



계절 Mann-Kendall 검정을 이용한 낙동강 유역의 월별 수질 장기 경향성 분석

Trend Analysis of Monthly Water Quality Data in Nakdong River Based on Seasonal Mann-Kendall Test

윤정혜* · 황세운** · 김동현* · 김상민**,[†]

Yun, Jung-hye · Hwang, Syewoon · Kim, Dong-hyeon · Kim, Sang-min

Abstract

In this study, we analyzed the trends of water quality along the main stream in Nakdong river basin using the recent data and seasonal Mann-Kendall test. Monthly averaged values of DO, BOD, SS, COD, TN, and TP from 1989 to 2014 for 14 stations (including 2 TMDLs stations) were used in the study. The trend analysis results showed that BOD and TP at most stations has decreasing temporal trend except a few stations while COD and SS showed increasing trend at most stations. Temporal trends in TN at 8 stations were found to be statistically significant and 5 of them showed increasing temporal trend. Temporally averaged BOD, COD, TN and TP were generally increasing as going downstream and the worst water quality were found at Goryeong and Hyunpung station. Overall, water quality of Nakdong river especially in COD, SS, and TN getting worse in time at most stations and as going downstream.

Keywords: water quality; Nakdong river; seasonal Mann-Kendall test; trend analysis

1. 서 론

최근 낙동강과 한강을 중심으로 전국 주요 하천에 녹조가 발생하여 수질에 영향을 미치고 있으며, 환경부에서는 수질 관리를 위해 전국 지류·지천 18곳을 지정하였다. 그 중 낙동강 수계가 10곳으로 한강, 금강, 영산강에 비해 상대적으로 많은 지점들이 관리가 필요한 것으로 나타났다. 낙동강유역의 효율적인 수질관리를 위해 수질변화 특성을 파악하고 장기적인 변화추세를 파악하는 것이 필요하다. 이러한 추세분석을 위해 계절 Mann-Kendall, Lowess, Sen's slope 등이 많이 이용되고 있다.

국내에서 이루어진 수질변화에 대한 추세분석 사례를 살펴보면, Nam (2012)은 대전 3대 하천인 갑천, 유등천, 대전천에 대해 Mann-Kendall 검정을 이용하여 2002년부터 2011년까지 BOD, COD, TN, TP, Chal-a 등에 대해 분석한 바 있으며, Kwak et al. (2013)은 도암호에서 하절기 수질의 장기적인 경향을 Sen's slope 검정과 Mann-Kendall 검정을 이용하여 2001년, 2002년, 2004년 및 2009~2012년 하절기의 COD,

SS, EC, TN, TP, Chl-a의 변동성을 분석하였다. Song et al. (2002)은 영산강을 대상으로 1992년부터 2009년까지 BOD, COD, TN, TP, Chl-a, EC, SS를 계절 Mann-Kendall 검정과 Lowess 검정을 이용하여 장기간 경향을 분석하였다. 그 외 다수 연구자들이 비모수 통계분석 방법을 이용하여 남·북한강 (Park et al., 1995)과 탐진강 (Kim et al., 2005), 삼교천 (Rim, 2013)에 대해 수질 경향성을 분석한 바 있다. 또한, 만경강 (Kim et al., 2002)과 동진강 (Son et al., 2002)에 대해 수질변화 및 특성을 분석한 바 있다.

낙동강 유역에 대한 수질 경향성 연구들을 살펴보면 Kim and Park (2004)은 일반측정망 총 49개의 지점에 대해 1990년부터 1999년까지 월별 수질자료 (BOD, TN, TP)를 수집하여 비모수 통계기법인 계절 Mann-Kendall 검정과 Lowess (Locally Weighted Scatter Plot Smoother) 검정을 수행 및 분석하였다. Kim (2014)은 BOD를 2003년부터 2013년까지, 총량측정망 14개의 지점에 대해 Lowess를 이용하여 경향성을 분석한 바 있으며, 이외에도 Kim and Kang (2007)은 1989년부터 2000년까지의 수온, DO, BOD, COD, SS, TN, TP, EC자료에 대해 Mann-Kendall 검정을 사용하여 수질경향성을 분석하였으며, Choi et al. (2012)는 BOD, COD, TN, TP에 대해 통계적 분석 (상관분석, 회귀분석, 분산분석, 시계열분석)을 이용하여 수질변화 특성을 파악하였다. Yu et al. (2010)은 NTrend 1.0 프로그램을 이용하여 BOD에 대해 고령지점과 물금지점을 대상으로 1989년부터 2006년까지 추세분석을 실시한 바 있다.

* Dept. of Agriculture Engineering, Gyeongsang National Univ.
** Dept. of Agricultural Engineering (Insti. of Agric. and Life Sci) Gyeongsang National Univ.
† Corresponding author
Tel.: +82-55-772-1931 Fax: +82-55-772-1939
E-mail: smkim@gnu.ac.kr

Received: October 19, 2015
Revised: November 23, 2015
Accepted: November 24, 2015

기존 낙동강 유역에 대한 수질 경향성 분석은 최소 5년에서 최대 18년에 대한 자료를 이용하였으며, TN, TP, COD, SS 항목에 대해 증가하는 경향이 나타나는 것으로 분석하였다. 또한 BOD의 경우 Yu et al. (2010); Kim and Park (2004)은 해당 수질측정 지점에 대해 전반적으로 감소하는 경향으로 나타났으나, Kim and Kang (2007)은 안동, 구미, 달성 등에서 증가하는 경향이 나타났고, Kim (2014)은 2009년을 기점으로 BOD 항목의 이상치가 많아지는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 낙동강 본류의 14개 수질관측지점의 DO, BOD, COD, TN, TP, SS에 대한 1989년부터 2014년까지 장기간 자료를 이용하여 계절 Mann-Kendall 검정을 통한 추세 분석을 실시하였다. 최근 자료를 이용한 낙동강 본류 수질관측 지점의 수질의 장기적 변동성에 대한 분석결과를 제시하였으며, 기존의 낙동강 유역 수질 변동성 분석 연구 결과와 비교함으로써 자료기간에 따른 Mann-Kendall 검정 결과의 차이를 고찰하였다.

II. 재료 및 방법

1. 대상유역

낙동강 유역은 유역면적 23,690 km², 유로연장 525 km, 유역평균표고 290.5 m, 유역평균경사 32.2%, 형상계수 1.62의 유역특성을 가지고 있으며, 하천수 수질 측정망 130개소, 호소수 수질측정망 24개소가 있으며 유역 내 기상청 기상관측소는 14개소가 위치하고 있다 (Park et al., 2010).

낙동강 유역의 상류구간은 축사와 농경지 유출수와 같은 비점오염원이 많아 그에 따른 오염유출량이 증가하는 추세이며 중하류 구간은 인구가 밀집된 대구와 같은 대도시가 있어 수질관리가 어려운 실정이다 (Lee et al., 2014b; Hwang, 2012). 특히 낙동강 상류 유역에 위치한 임하호 및 임하댐은 2002년과 2003년의 태풍영향으로 고탁수의 수질문제가 있었으며, 2007년에 우리나라 최초로 비점오염원 관리지역으로 지정되었고 비점오염원 및 수질에 대한 연구가 이루어지고 있다 (Jeon et al., 2013).

환경부에서는 낙동강을 크게 상류권역, 중류권역, 하류권역 (서부 하류권역, 동부 하류권역)으로 구분하고 있으며, 본 연구에서는 이 기준을 따라 낙동강 본류에 위치한 14개 관측지점을 상류권역 (안동1, 안동2, 예천, 상주1, 상주2), 중류권역 (상주, 구미, 달성, 고령, 현풍, 구미 (낙본E)), 하류권역 (합천, 남지, 용산 (낙본H))으로 구분하였다 (Fig. 1). 14개 지점 중 낙본E와 낙본H는 총량측정망이며 나머지는 일반측정망이다.



Fig. 1 Selected water quality monitoring stations of the Nakdong river

2. 수질자료

수질자료 분석을 위해 환경부의 물환경정보시스템 (water.nier.go.kr)의 자료를 이용하였으며, 일반측정망은 1989년부터 2014년까지, 총량측정망은 2004년부터 2014년까지의 자료를 수집하여 분석하였다. 분석에 이용된 수질항목은 DO, BOD, COD, TN, TP, SS이며 각 지점별 월평균 자료를 이용하였다.

3. 계절 Mann-Kendall 검정 경향성 분석

계절 Mann-Kendall 검정법은 Mann (1945)에 의해 제안되었으며, Kendall (1975)과 Hirsch et al. (1982, 1984)의 추가적인 연구를 통해 개선되었다. 계절 Mann-Kendall 검정법은 월별 수질자료의 각 계절에 대한 Kendall 검정 (Kendall' tau)을 시행한 후 수질자료들 사이의 상관계수를 통해 유의성을 검증하고, 각 결과들의 가중합을 산정하여 양 (Positive), 영 (Zero), 음 (Negative)의 경향성을 분석하는 비모수 통계방법이다 (Nam, 2012; Kim and Park, 2004).

켈달 통계 추정치 S_i 는 i 월에 해당하는 수질자료 간의 차이의 합으로 $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}$ 으로 표현하면 다음 식 (1)과 같이 정의된다.

$$S_i = \sum_{k=1}^{n_i-1} \text{sgn}(X_{i(k+1)} - X_{ik}) \quad (1)$$

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

여기서, S_i 는 월별 통계량이며, n 은 자료의 연도수, i 는 해당 월, X 는 해당 연도의 월 수질데이터를 나타낸다. $\text{sgn}(X_{ij}-X_{ik})$ 은 연도별 해당 월 수질자료 간의 차이 ($X_{ij}-X_{ik}$)가 각각 양 (Positive), 영 (Zero), 음 (Negative)일 때, +1, 0, -1로 표현하여 이들의 합인 S_i 를 산정한다. 이와 같이 계산된 총 12개의 월별 S_i 통계량은 모두 합산하여 전체 추정 통계치인 S 를 도출한다.

또한, 전체 추정 통계치 S 에 대한 분산 $\text{VAR}(S)$ 를 산정하고, 다음 식 (2)에 의해 표준정규변량 Z 를 산정하여 이를 유의 수준의 표준 통계치 (P)와 비교하여 경향성을 파악한다.

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

여기서, Z 는 표준정규변량이며, S 는 전체 추정 통계치, $\text{VAR}(S)$ 는 S 에 대한 분산이다.

$$\begin{aligned} P &= 2(1 - \Phi(|z|)) \\ &= 2\left(1 - \frac{1}{2}\left(1 + \text{erf}\left(\frac{|z|}{\sqrt{2}}\right)\right)\right) \\ &= 1 - \text{erf}\left(\frac{|z|}{\sqrt{2}}\right) \end{aligned} \tag{3}$$

$\Phi(x)$: cumulative density function (cdf)
 $\text{erf}(x)$: error function

P 는 표준 통계치로서 $P \leq \alpha$ 일 때, 귀무가설 (H_0)을 기각하고 경향성이 있다는 가설을 수용한다. 여기서 α 는 검정에 대한 유의수준이며, 귀무가설 (H_0)은 ‘경향성이 없다’이며 대립 가설 (H_1)은 ‘경향성이 있다’로 설정하였다. 95 % 이상을 신뢰구간으로 분석하고 전체 추정통계치 S 의 값이 양일 때, 시간에 따른 증가추세를 의미하고 S 의 값이 음일 때, 감소추이를 의미한다.

본 연구에서는 계절성을 가지고 있는 월평균 수질자료의 장기 경향성을 분석하기 위해, XLSTAT 프로그램을 이용하여 계절 Mann-Kendall 검정을 시행하였다. 수질자료는 이상치와 결측치가 있으므로 비모수적 통계방법이 필요하며, 계절성을 배제하는 추세분석이 필요하다. 따라서 계절성과 비정규성을 가진 수질자료에는 계절 Mann-Kendall 검정이 적합하다고 판단하였다.

4. Sen's slope

Sen (1968)에 의해 개발되었으며, n 쌍의 데이터에 대해 추세 기울기를 평가하는 비모수적 방법이다. 이 방법은 추세 기울기를 추정하기 위해 선형모형을 사용하며, 잔차 분산 (Q_i)은 아래와 같다.

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} \quad (i = 1, \dots, n) \tag{4}$$

여기서 X_i, X_j 는 각각 j 와 k 시간에서의 데이터 값이다 ($j > k$). 하나의 측정치에서 $N = n(n-1)/2$ 이며 n 은 자료기간의 수이다. 다수의 측정치에서 $N < n(n-1)/2$ 이며 n 은 측정치의 총 수이다. N 값은 크기순으로 정렬가능하며, Sen's slope 추정량의 중앙값 (Q_{med})은 아래와 같다.

$$Q_{\text{med}} = \begin{cases} Q_{[(n+1)/2]}, & \text{if } N \text{ is odd} \\ \frac{Q_{[n/2]} + Q_{[(n+2)/2]}}{2}, & \text{if } N \text{ is even} \end{cases} \tag{5}$$

Q_{med} 는 데이터의 경향을 보여주며, 그 값들은 경향의 기울기를 나타낸다. 결과에서 Sen's slope는 Q_{med} 값이며 양의 값은 증가경향을 나타내고 음의 값은 감소경향을 나타낸다. Sen's slope는 $P \leq 0.05$ 일 때 통계적으로 유의하며, $P > 0.05$ 일 경우 통계적으로 유의한 경향성은 없다고 판단한다.

본 연구에서는 Mann-Kendall 검정의 유의수준 ($\alpha=0.05$)에 따라 신뢰구간을 계산하였으며, 신뢰구간 (Gilbert 1987)은 아래와 같다.

$$C_a = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{VAR}(S)} \tag{6}$$

$\text{VAR}(S)$ 는 S 에 대한 분산으로 Mann-Kendall 검정에서 사용한 값이며, $Z_{1-\alpha/2}$ 는 표준정규분포로부터 얻을 수 있다. Q_{min} 과 Q_{max} 는 신뢰구간의 하향한계와 상향한계이며 Q_{med} 와 유사한 특성을 보인다.

XLSTAT 프로그램에서 계절 Mann-Kendall 검정을 통해 Sen's slope가 산정되며, 이를 통해 자료기간에 대한 수질의 경향성을 판단할 수 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 상류 유역의 수질 경향분석

Table 1은 상류유역의 각 지점별, 수질항목별 통계치와 P 값 산정결과를 보여주고 있다. 각 측정지점의 수질항목별 유

Table 1 The result of statistical analysis and trend of water quality in upper Nakdong river watershed

Station/W.Q.	Category	Mean	Max.	Min.	Std.	P value	Sen's slope	Trend
Andong1	DO	9.47	15.60	3.90	2.15	0,0010	0.035*	Upward
	BOD	0.90	1.60	0.40	0.20	0,0001	-0.011*	Downward
	COD	3.26	6.50	1.00	0.80	0,0001	0.059*	Upward
	TN	1.79	6.16	0.06	0.81	0,0420	0.007*	Upward
	TP	0.05	0.22	0.00	0.04	0,0001	-0.001*	Downward
	SS	3.48	51.20	0.60	4.55	0,0001	0.032*	Upward
Andong2	DO	10.91	17.40	6.00	1.83	0,2108	0.000	No trend
	BOD	1.05	2.30	0.40	0.26	0,0001	-0.011*	Downward
	COD	3.70	8.20	1.20	1.04	0,0001	0.064*	Upward
	TN	1.99	6.54	0.35	0.90	0,4605	0.006	No trend
	TP	0.06	0.28	0.00	0.05	0,0001	-0.002*	Downward
	SS	6.03	50.30	0.40	6.76	0,0261	0.057*	Upward
Yecheon	DO	10.74	19.00	6.60	2.15	0,3449	-0.011	No trend
	BOD	1.10	2.00	0.50	0.28	0,0001	-0.006*	Downward
	COD	3.65	7.60	1.20	1.08	0,0001	0.073*	Upward
	TN	2.38	9.48	0.58	1.06	0,0002	0.033*	Upward
	TP	0.07	0.96	0.00	0.08	0,0001	-0.002*	Downward
	SS	8.78	61.20	0.40	9.23	0,0001	0.146*	Upward
Sangju1	DO	10.56	19.40	6.10	2.32	0,0139	-0.013*	Downward
	BOD	1.01	2.20	0.40	0.28	0,0001	-0.019*	Downward
	COD	3.31	9.40	1.40	1.09	0,0001	0.056*	Upward
	TN	2.40	5.91	0.57	0.99	0,0001	0.042*	Upward
	TP	0.07	0.96	0.01	0.07	0,0001	-0.002*	Downward
	SS	8.53	79.30	0.40	9.86	0,0001	0.171*	Upward
Sangju2	DO	10.50	19.10	5.80	2.32	0,1337	0.002	No trend
	BOD	1.11	2.90	0.50	0.39	0,0001	-0.015*	Downward
	COD	3.44	8.80	1.40	1.10	0,0001	0.052*	Upward
	TN	2.43	6.22	0.54	1.00	0,0001	0.039*	Upward
	TP	0.07	1.01	0.01	0.08	0,0001	-0.002*	Downward
	SS	9.66	82.00	0.40	11.34	0,0001	0.184*	Upward

*Statistically significant ($p < 0.05$)

의확률 P값을 산정하여 $P \leq 0.05$ 일 때 귀무가설을 기각하고 Sen's slope의 값이 통계적으로 유의하며 경향성이 있음을 나타낸다. Sen's slope의 분석결과를 통해 수질의 경향성을 함께 표시하였다.

상류 유역의 수질항목별 평균값을 분석한 결과, 하류로 갈수록 TN, TP, SS는 미세하게 증가하였으나, DO, BOD, COD는 큰 차이가 없었다. P값 산정 결과 안동2, 예천, 상주2 지점에서 DO와 안동2 지점의 TN이 유의수준 (0.05)보다 크므로 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다.

Fig. 2는 상류유역의 각 수질항목별 경향성을 그래프로 보여주고 있다. Fig. 2~4에서 배경이 음영으로 제시된 그래프는 통계적으로 유의한 경향성이 없는 경우를 구분하고 있으며, DO는 총 14지점 중 6지점에서 유의한 경향성이 없는 것으로 나타나 그래프에서 제외하였다. BOD와 TP는 전 지점에서 감소하는 경향을 보였으며, COD, SS, TN은 전 지점에서 증가하는 경향을 보였다. 본 연구와 Kim and Park (2004) 연구에서 상주1 지점을 비교하였을 때 BOD와 TN은 감소경향으로 동일한 경향성을 나타내었지만, TP의 경향성은 상반된 결과

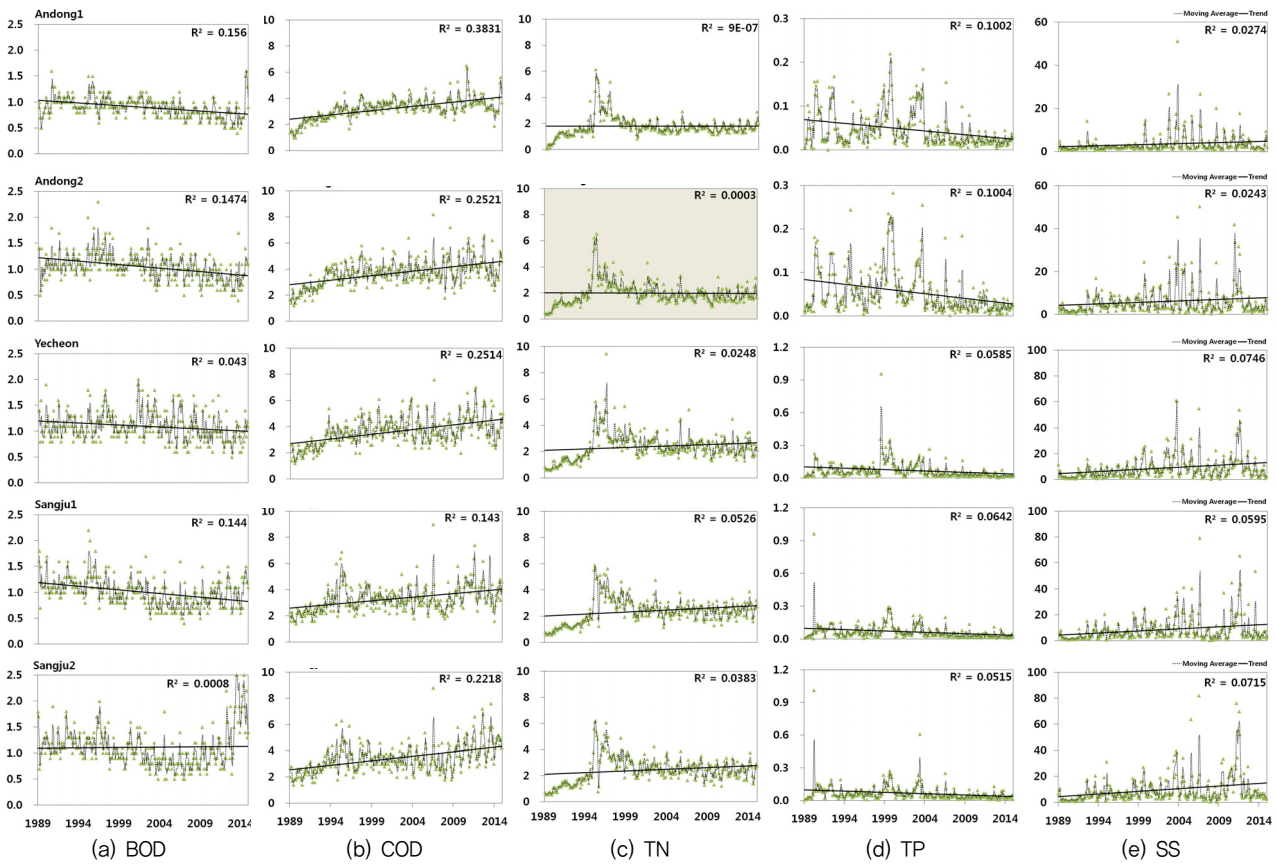


Fig. 2 Trend graph of water quality for each stations in upper Nakdong river watershed

를 나타내었다. Kim and Park (2004) 연구에선 1999년까지 경향성을 분석하였으며 1997년을 기점으로 TP의 급격한 증가로 인해 증가경향이 나타난 것으로 보이며, 본 연구에서는 2000년대 초부터 서서히 감소하였기 때문에 상반된 결과가 나온 것으로 판단된다.

2. 중류 유역의 수질 경향분석

Table 2는 중류유역의 각 지점별, 수질항목별 통계치와 P 값 산정결과를 보여주고 있다. SS의 평균값은 중류유역의 지점 중 구미(낙본E)가 제일 높게 나타났다. SS를 제외한 수질 항목의 평균값은 상주3 지점에서 현풍 지점으로 갈수록 증가하고 있다. 특히 상주3 지점에서 달성 지점까지 평균값은 서서히 증가하지만 고령과 현풍 지점의 SS를 제외한 수질항목의 평균값은 다른 지점과 비교했을 때 약 2배정도 높게 나타났다. 이는 금호강이 합류되는 지점이기 때문에 평균값이 높게 나온 것으로 판단된다. 고령 지점은 Yu et al. (2010)에서 낙동강 중상류의 오염도를 대표하는 지역이라고 하였으며, Lee et al. (2014a)에선 금호강 중권역이 비점오염원 부하량

이 가장 많아 오염도가 제일 높았으며, 고령 및 현풍 지점을 포함한 중권역이 2번째로 높은 지역으로 연구된 사례가 있다. DO는 상주3, 구미 지점, BOD는 구미 지점에서 통계적으로 유의한 경향성이 없는 것으로 나타났다. SS는 구미(낙본E) 지점, TN은 구미, 구미(낙본E), 달성, 현풍 지점, TP는 구미 지점에서 각각 경향성의 유의성이 낮은 것으로 나타났다.

Fig. 3은 중류유역의 각 수질항목별 경향성 그래프를 보여 주고 있다. BOD는 상주3, 고령, 현풍 지점에서 증가경향이 나타났으며, 구미(낙본E), 달성 지점에서 감소경향이 나타났다. COD는 고령, 현풍 지점에서 감소경향이 나타났으며, 제외한 지점에서 증가경향이 나타났다. TN은 상주3, 고령 지점에서 각각 증가, 감소경향이 나타났다. TP와 SS는 전 지점에서 각각 감소, 증가경향이 나타났다. Kim and Park (2004) 연구에서 Mann-Kendall 검정을 이용하여 고령 지점의 BOD, TN, TP 경향성을 분석한 결과 BOD는 감소 경향으로 본 연구 결과와 동일하였지만, TN, TP는 상반된 결과를 보였다. 이는 1990년대 초반까지 TN, TP가 증가하였지만 1996년을 기점으로 감소하였기 때문에 본 연구의 자료기간에 대한 전체적인 경향은 감소경향으로 나타났다.

Table 2 The result of statistical analysis and trend of water quality in middle Nakdong river watershed

Station/W.Q.	Category	Mean	Max.	Min.	Std.	P value	Sen's slope	Trend
Sangju3	DO	10.53	16.10	5.70	2.10	0.9946	-0.008	No trend
	BOD	1.15	2.60	0.40	0.38	0.0007	-0.007*	Downward
	COD	3.49	8.60	1.30	1.06	0.0001	0.052*	Upward
	TN	2.51	6.55	0.60	0.98	0.0001	0.029*	Upward
	TP	0.07	1.08	0.00	0.08	0.0001	-0.001*	Downward
	SS	10.17	121.70	0.80	12.94	0.0001	0.256*	Upward
Gumi	DO	10.74	18.40	6.30	2.04	0.6099	0.004	No trend
	BOD	1.81	4.90	0.50	0.63	0.3699	0.000	No trend
	COD	4.38	9.40	1.40	1.26	0.0001	0.100*	Upward
	TN	3.09	10.18	0.59	1.43	0.0846	0.020	No trend
	TP	0.12	0.70	0.02	0.08	0.2241	0.000	No trend
	SS	13.11	176.20	1.00	16.43	0.0001	0.254*	Upward
Gumi (Nackbon E)	DO	10.76	15.90	6.50	2.20	0.0001	0.182*	Upward
	BOD	1.72	4.90	0.68	0.64	0.0064	0.029*	Upward
	COD	4.73	9.37	2.77	1.26	0.0001	0.188*	Upward
	TN	2.96	4.53	1.69	0.63	0.8397	0.002	No trend
	TP	0.10	0.25	0.03	0.05	0.0327	-0.003*	Downward
	SS	20.71	176.20	1.70	24.56	0.0621	-0.661	No trend
Dalsung	DO	10.91	17.80	6.30	2.22	0.0001	0.035*	Upward
	BOD	2.04	4.50	0.90	0.69	0.0464	0.006*	Upward
	COD	4.81	9.10	1.40	1.37	0.0001	0.100*	Upward
	TN	2.81	10.22	0.32	1.30	0.1236	0.017	No trend
	TP	0.10	0.48	0.01	0.07	0.0001	-0.001*	Downward
	SS	12.79	95.60	0.80	12.53	0.0001	0.275*	Upward
Goryeong	DO	9.86	17.60	2.60	2.54	0.0001	0.129*	Upward
	BOD	4.14	29.30	1.30	2.79	0.0001	-0.177*	Downward
	COD	7.58	17.80	4.40	2.25	0.0001	-0.092*	Downward
	TN	4.48	19.30	0.59	2.29	0.0003	-0.053*	Downward
	TP	0.21	0.57	0.02	0.11	0.0001	-0.004*	Downward
	SS	17.38	116.60	1.20	12.78	0.0001	0.348*	Upward
Hyunpung	DO	10.07	18.40	3.30	2.65	0.0001	0.113*	Upward
	BOD	4.10	30.10	1.00	2.84	0.0001	-0.159*	Downward
	COD	7.65	20.70	4.60	2.47	0.0001	-0.092*	Downward
	TN	4.34	15.84	0.67	2.15	0.0508	-0.032	No trend
	TP	0.20	0.68	0.02	0.11	0.0001	-0.003*	Downward
	SS	17.62	132.20	2.40	13.25	0.0001	0.309*	Upward

*Statistically significant ($p < 0.05$)

일반측정망인 구미와 총량측정망인 구미(낙본 E)의 경우 수질측정 지점은 동일하지만 경향성이 다르게 나타났다. 이는 일반측정망인 구미의 자료기간(1989-2014)과 총량측정

망인 구미(낙본 E)의 자료기간(2003-2014)이 다르며, 같은 기간에서도 수질측정날짜가 다르므로 차이가 나타난 것으로 판단된다.

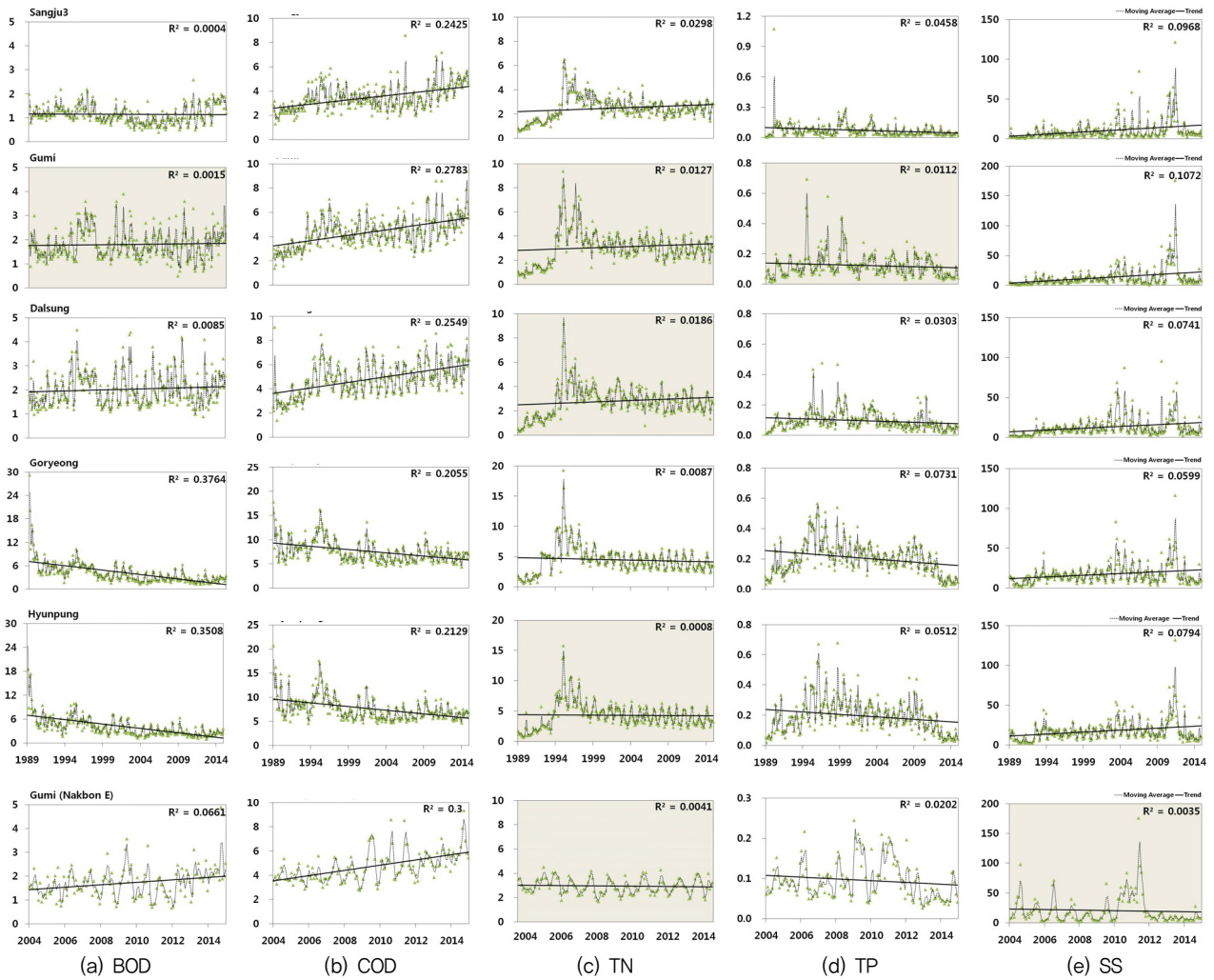


Fig. 3 Trend graph of water quality for each stations in middle Nakdong river watershed

3. 하류 유역의 수질 경향분석

Table 3은 하류유역의 각 지점별, 수질항목별 통계치와 P 값 산정결과를 보여주고 있다. SS 평균값은 총량측정망인 용산(낙본H) 지점에서 가장 높게 나왔으며, SS를 제외한 수질 항목의 평균값은 용산(낙본 H) 지점에서 가장 낮게 나타났다. P값 산정 결과 합천 지점에서 TP, 용산 지점에서는 DO, BOD, TN, 남지 지점에서 SS가 유의한 경향성을 보이지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 하류유역의 각 수질항목별 경향성 그래프를 보여 주고 있다. DO는 전 지점에서 증가경향이 나타났으며 BOD, TN은 전 지점에서 감소경향이 나타났다. COD는 합천, 남지 지점에서 감소경향이 나타났으며 TP는 용산(낙본 H), 남지 지점에서 각각 감소, 증가경향이 나타났다. SS는 합천, 용산(낙본 H) 지점에서 각각 증가, 감소경향이 나타났다.

4. 지점별 수질변동성

Fig. 5는 본 연구에 이용된 낙동강 본류의 수질관측지점을 상류에서 하류로 흘러가는 방향에 따라 좌에서 우로 나열하여 정리한 수질측정 평균치를 보여주고 있다. 수질항목의 평균값은 전반적으로 상류에서 하류로 갈수록 높게 나타났다. BOD, COD, TN, TP의 평균값은 중류유역의 고령 및 현풍 지점이 가장 높게 나타났다. 고령 및 현풍 지점은 금호강 합류 후 지점이기 때문에 농도가 높게 나온 것으로 추정된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 낙동강 유역의 14개 지점(일반측정망 12개, 총량측정망 2개)에 대해 1989년부터 2014년까지의 월평

Table 3 The result of statistical analysis and trend of water quality in lower Nakdong river watershed

Station/W.Q.	Category	Mean	Max.	Min.	Std.	P value	Sen's slope	Trend
Hapcheon	DO	9.91	18.10	3.70	2.53	0.0001	0.075*	Upward
	BOD	3.39	10.60	0.80	1.90	0.0001	-0.124*	Downward
	COD	6.69	17.20	3.20	2.15	0.0001	-0.089*	Downward
	TN	3.70	10.20	1.34	1.34	0.0006	-0.028*	Downward
	TP	0.17	9.00	0.00	0.51	0.0507	0.001	No trend
	SS	20.51	326.00	4.00	24.88	0.0145	0.117*	Upward
Yongsan (Nakbon H)	DO	10.62	16.75	5.70	2.40	0.5287	0.032	No trend
	BOD	2.39	5.43	0.80	0.94	0.1691	-0.050	No trend
	COD	6.04	11.87	3.65	1.28	0.0104	0.056*	Upward
	TN	3.19	5.18	1.55	0.68	0.2424	0.015	No trend
	TP	0.14	0.34	0.03	0.06	0.0001	-0.007*	Downward
	SS	27.98	214.67	6.25	29.35	0.0002	-1.314*	Downward
Namji	DO	10.05	17.10	4.50	2.29	0.0001	0.085*	Upward
	BOD	3.27	8.40	1.10	1.49	0.0001	-0.098*	Downward
	COD	6.47	13.10	3.00	1.80	0.0001	-0.094*	Downward
	TN	3.49	7.77	1.13	1.24	0.0001	-0.041*	Downward
	TP	0.14	0.66	0.00	0.08	0.0324	0.001*	Upward
	SS	19.47	126.50	2.90	15.04	0.0613	0.168	No trend

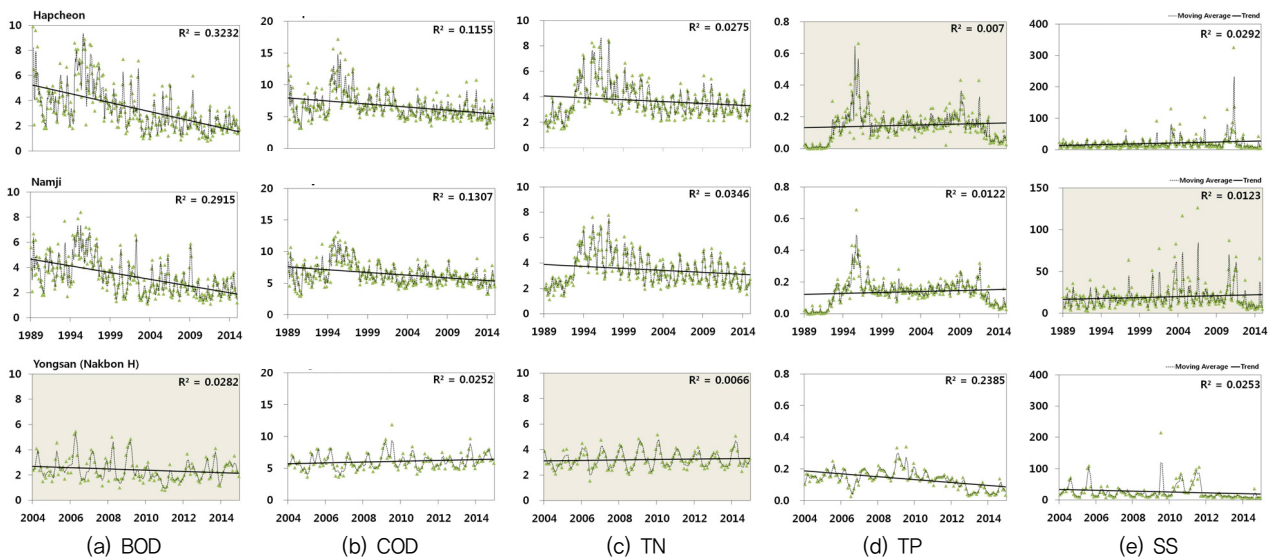
*Statistically significant ($p < 0.05$)

Fig. 4 Trend graph of water quality for each stations in lower Nakdong river watershed

군자료를 이용하여 비모수 통계방법인 계절 Mann-Kendall 검정법을 통해 장기적인 수질 경향성을 분석하였다.

낙동강 유역의 각 수질항목에 따른 총 14개 지점에 대한 수질경향 및 농도를 분석한 결과 BOD는 구미(낙본E) 및 달성에서 증가경향을 보였지만, 이를 제외한 전 지점에서는 감소

경향을 보였다. COD는 14지점 중 10지점에서 증가경향을 보여 이에 따른 관리가 필요한 것으로 보인다. SS는 오염총량제를 실시하는 구미(낙본E) 및 용산(낙본H)과 일반측정망인 남지 지점을 제외한 모든 지점에서 증가경향이 나타났다. TN은 14지점 중 6지점에서 통계적으로 유의한 경향성이 나타나

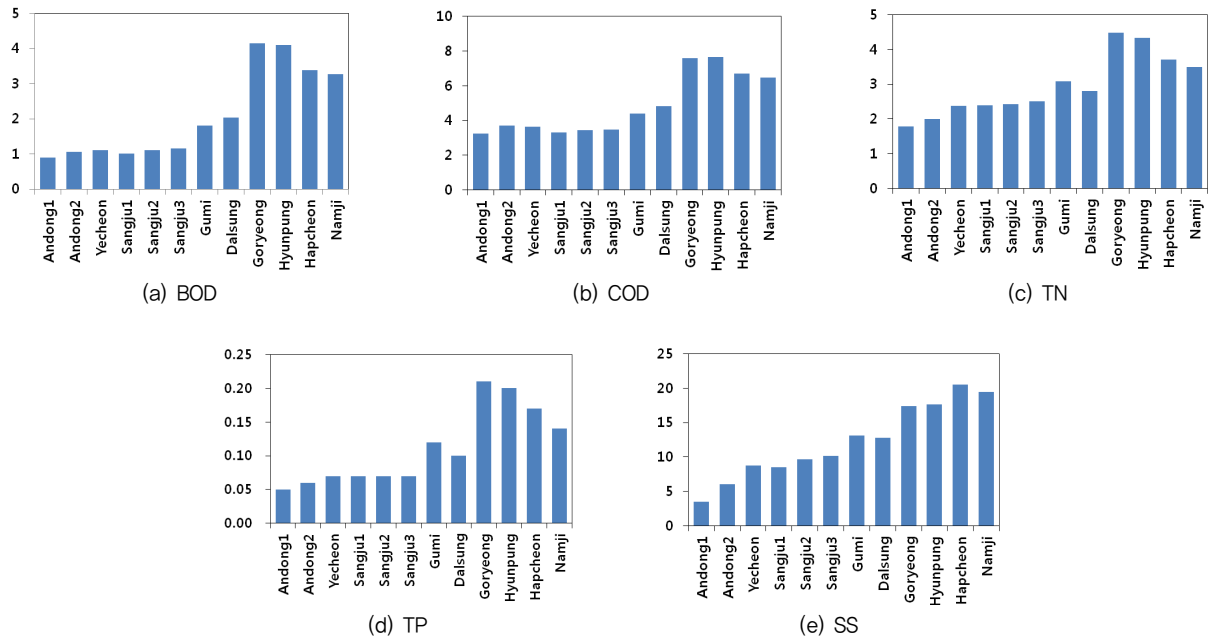


Fig. 5 Averaged water quality at the monitoring stations along the main stream of Nakdong river watershed (Unit: mg/L)

지 않았으며, 5지점에서 증가경향을 보였다. TP는 14지점 중 11지점이 감소경향을 보였으며 DO는 5지점에서 증가경향을 보이고 4지점에서 감소경향을 보였으며 나머지 지점에 대해서는 유의한 경향성이 없는 것으로 나타났다.

일반측정망 지점인 구미와 오염총량측정망 지점인 구미(낙본E)는 측정지점이 같지만 경향성이 다르게 나왔으며, Kim and Park (2004)와 동일한 수질측정망(상주1)에서 TP의 경향성은 다르게 나왔다. 이는 장기간 경향성 분석은 일반측정망과 오염총량측정망의 측정일 및 자료기간이 다르기 때문에 이러한 결과가 나온 것으로 판단된다.

고령 및 현풍은 BOD, COD, TN 그리고 TP에서 감소하는 경향을 보였지만 통계치는 다른 지점에 비해 높게 나타났다. 이는 금호강하류 후 구간으로 구미, 대구와 같이 인구가 밀집되어 있고 대규모 공단으로 인한 것으로 판단되며, 집중적인 관리가 필요한 것으로 생각된다.

상류에서 하류로 갈수록 오염도가 높아지고, 특히 중류유역을 중심으로 공업단지, 인구밀집, 축사 등 주변 환경의 영향으로 인해 일정 지역에서 오염원 배출이 발생하여 수질악화의 원인이 되고 있다. 또한, 기존의 농업용수는 주로 저수지와 중소하천을 대상으로 양수장을 통해 취수해 왔으나, 최근 가뭄이 심해지고 4대강 사업 이후 4대강 본류의 물을 상류로 도수하여 농업용수로 이용하는 등의 사업이 추진되고 있으며, 국가하천으로 흘러드는 지천은 대부분 농업유역으로 구성되어 있다. 따라서 국가하천 본류구간의 수질경향을 파악하고 이로부터 유입지천의 수질을 관리하는 것은 농업유역의

수질관리에 있어 중요한 부분이 될 것으로 판단된다. 본 연구에서 실시한 낙동강 유역의 장기간 수질자료를 이용한 수질경향성 분석결과는 향후 낙동강 유역의 수질평가 및 수질관리에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. Choi, K. Y., T. H. Im, J. W. Lee, and S. U. Cheon, 2012. Evaluation of Water Quality Characteristics in the Nakdong River using Statistical Analysis. *Journal of the Korea Water Resources Association* 45(11): 1157-1168. (in Korean)
2. 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.
3. Hirsch, R. M., J. R. Slack, and R. A. Smith, 1982. Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data. *Water Resources Research* 18(1): 107-121.
4. Hwang, S. J., 2012. Forecasting System for Water Quality Using Artificial Neural Networks: The Kangjung-Koryung Weir on the Nakdong River. Ph. D. Thesis. Keimyung Univ. (in Korean)
5. Jeon, J. H., D. K. Cha, D. H. Choi, and T. D. Kim, 2013. Spatial Analysis of Nonpoint Source Pollutant Loading from the Imhadam Watershed using L-THIA. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(1): 17-29. (in Korean)
6. Kendall, M. G., 1975. Rank Correlation Methods. Charles

- Griffin. London.
7. Kim, G. S., and D. J. Kang, 2007. Analysis of the Variability of Water Quality Data in Nakdong River Basin. *Korea Water Resources Association* 1094-1097. (in Korean)
 8. Kim, J. H., and S. S. Park, 2004. Long-Term Trend Analyses of Water Qualities in Nakdong River Based on Non-Parametric Statistical Methods. *Journal of the Korea Society on Water Quality* 20(1): 63-71. (in Korean)
 9. Kim, J. T., 2014. Lowess and Outlier Analysis of Biological Oxygen Demand on Nakdong Main Stream River. *Journal of the Korea Date* 25(1): 119-130. (in Korean)
 10. Kim, M. A., S. W. Lee, J. K. Lee, and J. S. Lee, 2005. A Non-parametric Analysis of the Tam-Jin River: Data Homogeneity between Monitoring Stations. *Journal of Korean Society on Water Quality* 21(6): 651-658. (in Korean)
 11. Kim, W. J., G. H. Jo, M. C. Eom, and K. Y. Lee, 2002. Property Analysis of the Water Quality in Mankyeong River. *The Korean Society of Agricultural Engineers Conference* 437-440.
 12. Kwak, S. J., B. D. Bhattra, C. K. LEE, and W. M. Heo, 2013. Long-term Trends of Summer Season of Water Quality in Lake Doam. *Korean Journal of Limnology* 46(1): 128-134. (in Korean)
 13. Lee, J. W., H. G. Kwon, and H. Y. Choi, 2014a. Evaluation of Pollution Level Attributed to Nonpoint Sources in Nakdonggang Basin, Korea. *Journal of Environmental Impact Assessment* 23(5): 393-405. (in Korean)
 14. Lee, S. H., B. R. Kim, and H. W. Lee. 2014b. A Study on Water Quality after Construction of the Weirs in the Middle Area in Nakdong River. *Journal of the Korean Society Environmental Engineering* 36(4): 258-264. (in Korean)
 15. Mann, H., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13(3): 245-259.
 16. Nam, T. K., 2012. Trend Analysis of Water Qualities of the Daejeon 3 major Streams Based on Mann-Kendall Test. M. S. Thesis. Hanbat Univ. (in Korean)
 17. Park, S. S., S. H. Lee, B. K. Park, and S. H. Lee, 1995. Non-parametric Statistical Comparison of Tributary Water Qualities between the South and North Branches of the Han River. *Journal of Korean Society Limnology* 28(3): 299-307. (in Korean)
 18. Park, T. Y., S. J. Kim, S. M. Kim, and S. M. Kim, 2010. Temporal and Sptial Analysis of Water Quality Data Observed from Major Water Quality Stations in Nakdonggang Watershed. *Journal of Agriculture and Life Science* 44(5): 117-127. (in Korean)
 19. Rim, C. S., 2013. Dissolved Oxygen Trend in Sapgyo Stream Watershed. *Korea Water Resources Association* 46(6): 667-681. (in Korean)
 20. Sen, P. K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63(324): 1379-1389.
 21. Son, J. G., J. K. Choi, J. W. Cho, J. Y. Cho, and J. D. Song, 2002. Changes of water quality in upper stream of Dong-jin river. *The Korean Society of Agricultural Engineers Conference* 492-432.
 22. Song, E. S., S. M. Jeon, E. J. Lee, D. J. Park, and Y. S. Shin, 2012. Long-term Trend Analysis of Chlorophyll a and Water Quality in the Yeongsan River. *Journal of Korean Society Limnology* 45(3): 302-313. (in Korean)
 23. Water Information System, <http://water.nier.go.kr/>
 24. XLSTAT, <https://www.xlstat.com/>
 25. Yu, J. J., S. H. Shim, Y. S. Yoon, and J. K. Song, 2010. Long-Term Water Quality Trend Analysis with N-Trend 1.0 Program in Nakdong River. *Journal of Korean Society on Water Quality* 26(6): 895-902. (in Korean)