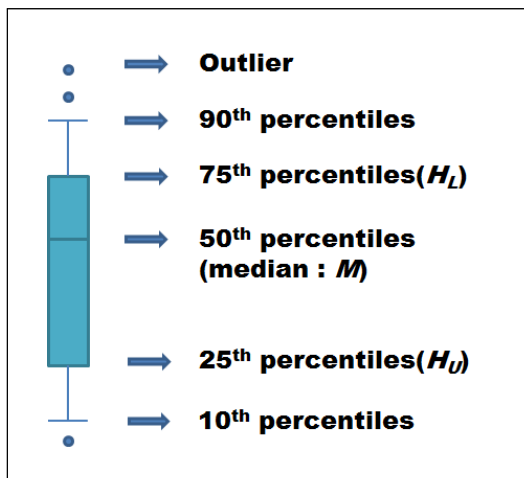


Fig. 2. Box plot body form.

중앙값을 기준으로 낮은 집단과 높은 집단으로 나누어 낮은 집단의 중앙값 즉, 전체 관측값을 4등분하여 25% 위치에 대응하는 값을 제1사분위수라 하고 높은 집단의 중앙값 즉 전체 관측값을 4등분하여 75% 위치에 대응하는 값을 제3사분위수라고 한다. 사분위범위

($Spr(H)$)는 제1사분위수와 제3사분위수의 차이를 의미하는데, 이것은 자료의 흩어진 정도를 나타내는 측도라 할 수 있다. 상자의 아래와 위에 이은 수염은 최소값, 최대값이나 10%ile(percentile), 90%ile 또는 5%ile, 95%ile 위치에 해당하는 값 등으로 변동시킬 수 있다(Nakdong River Environment Research Center, 2009). 본 연구에서는 수염값을 10%ile, 90%ile로 하고 그 값을 벗어나는 자료는 이상치(outlier)로 표시하였다.

3. 결과 및 토의

3.1. BOD 농도 경향분석

금호강 수계에서 2005년부터 2014년까지 영천댐 유입 후 금호강 본류 총 8개 지점의 BOD 자료에 대해서 장기 경향 분석을 계절 맨-켄달 검정법과 LOWESS 분석법을 이용해서 실시했으며 그 결과는 Table 1 과 Fig. 3에 나타내었다. 계절 맨-켄달 검정 결과로 나타난 경향성 분석 결과를 up, down, no trend로 구분하여 제시하였고, 기울기는 계절 켄달 기울기 통계량을 계산한 것으로 변화의 크기를 의미한다(Kim et al., 2014). 금호강 본류 8개 지점 중 GH1, GH5, GH6, GH7 등 4개 지점이 감소하는 경향으로 나타났고, GH2, GH3, GH8 등 3개 지점은 경향성이 없는 것으로 나타났으며, 유일하게 GH4 지점이 증가하는 경향을 나타냈다. 금호강 본류 중 최상류에 해당하는 GH1 (Gumho river 1)지점은 BOD농도가 높지 않으며, 지속적으로 감소하다 2009년부터 일정한 농도를 유지하는 추이를 나타냈다. GH2 (Gumho river 1A) 지점은 금호A 단위유역으로 LOWESS 결과 2007년을 지나면서 농도가 증가하다 2010년 이후부터 현재까지 지속적으로 감소하는 추이를 보이고 있으며, 경향은 없는 것으로 나타났다. GH3 (Gumho river 2)지점 역시 경향은 없는 것으로 나타났으나 기울기가 -0.026 mg/L/yr로 감소하는 경향을 보였다. GH4 (Gumho river 2A) 지점은 금호B 단위유역이면서 금호강 본류지점 중에서 유일하게 증가하는 경향으로 나타나 이는 선행된 연구결과와도 일치한다(Park et al., 2013). 하지만 조사기간 동안 기준을 초과하지 않고 목표수질 이하로 유지 관리 되었으며, LOWESS 결과에서도 2013년부터 감소하고 있는 추이를 보이고 있다. GH5 (Gumho river 3)지점과 GH6 (Gumho river 4)지점에서는 기울기가

각각 -0.125 mg/L/yr , -0.100 mg/L/yr 로 감소하는 경향을 보였으며, LOWESS 결과 역시 수질이 지속적으로 감소하고 있는 것으로 나타났다. GH7 (Gumho river 5) 지점에서는 LOWESS 결과 BOD농도가 지속적으로 감소하다 2012년부터 다시 증가하는 추이로 나타났지만, 기울기가 -0.1155 mg/L/yr 로 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 총량제 시행에 따른 수질개선효과로 판단된다. GH8 (Gumho river 6)지점은 금호C 단위유역이면서 국가수질측정망 지점으로 금호강 최 하류 말단에 위치해 오염부하가 가장 심한 곳이다. 조사한 바에 의하면 이지점 역시 총량제 시행기간 내에 기준을 초과하지 않고 목표수질 이하로 잘 유지 관리 되었다. 하지만 LOWESS 결과에서 2011년도 이후부터 다시 증가하고 있는 추이를 나타냈다. 따라서 최근 금호강 중·하류유역은 주거지 개발과 토지이용의 변화로 도시적 토지이용면적이 증가하고 기후변화에 따른 수문특성이 변화되고 있어 이에 따라 예측하기 어려운 잠재적 환경영향을 고려한 관리가 필요 할 것으로 사료된다. BOD 경향분석 결과 대부분의 지점이 일정한 수질을 유지하거나 감소하는 추이를 보이는 것으로 나타났다. 이 같은 추이는 금호강 분류에서 BOD는 감소하거나 일정한 농도로 유지 및 관리되고 있다는 것을 의미하는 결과로 해석할 수 있다. 한편 농도가 매우 낮아 자연하천에 잠재한 배경농도에 가까운 지점은 BOD에 대한 수질개선을 위한 제도 시행보다는 현재의 상태를 지속적으로 유지시켜나가는 것이 비용대비 효과 면에서 바람직 할 것으로 사료된다.

계절 맨-켄달 검정결과 2005년~2014년 기간 동안 금호강 분류 전체 8개 지점 중 농도 변화가 일어난 곳은 5개 지점이며, 각 지점에 대한 변화율을 도시하여 서로 비교하여 나타내었다.(Fig. 4.) 금호강 분류 지점 중에서 농도 감소폭이 가장 크게 나타난 지점은 GH5와 GH6, GH7지점이며, 분류 중간정도에 위치하고 있는 GH4 지점에서 농도 변화의 폭이 크게 증가함을 보였다.

3.2. 지점별 탐색적 자료 분석

Fig. 5 은 금호강 분류 8개 지점의 BOD수치에 대해 지점별로 EDA기법과 LOWESS 경향을 표현한 것이다. 여기서 LOWESS 함수추정 기법에 사용된 평활 폭 f (smoother span) 의 값은 0.5로 주었다. 사실 비모수 함수의 추정기법에서 평활 폭의 선택은 평활의 정도를 결정하는 중요한 값으로, 관측 자료의 적합정도를 세밀히 관찰하여 여러 다양한 값을 이용해서 가장 적절한 f 값을 찾아야한다(Kim, 2014). 따라서 평활 폭 0.5로 했을 경우 Fig. 5와 Fig. 6에서 LOWESS 함수추정은 무리가 없을 것으로 판단된다. Table 2의 각 수치들은 지점별로 최대값(max), 최소값(min), 평균값(mean), 제1사분위수(H_L), 중앙값($M(\text{median})$), 제3사분위수(H_U), 사분위수 범위($Spr(H)$), 표준편차(SD)를 구하여 지점별 BOD를 분석하였다. 상자 도식에서 중앙값($M(\text{median})$) 농도는 상류에서 하류로 점차 증가하는 것으로 나타났으며, LOWESS line역시 같은 경향을 보인다. BOD 데이터의 평균값(Mean)과 중앙값($M(\text{median})$)을 비교 분석한 결과 $\text{GH8} > \text{GH7} > \text{GH6} > \text{GH5} > \text{GH4} > \text{GH3}$ >

Table 1. Seasonal Mann-Kendall trend analysis for BOD concentration in the Geumho river from 2005 to 2014

Parameter	Station	Site name	Statistic S	Z-value	p-value	Trend	Slope (mg/L/yr)	
BOD	Main stream	GH1	Gumho river 1	-48.0	-3.051	0.0023	Down	-0.025
		GH2	Gumho river 1A	6.0	0.319	0.7499	No	0.007
		GH3	Gumho river 2	-12.0	-0.702	0.4825	No	-0.026
		GH4	Gumho river 2A	38.0	2.350	0.0188	Up	0.085
		GH5	Gumho river 3	-44.0	-2.720	0.0065	Down	-0.125
		GH6	Gumho river 4	-32.0	-1.969	0.0490	Down	-0.100
		GH7	Gumho river 5	-43.0	-2.672	0.0075	Down	-0.1155
		GH8	Gumho river 6	-2.0	-0.064	0.9494	No	-0.0036

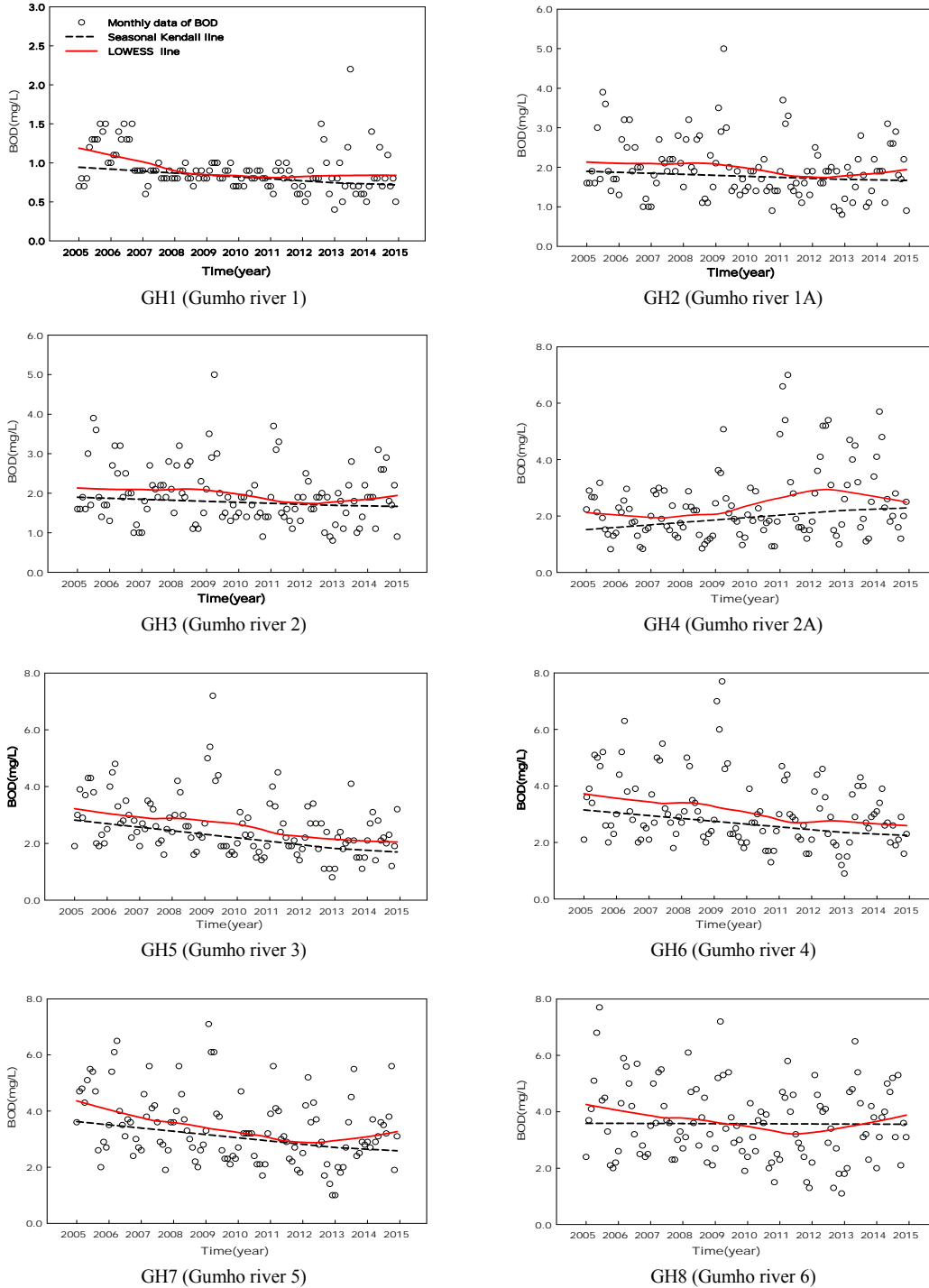


Fig. 3. Results of trend analysis of BOD concentration in the main stream of the Geumho river.

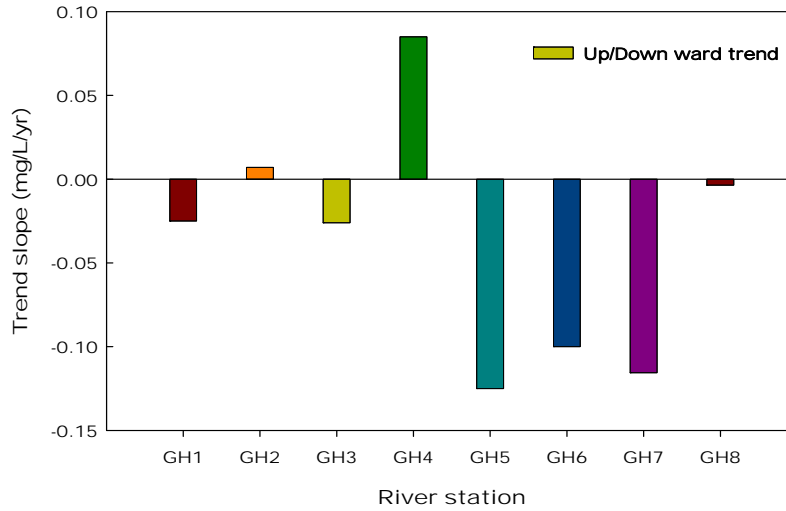


Fig. 4. Comparison of trend slopes at each main station in the Geumho river.

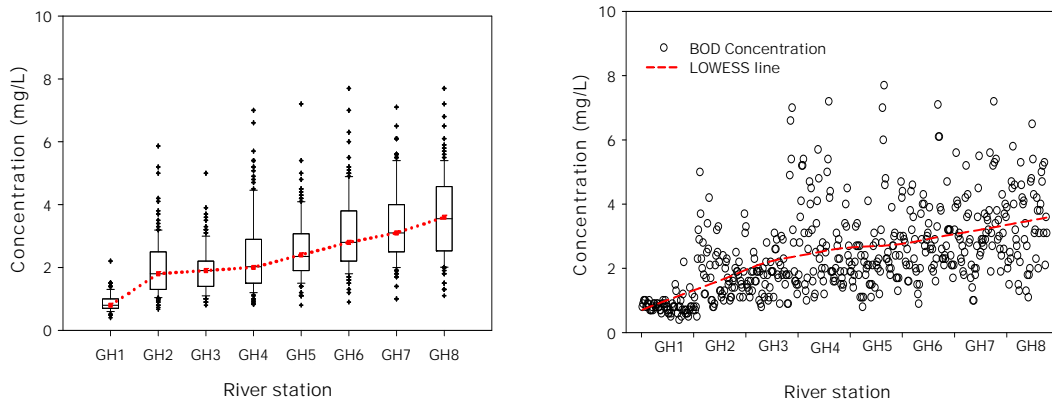


Fig. 5. Exploratory data analysis and LOWESS analysis on BOD concentration in the main stream of the Geumho river.

GH2 > GH1 의순으로 나타났다. 사분위수 범위($Spr(H)$)는 오염부하가 가장 심한 GH8지점이 가장 크게 나타났다. 주변 오염원의 영향이 상대적으로 적은 GH1지점이 가장 낮게 나타났다. 사분위수 범위는 자료의 흩어진 정도의 크기를 나타내는 수치로 본 연구에서는 범위수가 작은 지점은 오염원(pollution source)이 적다고 볼 수 있고, 반대로 범위수가 큰 지점은 오염원이 많다고 볼 수 있다. 이는 다시 말해 시간적으로나 공간적으로 수환경적 변이가 크면 분포범위($Spr(H)$) 또한 커질 수 있음을 의미한다. 그리고 이러한 분포범위를 주의 깊게 관찰

할 필요성이 있다. 실제로 금호강 중류지역을 중심으로 상자의 범위가 점점 증가하고 있는 것으로 나타났는데 이는 주변에 중·소도시와 많은 공단의 폐수 및 생활하수의 영향으로 이러한 사실에서 확인 할 수 있다. BOD 수치의 증가 원인은 지점의 순위에 따른 지리적 위치의 영향을 받을 수 있으나, 그보다는 하천 주변에 위치하고 있는 도시나 산업지대등과 같은 인프라가 수질오염에 더 큰 영향을 주고 있음을 잘 보여준다. 선행되어진 연구에서도 하천이 인구가 밀집되어져 있는 도심이나 산업단지를 관류하면서 각종 생활하수 및 산업폐수 유입으로 수

Table 2. Summary on BOD analysis data at each station in the Geumho river

Station	Max	Min	Mean	HL	M(median)	HU	Spr(H)	SD	Count
GH1	2.2	0.4	0.9	0.7	0.8	1.0	0.3	0.3	120
GH2	5.9	0.7	2.0	1.3	1.8	2.5	1.2	0.9	120
GH3	5.0	0.8	2.0	1.4	1.9	2.2	0.8	0.7	120
GH4	7.0	0.8	2.4	1.5	2.0	2.9	1.4	1.3	120
GH5	7.2	0.8	2.6	1.9	2.4	3.0	1.1	1.0	120
GH6	7.7	0.9	3.1	2.2	2.8	3.8	1.6	1.2	120
GH7	7.1	1.0	3.4	2.5	3.1	4.0	1.5	1.2	120
GH8	7.7	1.1	3.6	2.6	3.6	4.5	2.0	1.3	120

질 농도가 증가 할 가능성을 보고한 바 있다(Son et al., 2003; Lyu and Lee, 2007).

3.3. 월별 탐색적 자료분석

Fig. 6은 월(month)별로 EDA기법과 LOWESS 경향을 표현한 것이다. 각 지점별로 월(month) 평균을 구한 다음, 월 기준으로 최대값(Max), 최소값(Min), 평균값(Mean), 제1사분위수(H_L), 중앙값($M(\text{median})$), 제3사분위수(H_U), 사분위수 범위($Spr(H)$), 표준편차(SD)를 구하여 Table 3에 나타내었다.

상자도식에서 중앙값($M(\text{median})$) 농도를 분석한 결과 Apr > Mar > Feb > May > Jun > Jul > Jan > Aug > Sep > Dec > Nov > Oct 의순으로 나타났다. 2월~5월 저·갈수기에 BOD 수치가 높게 나타나고, 장마 후 수체가 안정화 되는 시기인 9월~1월에 BOD 수

치가 낮게 나타났다. 최대값(max), 제1사분위수(H_L), 제3사분위수(H_U), 표준편차(SD)결과 또한 순위와 비슷한 경향으로 나타났다. 이러한 결과는 기상청 강우자료와 BOD농도 변화를 비교 분석한 자료에서도 확인되어진다 (Fig. 7.)

우리나라는 몬순기후의 영향으로 계절적으로 여름인 7월과 8월에는 강수량이 많아 하천의 유량이 풍부하며, 겨울과 봄은 강수량이 많지 않아 하천에 흐르는 유량이 적은 저·갈수기에 해당한다. Fig. 6과 Table 3에서 BOD농도의 시간적 분포는 이런 기후적 영향과 관련이 있음을 보여주며, 이러한 때에 일정한 양으로 하천에 배출되는 점오염원은 수질 농도 상승에 영향을 줄 수 있다. 또한 해마다 반복되는 이러한 기후 및 수문학적 특성들은 물리적으로 하천 변이에 크게 영향을 줄 수 있다(Kim

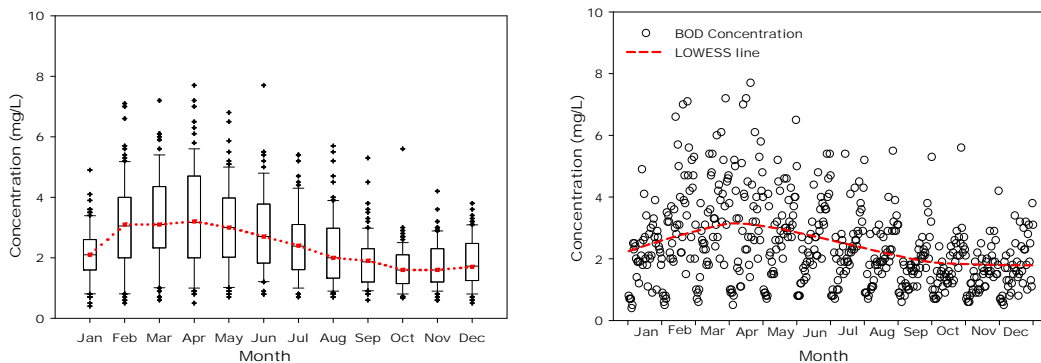


Fig. 6. Exploratory data analysis and LOWESS analysis on BOD concentration in the month of the Geumho river.

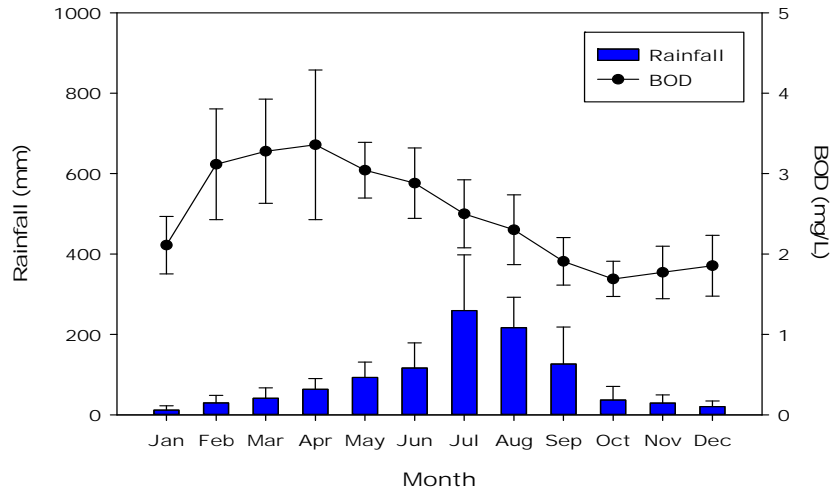


Fig. 7. Temporal variations of on average BOD a concentration and rainfall from 2005 to 2014.

et al., 2007). 사분위수 범위(Spr(H))는 4월에 가장 높았고 10월과 11월 그리고 12월과 1월에 가장 낮게 나타났으며, 강우와 유량이 적은 시기에 높게 나타나는 경향을 보였다. Lyu and Lee(2007)은 미호천의 물 환경 탐구 연구에서 미호천으로 유입되는 오염물질 총량에 변동이 없다고 가정 할 경우 상대적으로 강우량이 적은 월에 하천에서 오염물질의 농도가 증가할 가능성이 있음을 보고

한바 있다.

3.4. 특이점 분석(outlier analysis)

다음의 Table들은 지점과 월별로 특이점(outlier)들을 분석한 것이다. 탐색적 자료 분석에서 특이점의 산출은 상자의 아래와 위에 이은 수염값을 벗어나는 자료를 특이점(outlier)으로 보았다.

Table 3. Summary on BOD analysis data at each month in the Geumho river

Month	Max	Min	Mean	H_L	$M(\text{median})$	H_U	$Spr(H)$	SD	Count
Jan	4.9	0.4	2.1	1.6	2.1	2.6	1.0	0.9	80
Feb	7.1	0.5	3.1	2.0	3.1	4.0	2.0	1.5	80
Mar	7.2	0.6	3.3	2.4	3.1	4.3	1.9	1.5	80
Apr	7.7	0.5	3.4	2.0	3.2	4.7	2.7	1.7	80
May	6.8	0.7	3.0	2.1	3.0	3.9	1.9	1.4	80
Jun	7.7	0.8	2.9	1.9	2.7	3.7	1.9	1.4	80
Jul	5.4	0.7	2.5	1.6	2.4	3.1	1.5	1.1	80
Aug	5.7	0.7	2.3	1.4	2.0	2.9	1.6	1.2	80
Sep	5.3	0.6	1.9	1.2	1.9	2.3	1.1	0.9	80
Oct	5.6	0.7	1.7	1.2	1.6	2.1	0.9	0.8	80
Nov	4.2	0.6	1.8	1.2	1.6	2.3	1.1	0.8	80
Dec	3.8	0.5	1.9	1.3	1.7	2.4	1.1	0.8	80

Table 4. Summary on outlier of BOD analysis data at each station in the Geumho river

Station	No outlier	Outlier	N
GH1	14	11.67%	120
GH2	20	16.67%	120
GH3	20	16.67%	120
GH4	24	20.00%	120
GH5	22	18.33%	120
GH6	23	19.17%	120
GH7	22	18.33%	120
GH8	23	19.17%	120

지점에 대한 특이점은 영천댐 직·하류에 위치해 주변의 인위적 오염원이 상대적으로 배제되어 BOD 농도가 낮은 GH1 지점이 11.67%로 제일 낮게 나타났고, 그 외 지점들은 매우 비슷한 수로 특이점들이 많이 나타났다. 이 지점들은 대부분 농도가 상승하는 지점이거나 농도가 높은 지점들이고 점오염원의 영향이 있는 지점들과 토지이용에서 비점오염원의 분포가 큰 유역에 위치한 지점들에서 좀 더 많은 특이점들이 출현한 것으로 조사되었다. 이러한 특이점들의 출현은 관측 자료의 평균값에 영향을 줄 수 있으며, 그 값이 높고 많이 나타날수록 수

치가 높게 산정될 가능성이 있다. 월(month)자료에 대해 분석한 결과 2월에 특이점이 가장 많이 발생하였고 그 다음 순으로 3월과 4월 그리고 5월과 6월에 특이점이 많이 발생하였다. 2월의 경우 평균농도는 낮은 반면 이상치가 많이 발생하였는데 이는 BOD의 시간적 주기(cycle)에서 증가하는 시기(increase time)에 해당하는 기점으로 보여 진다. 몬순기후의 영향으로 강우 빈도가 많아 다양한 오염원의 유입으로 수체가 불안정하거나 대량 비점유출에 의한 영향 등으로 7~8월에 특이점이 많이 발생할 것으로 예상되었으나, 대체로 유량이 적고

Table 5. Summary on outlier of BOD analysis data at each month in the Geumho river

Month	No outlier	Outlier	N
Jan	14	17.50%	80
Feb	16	20.00%	80
Mar	15	18.75%	80
Apr	15	18.75%	80
May	15	18.75%	80
Jun	15	18.75%	80
Jul	11	13.75%	80
Aug	13	16.25%	80
Sep	13	16.25%	80
Oct	12	15.00%	80
Nov	14	17.50%	80
Dec	13	16.25%	80

BOD 농도가 높은 저·갈수기에 특이점이 많이 발생하였다. 일반적으로 6월 중·후반부터 시작되는 장마로 토양표면에서 오염물질의 초기 쓸림 이후인 7~8월을 지나면서 대체로 수량이 풍부해지고 수체가 안정화되는 9~10월에 특이점 발생이 작게 나타는 것으로 조사되었다. 이는 강우의 강도가 크거나 강우의 빈도가 많은 월(month)에 지속적인 강우로 인한 수체의 세정 효과로 특이점의 발생이 줄어들 수 있음을 의미한다. Lee et al. (2012)은 금강유역을 대상으로 한 연구에서 선행 무 강우일수가 길수록 토양표면에 축적된 오염물질이 강우 초기 쓸림 현상으로 인해 유출 초반기에 높은 농도의 유출 특성을 나타내고 이 후 수체가 안정화됨을 보고한바 있다. 그리고 상대적으로 강우빈도가 적은 저·갈수기시 특이점이 많이 발생한 원인은 간헐적 강우 때 마다 토양으로부터 고농도의 비점오염원(non-pollution source)이 표면 유출(surface run-off)로 나타난 결과이거나 혹은 자연배경오염원(natural background pollutant)을 제외한 불특정 점오염원의 관리소홀로 인한 영향으로 추정해 볼 수 있다(Mainstone and Parr, 2002; Lee et al., 2014). 본 연구 결과에서 특이점이 가장 많이 나타난 2월은 가장 적게 나타난 7월 보다 1.5배 정도 특이점이 발생한 것으로 분석되었다. 그리고 이러한 특이점들에 대해 향후 좀 더 심도 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서 계절 맨-켄달 검정법과 LOWESS 경향 분석법을 적용하여 금호강에서 2005년부터 2014년까지 10년 기간 동안의 BOD 관측 자료에 대한 구체적인 장기 변화 경향을 분석하였다. 또한 탐색적 자료 분석을 이용하여 시·공간적인 BOD 농도 변화에 대한 분포특성을 분석한 주요 결과는 다음과 같다.

1) 금호강 본류 총 8개 지점의 BOD 자료에 대해서 계절 맨-켄달 검정법과 LOWESS 분석법으로 장기 경향 분석을 실시한 결과 8개 지점 중 GH1, GH5, GH6, GH7 등 4개 지점이 감소하는 경향으로 나타났고, GH2, GH3, GH8 등 3개 지점은 경향성이 없는 것으로 조사되었으며, 유일하게 GH4 지점이 BOD가 증가하는 경향을 보이는 것으로 분석되었다. 금호강 최 하류 말단에 위치해 오염부하가 가장 심한 GH8 지점은 2011년도 이후부

터 다시 증가하고 있는 추이를 나타냈다.

2) BOD농도변화에 대한 공간적 분포특성은 평균값(Mean)과 중앙값(M(median))이 상류에서 하류로 점점 증가하는 것으로 나타났다. 사분위수 범위(Spr(H))는 오염부하가 가장 심한 GH8지점이 가장 크게 나타났고 주변 오염원의 영향이 상대적으로 적은 GH1 지점이 가장 낮게 나타났다. 시간적 분포특성은 강우량이 적은 2월~6월에 대체로 큰 산포와 범위(Spr(H))를 보이며 BOD 농도가 높게 나타났고, 장마 후 하천의 수량이 풍부해져 수체가 안정화되는 9월~1월에 산포가 작아지며 그에 따라 BOD 수치도 낮게 나타났다. 몬순기후대에 속하는 우리나라는 강우의 계절별 차이가 크며 수질분포는 유역 내 오염원과 강우에서 기인한 하천유량의 변화에 따라 다른 양상을 보인다. 이와 같이 기후변화에 따른 수리수문학적 요인들과 하천에서 이화학적 변이간의 상호연관성 이해는 효과적인 수질관리를 위해 매우 중요 할 것으로 사료된다.

3) 지점과 월별로 특이점(outlier)들을 분석한 결과 지점에 대한 특이점은 점오염원의 영향이 있는 지점들과 토지이용에서 비점오염원의 분포가 큰 유역에 위치한 지점들에서 좀 더 많은 특이점들이 출현한 것으로 조사되었다. 월(month)자료에 대해 분석한 결과 2월에 특이점이 가장 많이 발생하였고 그 다음으로 3~6월에 특이점이 많이 발생하였다. 흥미로운 사실은 비점유출 등에 의한 영향 등으로 7~8월에 특이점이 많이 발생할 것으로 예상했지만 대체로 유량이 적고 BOD 농도가 높은 저·갈수기에 특이점이 많이 발생하였다는 점이다. 이러한 때에 출현한 특이점들을 주의 깊게 관찰 할 필요성이 있다.

비모수적통계분석 기법인 계절 맨-켄달 검정법(seasonal Mann-Kendall test)과 LOWESS 경향분석을 함께 사용하여 금호강에서 BOD 농도 추이를 분석해 본 결과 대부분 일정한 수질을 유지하거나 감소하는 추이를 나타내고 있으며, 이 같은 결과는 금호강 본류에서 BOD는 감소하거나 일정한 농도로 유지 및 관리되고 있다는 것으로 판단 할 수 있다. 하지만 LOWESS 결과에서 다시 증가하고 있는 추이를 보이는 지점과 유일하게 증가하는 경향으로 나타난 금호B 단위유역인 GH4 (Gumho river 2A)지점에 대해서는 적어도 수질이 악화되지 않는 범위 내에서 관리가 이루어져야 한다고 판단된다. 또한

탐색적 자료 분석에서 특이점(outlier)은 수질관리측면에서 매우 중요하게 다루어 져야 하며 향후 수계에서 오염물질에 대해 관리방안을 마련하는데 있어 고려되어야 할 사항이다. 본 연구결과들에서 계절 맨-켄달 검정법과 LOWESS 경향분석법 그리고 시·공간 그래프는 장기적인 수질변화 경향을 분석하는데 대단히 유용하며, 서로의 문제점을 상호 보완 할 수 있는 통계 기법으로 향후 수계에서 효율적인 수질관리를 위한 정책 시행에 따른 수질 개선 효과를 판단하는데 있어 활용도가 높을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Cleveland, W. S., 1979, Robust Locally weighted regression and smoothing scatterplots, *Journal of American Statistician Association*, 74, 829-836.
- Cleveland, W. S., Devlin, S. J., 1988, Locally weighted regression: An approach to regression analysis by local fitting, *Journal of the American Statistician Association*, 83, 596-610.
- Chris, P. M., William, Parr., 2002, Phosphorus in rivers-ecology and management, *Science of the Total Environment*, 23, 25-47.
- Daegu Regional Environmental Office, 2007, Water environmental management plan in Geumho River middle zone, Daegu Regional Environmental Office, 3-5.
- Hirsch, R. M., Slack, J. R., 1984, A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence, *Water Resources Research*, 20(6), 727-732.
- Jacoby, W. G., 2000, Loess: a nonparametric, graphical tool for depicting relationships between variables, *Electoral Studies*, 19, 577-613.
- Jung, K. Y., 2009, Advanced control strategieso water quality management in Nakdong river, Master's Thesis, Kyungpook National University, Daegu Metropolitan City.
- Jung, K. Y., Im, T. H., Kim, K. H., Lee, I. J., Yoon, J. S., Heo, S. N., 2012, Development and application of coliform load duration curve for the Geumho river, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 28(6), 890-895.
- Kim, J. H., 2001, Non-parametric trend analysis of stream quality in Nakdong River, Master's Thesis, Ewha Womans University, Seoul special city.
- Kim, J. H., Park, S. S., 2004, Long-term trend analyses of water qualities in Nakdong river based on non-parametric statistical methods, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 28(4), 574-581.
- Kim, M. A., Lee, J. K., Zoh, K. D., 2007, Evaluation of the Geum river by multivariate analysis: principal component analysis and factor analysis, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 23(1), 161-168.
- Kim, S. Y., 2008, Application of Mann-Kendall methods for the performance assessment of the total pollution load management of Geum river, Master's Thesis, Hanbat National University, Daejeon Metropolitan City.
- Kim, Y. H., Han, J. H., An, K. G., 2012, Physico-chemical water quality gradients along the main axis of the headwater-to-downstream of Geumho river and their influences on fish guilds, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 28(4), 561-573.
- Kim, E. J., Kim, Y. S., Rhew, D. H., Ryu, J. C., Park, B. K., 2014, A study on the water quality changes of TMDL unit watershed in Guem river basin using a nonparametric trend analysis, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 30(2), 148-158.
- Kim, J. T., 2014, Lowess and outlier analysis of biological oxygen demand on Nakdong main stream river, *JKDISS*, 25(1), 119-130.
- Lyu, J. H., Lee, D. G., 2007, Inquiry of water environment in mihocheon (stream) -water quality monitoring focused on TOC-, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 23(5), 731-739.
- Lee, H. W., Park, S. S., 2008, Long-term trend analyses of water qualities in mangyung watershed, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 24(4), 480-487.
- Lee, J. H., Park, S. Y., Kim, D. H., Lee, Y. J., Park, M. J., 2012, Long-term monitoring and analysis for discharge characteristics of nonpoint source pollution by land use types in Geum river basin, *J-KOSHAM*, 12(6), 343-350.
- Lee, S. J., Kim, Y. I., 2014, Improvement on management of non-point source pollution for reasonable implementation of TMDL - focusing on selection of non-point source pollution management region and management of non-point source pollutant, *Korean Soc. Environ. Eng.*, 36(10), 719-3723.

- Mann, H. B., 1945, Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, 13, 245-249.
- Nakdong River Environment Research Center, 2009, '08 Management report of target water quality monitoring system in Nakdong river basin, Nakdong River Environment Research Center, Gyeongsangbuk-do.
- Park, J. D., Oh, S. Y., 2012, Contributions to the impaired water bodies by hydrologic conditions for the management of total maximum daily loads, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 28(4), 574-581.
- Park, J. H., Park, B. K., Lee, J. K., Rhew, D. H., 2013, Necessity of refractory organic matters management in total maximum daily loads (TMDLs), *J. Korean Soc. Water Environ.*, 29(3), 393-399.
- Sokal, R. R., Rohlf, F. J., 1995, *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*, W. H., Freeman & Co., New York, NY.
- Son, J. G., Park, J. M., Choi, J. K., Song, J. D., 2003, Characteristics of water quality in upper stream watershed of Dongjin river, *J. Korean Soc. Rural Plan.*, 9(2), 19-28.