

통계적 경향 분석을 통한 남한강 상류 수계 수질 변동 해석

Analysis of Water Quality Fluctuations in Upstream Namhan River Watershed Using Long-term Statistical Analysis

변상돈^a · 노연정^b · 임경재^c · 김종건^d · 김동진^e · 홍은미^{f,†}

Byeon, Sang-Don · Noh, Yeon-Jung · Lim, Kyeong-Jae · Kim, Jong-Gun · Kim, Dong-Jin · Hong, Eun-Mi

ABSTRACT

There are fifteen non-point pollution management areas in Korea and three of them (Doam lake, Daegi district and Golji-cheon) are located in the upstream of the Namhan river watershed. Many efforts to reduce non-point sources (NPS) pollution have been conducted, however, water quality pollution in the watershed is still serious. To solve these problems, it is a priority to grasp water quality using statistical techniques. In this study, a trend analysis was conducted to evaluate the effect of NPS management in the watershed. The long-term trends from 1996 to 2018 of water quality properties were analyzed using data collected from the water environment information system. Seventeen monitoring stations were selected along the main stream in Namhan river basin. Monthly water quality properties (BOD, COD, TN, TP, TN/TP ratio, Conductivity, SS and Chlorophyll-a) were collected and analyzed by Mann-Kendall test and LOWESS. The results showed that the Conductivity tended to increase in all regions and was the highest level in Jijangcheon. Organic pollution such as BOD and COD tended to increase in the Jungseon area. SS did not show a large tendency, but it showed high concentration in the Doam watershed. In all regions, 40% of water quality properties showed a tendency to 'UP', 15% of water quality properties tended to 'DOWN', and 46% indicated no tendency. In order to determine the cause of this, additional research and measures for improvement are necessary. This study will be used for the establishment of water quality policy in the future.

Keywords: Namhan river watershed; seasonal Mann-Kendall test; LOWESS test; trend analysis

1. 서론

우리나라의 여름철 편중된 강우는 급격한 유량증가의 원인이 되며 이로 인해 홍수와 같은 하천의 범람, 하천 및 호소생태계의 교란 등을 일으킨다. 최근 강우로 인해 농경지 토양침식이 토사 유출과 탁수 발생의 원인이 되는데, 이는 발이 경운에 의해 토양결집력이 약화되었으며 산지와 논에 비해 식생

피복이 낮아 강우에 직접 노출되었기 때문으로 판단된다 (ME, 2004). 더불어 비료나 농약 등 비점오염물질이 토사와 함께 수체로 배출되는 등 영양염류의 유입으로 인한 수질 및 수생태계에 피해 사례가 증가하고 있다 (Park and Shin, 2011).

2019년 통계청 전국 농업면적조사 (SK, 2019)에 따르면 우리나라의 농경지 면적은 약 158만 ha (논: 83만 ha (52.49%), 밭: 75만 ha (47.51%))로 조사되었다. 강원도의 농경지 면적은 약 10만 ha로 전국 농경지 면적 비와 비교하여 밭 면적이 약 67% (6만 ha)로 논 면적 (3만 ha) 보다 넓은 것으로 조사되었다. 특히, 고랭지 채소 (감자, 무, 배추)의 재배는 전국 면적 대비 약 94% 이상이 강원도에서 재배되고 있다. 이는 강원도가 산림 비중이 높고 급경사지가 많으며, 기후적 특성으로 인해 고랭지 농업에 최적의 입지요인이기 때문이다. 하지만, 많은 부분을 차지하는 고랭지밭 면적 탓에 강우시 토양침식으로 인한 탁수발생과 영양염류의 유입으로 수질이 악화되는 현상이 빈번해지고 있으며, 과거 '루사 (2002)', '매미 (2003)', '메기 (2004)' 등과 같은 태풍의 영향으로 호수 및 하천에서 고탁수가 수개월동안 지속되는 등 사회적으로 큰 문제가 된 바가 있다 (Kim et al., 2018).

특히, 도암호 유역은 2007년 8월부터, 골지천 유역은 2013년 12월부터 비점오염원으로부터, 대기지구는 2018년 10월부터

^a Master Course Student, Department of Environment Sciences, Kangwon National University

^b Undergraduate Student, Department of Eco Environment Sciences, Kangwon National University

^c Assistant Professor, Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

^d Assistant Professor, Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

^e Researcher, Wonju Regional Environmental Management Office

^f Assistant Professor, School of Natural Resources and Environmental Science, Kangwon National University

[†] Corresponding author

Tel.: +82-33-250-8571, Fax: +82-33-259-5563

E-mail: eunmi.hong@kangwon.ac.kr

Received: June 08, 2020

Revised: August 13, 2020

Accepted: August 13, 2020

터 발생하는 토사유실 저감을 목적으로 비점오염 고시지역으로 지정되었지만, 남한강 상류는 현재까지도 집중강우시 토양침식으로 인한 흙탕물 문제가 야기되고 있다. 지속적으로 집중 강우시에 유입된 탁수가 도암호 내에 저류하고 장기간 탁수를 방류하게 되어 상류와 하류간의 지역 주민의 갈등을 초래하기도 하였으며, 더 나아가 도암댐 해체 등의 논란을 일으키기도 했다 (Park and Shin, 2011). 정부는 시설대책 및 제도개선, 관리대책, 흙탕물 저감 국고보조사업 추진 등 많은 환경 정책을 시행 중이지만 여전히 비점오염원 관리지역 뿐 아니라 이외의 지역에서도 상당한 양의 비점오염물질이 발생하고있는 실정이다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 상·하류 간의 수질 변동성을 파악할 필요가 있다. 하지만 한반도의 연 강수량은 지역별, 계절별로 편차가 크게 나타나며, 변동 폭이 커 변화를 파악하기가 힘들다 (KMA, 2018). 이러한 점을 고려했을 때, 통계적 기법을 이용한 경향 분석이 필요하며, 효과적인 수질 정책 수립을 위해서는 장기간의 모니터링 자료를 활용한 통계적 경향 분석이 중요하다.

현재까지 장기간의 수질 자료를 이용한 통계적 경향 분석을 살펴보면, Kim and Park (2004)는 1990년부터 1999년까지 10년간의 월별 수질 자료를 이용하여 seasonal Mann-Kendall 검정과 LOWESS를 통해 Trend를 분석하였다. Lee and Park (2008)은 만경강을 대상으로 1995년부터 2004년까지 10년간의 수집된 자료를 통해 비모수 통계기법인 seasonal Mann-Kendall 검정과 LOWESS검정을 이용하여 수질 경향을 분석하였다. Song et al. (2012)은 영산강을 대상으로 18년간 (1992-2009년) 수집된 수질 자료를 계절 seasonal Mann-Kendall 검정과 LOWESS (Locally Weighted Scatter-plot

Smoother)검정을 이용하여 장기 경향을 분석하였다.

남한강 상류에서 Ryu et al. (2018)는 흙탕물저감사업 추진에 따른 토사유출 저감효과를 평가하였고, Kwak (2012, 2018)은 도암호 유역의 비점오염물질 유출의 특성을 조사하였다. 하지만, 남한강 수역의 수질을 개선시키기 위한 정부의 노력에도 불구하고, 남한강 상류를 대상으로 한 연구는 토양유출로 인한 TN (Total Nitrogen), TP (Total Phosphorus), SS (Suspended Solids) 위주의 연구이며, 특정 지점에 국한되어 있다. 또한, 장기적인 수질 자료를 이용하여 환경정책 이후 남한강 유역의 수질이 어떤 경향성을 보여주는지 분석할 필요가 있다.

본 연구에서는 1996년부터 2018년까지 남한강 상류의 18개 수질측정지점의 BOD (Biological Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), TN, TP, TN/TP, 전기전도도 (Conductivity), SS (Suspended Solids), 클로로필 (Chlorophyll a)에 대한 수질자료를 이용하여 seasonal Mann-Kendall 검정과 LOWESS를 통한 추세분석을 실시하였다. 남한강 상류 유역을 6개의 유역으로 나누어 다양한 수질항목의 통계적 경향을 분석함으로써 수질오염 취약성 분석과 시계열 변화에 따른 수질 경향성 변화를 분석하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지역

본 연구는 남한강 상류 유역을 대상으로 수행되었다. 남한강 상류 유역은 행정구역상 강원도 평창군, 정선군, 영월군,

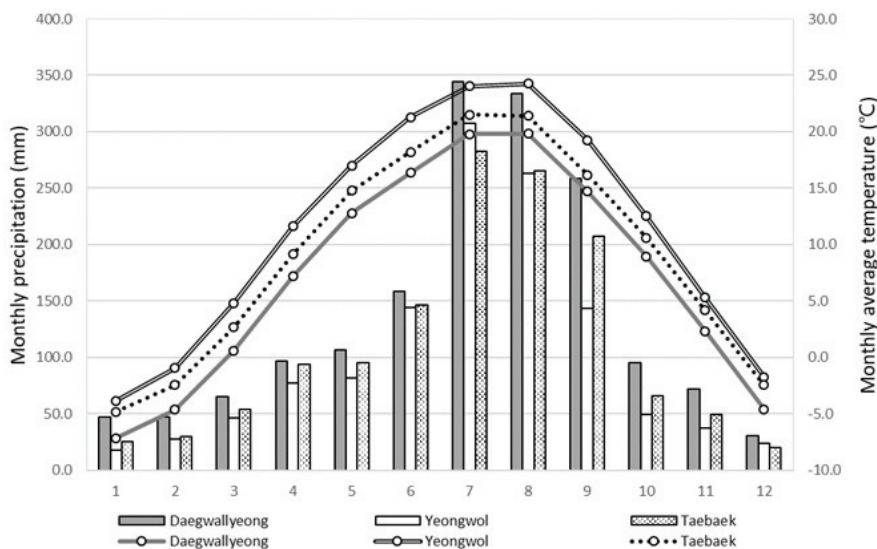


Fig. 1 Monthly precipitation and temperature from 1996 to 2018 in upstream Namhan river watershed

강릉시, 삼척시, 태백시에 포함되어 있으며, 총 17개 소권역으로 구성되어있다. 또한, 남한강 상류 유역에는 비점오염관리지역인 도암호 유역, 대기지구, 골지천이 위치하고 있다. 남한강 상류 유역의 총 면적은 2,449.22 km²이며 유역평균폭은 13.56 km, 유역평균표고는 749.32 m, 유역평균경사는 46.55%, 형상계수는 1.3의 유역특성을 가지고 있다. 남한강 상류 유역의 토지이용도를 살펴보면 약 85%가 임야이고 밭은 전체 유역 면적의 약 6.7% (164.61 km²)를 차지하고 있다. 이중 고도 400 m 이상 위치해있고 경사도가 15% 이상인 흙탕물의 주요 원인이 되는 고랭지 밭은 남한강 상류 수계 면적의 약 3.36% (82.20 km²)를 차지하고 있다 (ME, 2012).

남한강 상류 유역의 1996-2018년 (태백은 1997-2018년) 연평균 강수량은 대관령 종관기상관측소에서 1,657.2 mm, 태백 종관기상관측소에서 1,335.1 mm, 영월 종관기상관측소에서 1,219.6 mm 로 전국 평균 (1,333.3 mm) 이상의 강수를 보였다 (Fig. 1). 남한강 상류 유역 모두 7-9월 집중 강우가 발생하였으며, 대관령에는 월 최대 344.5 mm, 영월에서는 282.9 mm

그리고 태백에서는 282.9 mm가 내렸다. 평균 기온은 영월, 태백, 대관령 순으로 영월이 가장 높았으며, 대관령이 가장 낮았다.

2. 수질자료수집

본 연구에서는 통계적 경향 분석을 통한 남한강 상류 수계 수질 변동 해석을 위해 물환경정보시스템에서 제공하는 월별 하천수 수질측정망자료를 이용하였다. 대상 지역에 위치한 18개 측정지점 (오대천1, 오대천2, 송천1, 송천2, 어천, 번천, 골지천1, 골지천2, 광동댐, 동강, 광하, 정선1, 정선2, 지장천1, 지장천2, 석창천, 조양강, 영월1)을 6개의 소유역으로 나누어 수질 경향성을 분석하였다. Fig. 2에서 A는 오대천 유역으로 오대천1 (OD1)과 오대천2 (OD2) 수질측정망이 있다. B의 송천 상류 유역 (SC1)은 강우 시 다량의 흙탕물이 도암호로 유입되어 사회적으로도 큰 문제를 일으키고 있는 지점이다. C의 송천 하류 유역 (SC2)은 대기지구 관리지역으로, 대표적인 고랭지 채소재배단지 중의 하나이며, 대규모 탁수를 배출하여

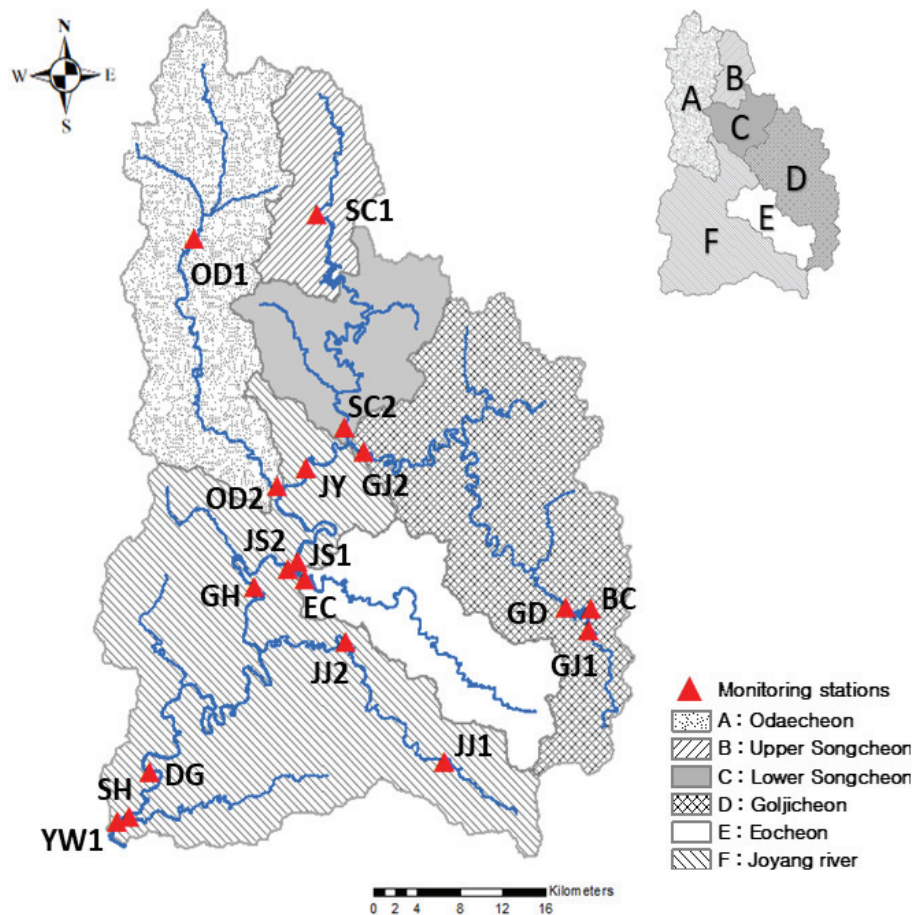


Fig. 2 Water quality monitoring stations located along the channel of upstream Namhan river

수질 및 수생태계에 심각한 영향을 끼치고 있는 지점이다 (Kim et al., 2019). D의 골지천 유역에는 골지천1 (GJ1), 골지천2 (GJ2), 변천 (BC), 광동댐 (GD)이 있으며, 고랭지 농업이 주를 이루고 과도한 비료 살포가 빈번한 유역이다. E는 어천 유역 (EC)으로, 남한강 유역 내에서 비교적 낮은 부하량에 속한 지점이다. 마지막으로 F는 조양강 본류 유역으로 수질측정지점은 조양강 (JY), 정선1 (JS1), 정선2 (JS2), 광하 (GH), 동강 (DG), 석향천 (SH), 지장천1 (JJ1), 지장천2 (JJ2), 영월1 (YW1)이 위치해 있다. 조양강 유역은 남한강 유역중 하류에 위치하며, 상류에서 흐르는 하천들이 합류하기 때문에 상류로부터 흘러들어오는 수질과 하류 간의 통계적 경향 분석값을 비교 분석 할 수 있다.

본 연구에서는 우리나라의 생활환경기준에 포함된 BOD, COD, TN, TP, TN/TP, 전기전도도, SS와 클로로필을 분석항목으로 선정하였다. 클로로필은 최근 문제시되고 있는 조류의 발생을 관리하기 위한 항목이라 할 수 있으며, TN/TP는 호수 또는 하천의 영양염 제한인자를 나타내는 지표로 활용되기 때문에 이에 대한 경향 분석을 실시하였다 (Smith, 1982). TN/TP는 17이상이면 인이 제한 인자이고 10보다 작으면 질소가 제한 인자인 것으로 간주된다 (Varol et al., 2010). 따라서, 조류의 성장에 어떤 영양염이 직접적인 영향을 주는지 판별할 수 있다. 전기전도도는 밭에서 토사와 함께 유출되는 염류이온의 양을 간접적으로 확인하기 위함이다. 본 연구에서는 장기적인 통계적 경향 분석을 위하여 1996년부터 2018년까지 23년 동안 수집된 수질 자료를 분석하였으며, 클로로필은 자료구축 시기의 차이가 있어 2001년부터 2018년까지 18년 동안 수집된 자료를 이용하여 분석하였다.

3. 통계적 경향 분석

본 연구는 장기간의 수질 자료를 이용하여 경향을 분석하기 위해 선형 추세기법이자 계절적 요소를 반영한 seasonal Mann-Kendall test를 이용하였다. 또한, 경향성의 크기Sen's slope를 이용하여 분석하였다. 하지만, seasonal Mann-Kendall은 자료 기간 사이에 경향성을 반영할 수 없다는 단점이 있기 때문에 LOWESS 기법을 활용하여 통계적 경향 분석을 수행하였다.

가. Seasonal Mann-Kendall 검정

수질 자료는 시간에 따라 진동하는 양상을 보이듯이 변동이 심하고, 비정규분포를 이룬다. 또한, 결측치와 검출한계 이하의 값들이 많아, 수질 자료의 통계적 경향분석을 위해서는 모집단의 형태와 관계없이 가설을 검정하는 비모수 통계 방

법이 널리 사용되어 왔다 (Lettenmaier, 1988; Hirsch et al., 1991). 그 중에서도 계절적 특성을 갖는 수질자료의 장기경향 분석에 적합한 검정방법으로는 계절 seasonal Mann-Kendall 검정이 가장 일반적으로 이용되고 있다.

본 연구에서는 남한강 상류에서 23년간 측정된 수질 자료의 통계적 경향을 분석하기 위하여 seasonal Mann-Kendall 검정을 실시하였다. Hirsch et al. (1982)과 Hirsch and Slack (1984)은 Mann (1945)과 Kendall (1975)에 의해 제안되었던 Mann-Kendall 검정을 추가적인 연구를 통해 개선함으로써 계절적 변동 특성을 갖는 seasonal Mann-Kendall 검정을 제안하였다. Seasonal Mann-Kendall 검정은 월별 수질자료의 각 계절에 대한 켄달 검정 (Kendall's 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 (Kim and Park, 2004). 켄달 통계 추정치 S_i 는 i 월에 해당하는 수질자료 간의 차이의 합으로 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 으로 표현하면 다음 식 (1)과 (2) 같이 정의된다.

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

$$\text{sgn}(X_{ij} - X_{ik}) = \begin{cases} 1 & \text{if } X_{ij} - X_{ik} > 0 \\ 0 & \text{if } X_{ij} - X_{ik} = 0 \\ -1 & \text{if } X_{ij} - X_{ik} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

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 $VAR(S)$ 를 산정하고, 다음 식 (3)에 의해 표준 정규변량 Z 를 산정하여 이를 유의수준의 표준통계치 P 와 비교하여 경향성을 파악한다.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} P &= 2(1 - \Phi(|z|)) \\ &= 2(1 - \frac{1}{2}(1 + \operatorname{erf}(\frac{|z|}{\sqrt{2}}))) \\ &= 1 - \operatorname{erf}(\frac{|z|}{\sqrt{2}}) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, $\Phi(x)$ 는 누적분포함수 (CDF, Cumulative Density Function), $\operatorname{erf}(x)$ 는 오차함수, Z 는 표준정규변량, S 는 전체 추정 통계치, $VAR(S)$ 는 S 에 대한 분산이다.

Z -value를 계산한 다음 P -value를 구하여 유의성을 검증함으로써 경향성을 판단하게 된다. P 는 표준통계치로서 $P \leq \alpha$ 일 때, 귀무가설 (H_0)을 기각하고 경향성이 있다는 가설을 수용한다. 여기서 α 는 검정에 대한 유의수준이며, 귀무가설 (H_0)은 ‘경향성이 없다’이며 대립가설 (H_1)은 ‘경향성이 있다’로 설정하였다. 유의수준을 5%로 설정하여 분석하고 전체 추정통계치 S 의 값이 양일 때, 시간에 따른 증가추세를 의미하고 S 의 값이 음일 때, 감소추세를 의미한다.

본 연구에서는 계절성을 가지고 있는 월평균 수질자료의 장기 경향성을 분석하기 위해, XLSTAT2019 프로그램을 이용하여 seasonal Mann-Kendall 검정을 시행하였으며, 결과치는 무시하였다.

나. Sen's slope 방법

Sen's slope 방법은 Sen (1968)에 의해 개발되었으며, n 쌍의 데이터에 대해 추세 기울기를 평가하는 비모수적 방법이다. 이 방법은 추세 기울기를 추정하기 위해 선형모델을 사용하며, 잔차 분산(Q_i)은 식 (5)와 같다.

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} \quad (i = 1, \dots, n) \quad (5)$$

여기서 X_i , X_j 는 각각 j 와 k 시간에서의 데이터 값이다 ($j > k$). 하나의 측정치에서 $N = \frac{n(n-1)}{2}$ 이며 n 은 자료기간의 수이다. 다수의 측정치에서 $N < \frac{n(n-1)}{2}$ 이며 n 은 측정치의 총 수이다.

N 값은 크기순으로 정렬가능하며, Sen's slope 추정량의 중앙값(Q_{med})은 식 (6)과 같다.

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{[(n+1)/2]}, & \text{if } N \text{ is odd} \\ \frac{Q_{[n/2]} + Q_{[(n+2)/2]}}{2}, & \text{if } N \text{ is even} \end{cases} \quad (6)$$

Q_{med} 는 데이터의 경향을 보여주며, 그 값들은 경향의 기울

기를 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 경향성이 없다고 판단한다. 본 연구에서는 seasonal Mann-Kendall 검정의 유의수준 ($\alpha=0.05$)에 따라 신뢰구간 (Gilbert 1987)을 계산하였으며, 신뢰구간은 식 (7)과 같다.

$$C_a = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{VAR(S)} \quad (7)$$

여기서 $VAR(S)$ 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. XLSTAT2019 프로그램에서 seasonal Mann-Kendall 검정을 통해 Sen's slope를 산정하였으며, 이를 통해 자료기간에 대한 수질의 경향성을 판단하였다.

다. LOWESS 검정

LOWESS는 각 x 값에 대해 이동선을 구하고 이로부터 y 의 평활값을 얻은 후 이 평활점들을 직선으로 연결한 것이다 (Kim and Park, 2004). 이는 어떤 특정 모델 형태 즉, 1차 또는 2차 회귀모델에 대한 가정없이 자료들을 회귀모델에 맞추므로 유용한 경향분석이다.

이동선 ($x_i, \hat{y}_i$)를 계산하는 방법은 다음과 같다. $x = x_i$ 를 중심으로 일정 간격에 걸친 수직띠를 만든다. $n \times f$ 에 가장 가까운 정수만큼의 데이터를 포함하도록 수직띠의 폭을 결정한다. f 는 $0 < f < 1$ 인 평활상수로서 흔히 $1/3 < f < 2/3$ 가 추천된다. 그 다음 가중값 함수 (Weighted Function)를 정의하고 부근 가중값들 (Neighborhood Weights)을 계산한다. 흔히 겹세제곱 가중값 함수 (Tricube Weight Function)가 사용된다.

$$\begin{aligned} T(u) &= (1 - |u|^3)^3, \quad |u| < 1 \\ &= 0, \quad |u| \geq 1 \end{aligned} \quad (8)$$

여기서, x_i 로부터 수직띠까지의 최대거리를 d_i 라 하면 (x_k, y_k)의 가중값 w_k 는 다음 식 (9)과 같이 계산된다.

수직띠안의 데이터 점들은 가중최소제곱법 (Weighted Least Squares Method)을 써서 직선으로 적합시킨 다음 a , b 를 이용하여 $x = x_i$ 에서의 y 의 적합값 $\hat{y}$ 을 식 (10)과 같이 계산한다. 본 연구에서는 SPSS_V24 프로그램을 통하여 LOWESS 곡선을 분석하였다.

$$w_k = T\left(\frac{x_k - x_i}{d}\right) \quad (9)$$

$$\hat{y}_i = a + bx_i \quad (10)$$

III. 결과 및 고찰

1. 남한강 상류 수계 수질 경향 분석 결과

1996-2018년까지의 수질자료를 바탕으로 남한강 상류 유역 seasonal Mann-Kendall 검정분석 결과는 Fig. 3와 같다. 유의확률 P-value값을 산정함으로써 경향성을 판단한 결과, 가장 많은 증가 경향성(UP)을 보인 수질항목은 전기전도도, COD, TN/TP, 클로로필, BOD, TN, TP 순이었으며, SS는 어느 지점에서도 증가 경향을 보이지 않았다.

18개의 수질측정지점에서 모두 증가 경향을 보인 전기전도도는, 어천 지점에서 Sen's slope값이 4.960으로 가장 높은 경향성을 보였다 (Table 1). 모든 지점에서 증가하는 경향성을 보였다는 것은 하천 내 이온성 물질이 지속적으로 유입되고 있다는 것을 말한다. Kong (2018)의 하천형 호수인 팔당호의 인 수치 연구를 보면 남한강의 기반은 석회암으로 이루어졌기 때문에 전기전도도가 약 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 내외라 한다. 남한강

Table 1 Results of seasonal Mann-Kendall test on conductivity

Station		Mean	Range	Z-value	P-value	Trend	Sen's
		(μS/cm)					
A	OD1	137.2	32-506	5.286	0	UP	3
	OD2	133.8	30-284	6.214	0	UP	4.223
B	SC1	165.7	50-728	5.818	0	UP	4.9
C	SC2	133.8	40-457	5.265	0	UP	3.171
D	BC	78.6	34-215	4.45	0	UP	1.583
	GD	147.6	73-213	3.429	0.001	UP	1.23
	GJ1	236.6	76-384	3.722	0	UP	2.646
	GJ2	187.6	47-400	5.347	0	UP	3.878
E	EC	298.0	97-593	5.237	0	UP	4.96
F	DG	242.7	60-702	4.305	0	UP	3.361
	GH	211.4	82-550	3.878	0	UP	3.079
	JJ1	481.3	8-1321	2.026	0.042	UP	4.142
	JJ2	412.1	150-921	2.197	0.028	UP	4.35
	JS1	169.7	55-375	5.118	0	UP	3.55
	JS2	181.6	68-376	4.394	0	UP	3.3
	JY	167.5	40-326	5.491	0	UP	3.05
	SH	271.2	66-522	4.144	0	UP	3.857
	YW1	245.8	80-484	3.823	0	UP	3.288

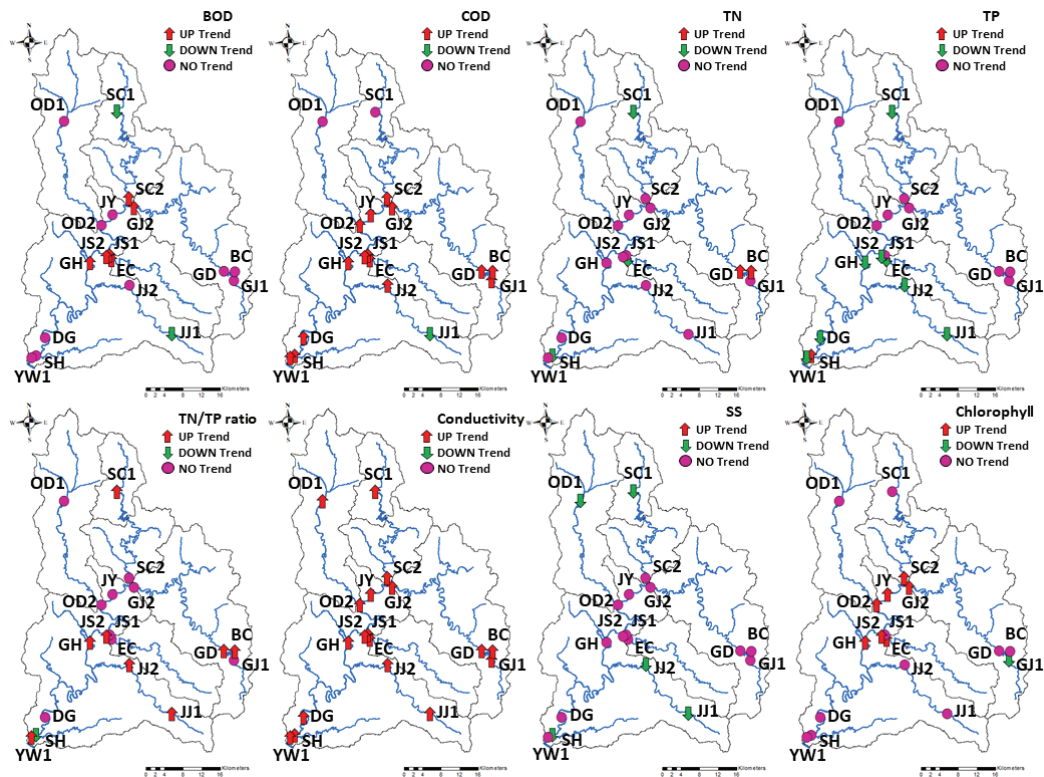


Fig. 3 Results of seasonal Mann-Kendall trend

Table 2 Results of seasonal Mann-Kendall test on BOD

Station		Mean	Range	Z-value	P-value	Trend	Sen's
		(mg/L)					
A	OD1	0.803	0.2-3.3	-0.752	0.449	-	0
	OD2	0.712	0.2-1.8	-1.842	0.065	-	-0.005
B	SC1	1.152	0.2-3.6	-2.679	0.007	DOWN	-0.021
C	SC2	0.886	0.1-2.8	2.626	0.008	UP	0.013
D	BC	0.993	0.2-2.6	0.207	0.831	-	0
	GD	1.427	0.7-3.0	-1.503	0.132	-	-0.003
	GJ1	0.96	0.1-2.7	0.833	0.401	-	0
	GJ2	0.821	0.2-2.9	2.292	0.022	UP	0.014
E	EC	0.691	0.1-3.3	1.96	0.049	UP	0.013
F	DG	0.875	0.1-3.2	1.328	0.182	-	0
	GH	0.953	0.1-3.4	2.398	0.016	UP	0.016
	JJ1	1.418	0.1-6.8	-3.816	0	DOWN	-0.032
	JJ2	0.824	0.1-3.4	-0.55	0.578	-	0
	JS1	0.875	0.1-4.1	2.271	0.023	UP	0.014
	JS2	0.873	0.1-2.7	2.25	0.024	UP	0.006
	JY	0.766	0.3-3.4	1.364	0.171	-	0.003
	SH	0.668	0.2-3.7	0.663	0.504	-	0
	YW1	0.907	0.1-3.0	1.807	0.071	-	0.005

Table 3 Results of seasonal Mann-Kendall test on COD

Station		Mean	Range	Z-value	P-value	Trend	Sen's
		(mg/L)					
A	OD1	2.306	0.6-12.1	-0.268	0.784	-	-0.006
	OD2	2.494	0.8-5.8	4.986	0.000	UP	0.048
B	SC1	3.170	0.7-15.8	1.810	0.069	-	0.018
C	SC2	2.584	0.6-7.8	5.300	0.000	UP	0.083
D	BC	1.724	0.3-5.0	3.324	0.001	UP	0.033
	GJ1	1.584	0.0-4.4	2.364	0.018	UP	0.023
	GJ2	2.348	0.5-9.1	5.095	0.000	UP	0.054
	GD	2.313	1.0-5.5	3.616	0.000	UP	0.025
E	EC	1.683	0.4-6.8	5.019	0.000	UP	0.04
F	DG	2.198	0.5-8.5	4.865	0.000	UP	0.052
	GH	2.484	0.8-7.9	4.708	0.000	UP	0.050
	JJ1	2.736	0.8-9.2	-2.310	0.021	DOWN	-0.029
	JJ2	1.862	0.5-9.7	2.678	0.007	UP	0.026
	JS1	2.426	0.5-13.8	4.933	0.000	UP	0.062
	JS2	2.333	0.6-5.9	4.873	0.000	UP	0.050
	JY	2.416	0.6-8.4	6.039	0.000	UP	0.069
	SH	1.197	0.2-3.6	3.462	0.001	UP	0.016
	YW1	2.305	0.5-10.1	4.095	0.000	UP	0.035

Table 4 Results of seasonal Mann-Kendall test on TN

Station		Mean	Range	Z-value	P-value	Trend	Sen's
		(mg/L)					
A	OD1	4.6	1.0-15.8	1.339	0.179	-	0.03
	OD2	3.7	0.8-8.4	1.106	0.266	-	0.002
B	SC1	5.2	1.3-16.6	-4.255	0	DOWN	-0.063
C	SC2	3.0	1.2-11.4	1.723	0.083	-	0.016
D	BC	1.8	0.4-5.6	4.217	0	UP	0.052
	GD	2.2	0.8-4.6	3.884	0	UP	0.036
	GJ1	3.0	0.4-6.7	-0.781	0.432	-	-0.013
	GJ2	3.1	0.9-11.0	0.618	0.533	-	0.019
E	EC	3.7	1.4-9.5	-2.857	0.004	DOWN	-0.025
F	DG	2.9	1.0-8.0	-0.038	0.965	-	-0.002
	GH	3.1	1.1-9.7	1.373	0.168	-	0.009
	JJ1	3.0	0.8-11.5	-5.343	0	-	-0.085
	JJ2	3.1	0.7-19.2	-1.696	0.089	-	-0.018
	JS1	3.2	0.1-10.2	0.61	0.537	-	0.003
	JS2	3.3	1.3-9.7	0.27	0.783	-	-0.009
	JY	2.8	1.0-8.7	-0.847	0.394	-	0.001
	SH	2.9	0.6-7.0	-4.6	0	DOWN	-0.045
	YW1	3.0	1.0-10.5	-0.161	0.872	-	0.005

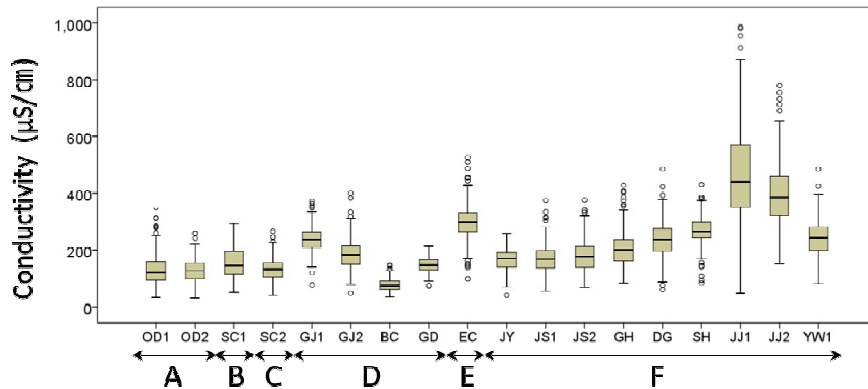
Table 5 Results of seasonal Mann-Kendall test on TP

Station		Mean	Range	Z-value	P-value	Trend	Sen's
		(mg/L)					
A	OD1	0.046	0-0.504	-0.879	0.376	-	-0.001
	OD2	0.038	0.002-0.310	0.249	0.798	-	0
B	SC1	0.1	0.002-0.735	-3.594	0	DOWN	-0.002
C	SC2	0.036	0.002-0.196	-1.252	0.208	-	0
D	BC	0.016	0-0.101	-0.781	0.432	-	0
	GD	0.024	0.003-0.081	-1.827	0.067	-	0
	GJ1	0.018	0-0.077	-1.49	0.135	-	0
	GJ2	0.024	0-0.163	-1.568	0.115	-	0
E	EC	0.018	0-0.124	-3.01	0.003	DOWN	0
F	DG	0.034	0-1.233	-2.132	0.032	DOWN	0
	GH	0.031	0.001-0.295	-2.526	0.011	DOWN	0
	JJ1	0.05	0-0.263	-5.122	0	DOWN	-0.002
	JJ2	0.028	0-0.343	-4.501	0	DOWN	-0.001
	JS1	0.034	0-0.259	-0.767	0.44	-	0
	JS2	0.035	0-0.473	-2.883	0.004	DOWN	0
	JY	0.03	0.001-0.264	-0.516	0.602	-	0
	SH	0.008	0.001-0.083	2.931	0.003	UP	0
	YW1	0.029	0-0.554	-3.269	0.001	DOWN	-0.001

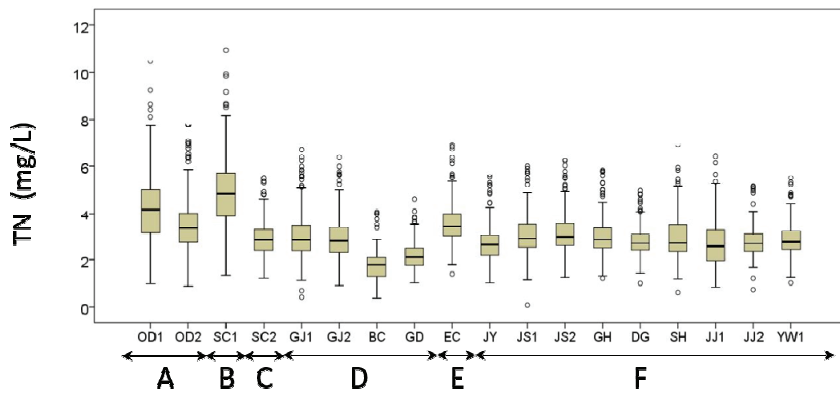
상류는 지장천의 상하류가 높은 전기전도도를 나타냈고, 그 외 지역은 평균 내외인 것으로 확인되었다 (Fig. 4-a).

BOD는 주로 정선지역 인근 하천 (정선1, 정선2, 어천, 광하)에서 증가하는 경향을 보였다 (Table 2). 상류인 정선1에서 Sen's slope 값은 0.014, 정선2는 0.006, 어천 0.013 그리고 광

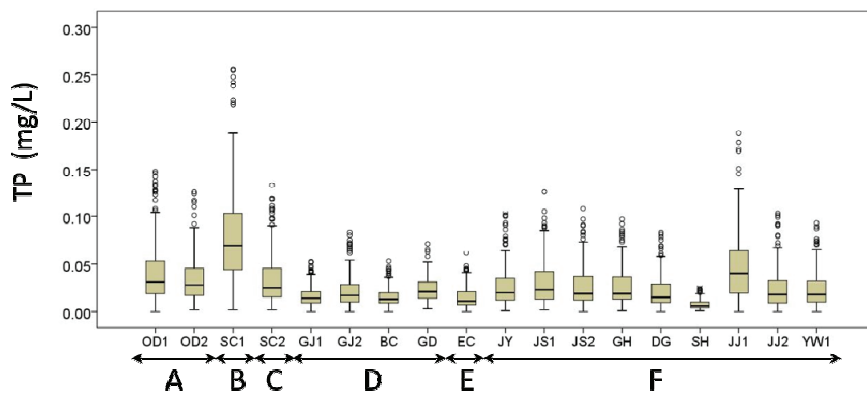
하에서 0.016으로 나타났다. 23년 동안의 평균 BOD농도는 송천1과 광동, 지장천1이 더 높았으며, LOWESS 결과를 보았을 때 정선 인근 지역은 2012년부터 BOD 농도가 꾸준히 증가하고 있어 원인을 찾고 대책을 세울 필요가 있다고 판단된다 (Fig. 6).



(a) Conductivity



(b) Total nitrogen



(c) Total phosphorus

Fig. 4 Boxplots for conductivity, TN and TP results in upstream Namhan river

COD는 두 지점 (오대천1, 송천1, 지장천1)을 제외한 모든 지점에서 증가 경향을 보였으며, 송천2 지점에서 Sen's slope 값이 0.083으로 가장 높게 나타났다 (Table 3). COD의 농도는 송천1, 지장천1과 같이 3.170 mg/L, 2.736 mg/L로 상류지역에서 높게 나타났으나 경향성은 보이지 않았고, 하류로 갈수록 증가하는 경향성을 보였다. 이는 상류의 하천 및 지류들이 본류로 합쳐져 증가하는 경향을 보인 것으로 판단된다. 유기물 오염의 간접적인 지표로 사용되고 있는 BOD는 평균적으로 1등급에 해당하며, COD는 2등급에 해당하였다.

TN은 송천1과 어천, 석항천에서 감소하는 경향 (DOWN)을 보였고 (Table 4), TP는 송천1과 어천, 동강, 정선2, 광하, 지장천1, 지장천2, 영월1에서 감소하는 경향을 보였다 (Table 5). 하지만 Fig. 4-b, 4-c를 보면 송천1 지점은 다른 지점들과 비교했을 때 TN, TP의 농도가 높았다. 평균 농도가 높음에도 불구하고 감소경향을 보이는 것은 하천으로의 TN, TP 유출은 강우와 같은 날씨와 계절에 대한 요인에 영향을 크게 받기 때문에 경향성을 잘 나타내지 않은 것으로 판단된다. Kwak et al. (2013)의 하절기 도암호 수질 경향분석에서 SS의 Sen's slope이 0.141로 증가하는 경향을 확인하였다. 이렇게 송천1이 대체로 높은 농도를 나타내는 이유는 남한강 최상류에 위치한 하천으로서 상류에 대규모의 축산단지와 레저단지, 고랭지 농업이 이루어지고 있는 지점이기 때문으로 판단된다.

Table 6 Results of seasonal Mann-Kendall test on Chlorophyll-a

Station		Mean	Range	Z-value	P-value	Trend	Sen's
		(mg/m ³)					
A	OD1	2.74	0-16.2	1.631	0.101	-	0.059
	OD2	3.572	0-42.3	2.414	0.015	UP	0.041
B	SC1	2.7	0-24.8	1.694	0.088	-	0.045
C	SC2	4.3	0.0-18.9	2.831	0.004	UP	0.151
D	BC	1.363	0-21.8	-1.629	0.1	-	-0.016
	GJ1	1.437	0-17.7	-2.326	0.019	DOWN	-0.053
	GJ2	2.707	0-18.2	2.037	0.041	UP	0.036
	GD	5.634	0.3-23.2	-0.883	0.373	-	-0.061
E	EC	1.08	0-6.8	2.546	0.011	UP	0.038
F	DG	3.196	0-22.6	1.751	0.078	-	0.056
	GH	3.838	0-48.5	2.562	0.01	UP	0.114
	JS1	3.407	0-20.5	-			
	JS2	3.213	0-14.9	2.634	0.008	UP	0.085
	JJ1	3.134	0-31.8	0.889	0.369	-	0.016
	JJ2	2.017	0-48.5	0.844	0.392	-	0.016
	JY	3.665	0-39.8	3.219	0.001	UP	0.088
	SH	1.306	0-12.4	-1.221	0.219	-	-0.021
	YW1	3.587	0-34.3	1.003	0.316	-	0.043

TP는 하천의 생활환경기준으로는 ' 좋음'과 ' 보통' 등급에 해당하지만 (Table 5), 강우시에는 농도가 크게 증가하는 경향을 보이기 때문에 지속적인 모니터링이 필요하다 (Kwak et al., 2012). 그 외 TN은 번천과 광동댐에서 증가하는 경향을 보였고, TP는 석항천에서 증가하는 경향을 보였다.

조류의 성장은 보통 질소나 인과 같은 영양염류의 농도에 민감하게 반응하지만, Table 6과 같이 클로로필의 증가 경향성을 보이는 지점은 질소와 인 보다는 다른 온도, 빛 등과 같은 외부 요인에 있을 것으로 판단된다. 클로로필의 농도가 가장 높았던 곳은 광동 지점으로 5.634 mg/m³이지만 유의수준 0.373으로 증가나 감소 경향성이 없는 것으로 나타났다. 클로로필의 증가 경향을 보인 지점은 오대천2, 송천2, 골지천2, 어천, 광하, 정선2 그리고 조양강으로 나타났으며, 정선1에서의 클로로필 통계 분석은 일부 시퀀스가 일정하여 경향 분석을 할 수 없었다. 이 중 가장 높은 증가 경향성을 보인 지점은 송천2이었으며, Sen's slope의 값은 0.151로 나타났다. 클로로필은 주로 남한강 상류 유역의 중권역에서 증가하는 경향을 보였다.

SS는 오대천1, 송천1, 지장천1, 지장천2 그리고 석항천에서 감소경향을 보였고, 그 외 지점에서는 증가하거나 어떠한 경향성도 보이지 않았으며, 평균 SS 농도는 하천 생활환경기준은 1a등급으로 매우 좋은 상태였다 (Table 7). SS 농도가 가장

Table 7 Results of seasonal Mann-Kendall test on SS

Station		Mean	Range	Z-value	P-value	Trend	Sen's
		(mg/L)					
A	OD1	7.57	0.1-98.1	-2.655	0.008	DOWN	-0.091
	OD2	6.678	0.1-72.5	1.928	0.053	-	0.054
B	SC1	22.524	0.7-441	-2.008	0.044	DOWN	-0.238
C	SC2	8.107	0-178.7	-0.304	0.756	-	0.022
D	BC	1.857	0.1-71.6	0.314	0.75	-	0
	GD	3.732	0.1-62.2	1.667	0.095	-	0.048
	GJ1	2.869	0-152.6	-0.634	0.523	-	-0.005
	GJ2	4.045	0.1-50	-1.128	0.257		-0.006
E	EC	2.556	0-19	-1.696	0.089	-	-0.006
F	DG	8.594	0-490.3	-0.755	0.446	-	-0.009
	GH	6.085	0.1-86.3	-0.77	0.438	-	-0.014
	JJ1	26.334	0.4-159.6	-5.694	0	DOWN	-1.449
	JJ2	7.192	0.1-96	-5.534	0	DOWN	-0.199
	JS1	6.21	0.1-86	-0.972	0.328	-	-0.014
	JS2	6.056	0.1-85.5	-0.914	0.358	-	-0.03
	JY	6.386	0-130.9	1.015	0.307	-	0.03
	SH	2.661	0.1-96.8	-3.601	0	DOWN	-0.044
	YW1	5.417	0-96.1	-1.922	0.055	-	-0.026

크게 감소한 지역은 지장천이며 Sen's slope의 값은 -1.449로 나타났다. 송천1과 지장천1은 SS의 평균 농도가 가장 높았으며, 송천1과 송천2, 골지천1, 동강, 지장천1, 조양강의 SS의 최댓값은 100 mg/L이상, 동강에서 490 mg/L로 나타났다. 남한강 상류는 강우시 고령지밭에서의 토사 유출이 심각한 문제가 되고있기 때문에 판단된다.

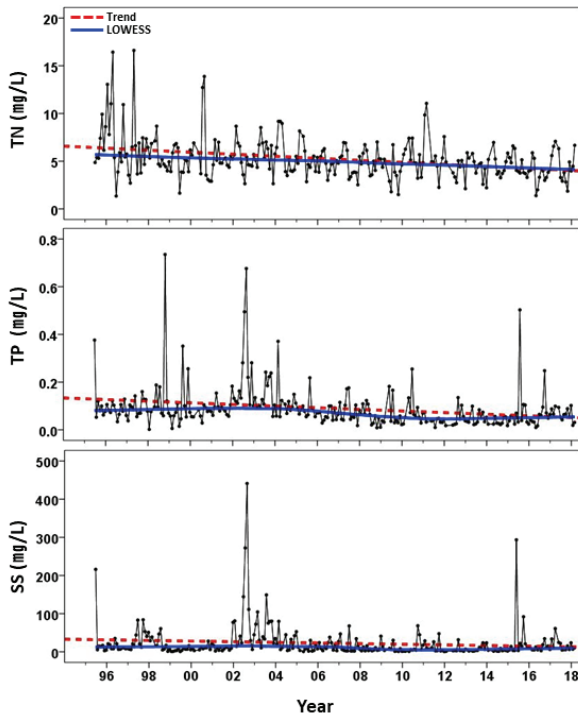


Fig. 5 TN, TP and SS Result of LOWESS in Songcheon1

2. 유역별 수질변수들의 경향 분석 결과

송천 유역 상류 (B)와 하류 (C)의 seasonal Mann-Kendall 검정분석 결과 (Table 1-7), 송천1의 Sen's slope는 TN/TP 1.817, 전기전도도 4.9로 증가 경향을 보인 반면, BOD는 -0.021, TN -0.063, TP -0.002, SS -0.238로 감소 경향을 보였다. 그 외 COD와 클로로필은 유의수준(0.05) 이상으로 경향성이 없는 것으로 나타났다. LOWESS 경향 분석 결과에서도 볼 수 있듯이 TN과 TP, SS 모두 감소 경향을 보였으며 (Fig. 5), TP의 경우 송천 상류에 위치한 도암호가 비점오염원 관리 지역으로 고시된 시점인 2007년도부터 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 송천2 지점에서의 seasonal Mann-Kendall 검정의 결과 Sen's slope는 BOD 0.013, COD 0.083, 전기전도도 3.171, 클로로필 0.151로 증가추세를 보인 반면, 그 외 지역은 경향성이 없는 것으로 나타났다. 송천1의 TN은 감소 추세임에도 불구하고 다른 지역들보다도 높은 농도를 나타냈으며, 증가추세를 보이는 전기전도도의 Sen's slope 값도 4.9로 가장 높게 나타난 것을 보아 비점오염원에 대한 관리 대책의 검토가 필요하다고 판단된다.

골지천 유역 (D) seasonal Mann-Kendall 검정 결과 (Table 1-7), 유역 내에서 가장 상류에 위치한 골지천1 지점의 Sen's slope는 COD 0.023, 전기전도도 2.646으로 증가하는 경향성을 보였고, 클로로필은 -0.053으로 감소하는 경향을 보였으며, 그 외의 수질 항목은 유의수준(0.05) 이상으로 경향성이 없는 것으로 나타났다. 변천 지점은 COD 0.033, TN 0.052, TN/TP 3.944, 전기전도도 1.583 으로 증가하는 경향성을 보였다. 변천과 골지천1이 합류하는 광동댐은 COD 0.025, TN 0.036,

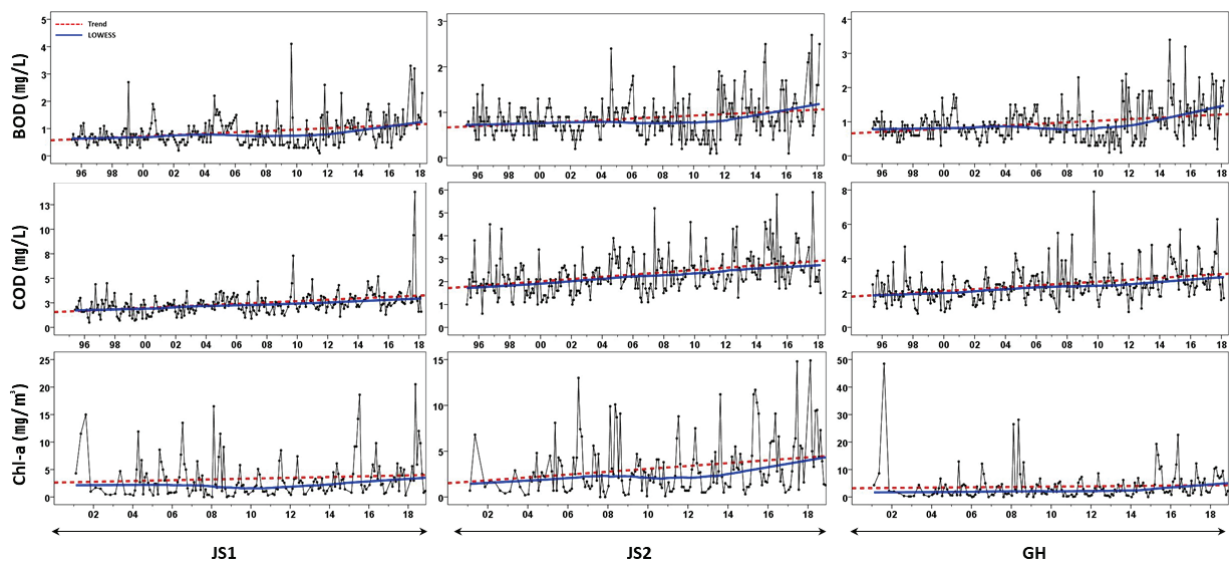


Fig. 6 BOD, COD and Chlorophyll-a of LOWESS in Jeongseong1, 2 and Gwagha

TN/TP 2.942, 전기전도도 1.230으로 증가하는 경향성을 보였으며, 그 외 수질 항목에는 경향성이 없는 것으로 나타났다. 광동댐에서 TN과 TN/TP가 증가하는 것은 변천과 골지천1이 합류하는 영향에서 증가한 것으로 판단된다. 골지천 유역에서 가장 하류에 위치한 골지천2는 BOD 0.014, COD 0.054, 전기전도도 3.878, 클로로필 0.036으로 증가하는 경향성을 보였으며, 그 외 수질 항목에서는 경향성이 없는 것으로 나타났다.

남한강 상류에서 가장 넓은 면적을 차지하고 있는 조양강 유역 (F)을 각 지점별 수질의 평균값과 최대-최소값, seasonal Mann-Kendall 검정을 수행한 결과 (Table 1-7), 상류에 위치한 조양강에서 COD와 전기전도도가 증가하는 추세를 보였지만, 정선1, 정선2, 광하 지점에서는 BOD와 COD, 전기전도도, 클로로필 모두 증가하는 추세를 보였다. LOWESS 검정을 통한 경향분석에서도 BOD는 2012년부터 급격히 증가하는 경향을 보였으며, COD는 매년 꾸준히 증가하는 추세를 보였다 (Fig. 6). 클로로필은 TP와 관계없이 2014년부터 조금씩 증가하는 경향을 보였다. BOD와 COD의 증가 요인으로서는 조양강 유역의 상류부터 정선지역까지 위치한 총 7개의 하수처리장으로 인한 영향 또는 생활하수의 증가로 판단된다. 조양강 유역의 하류로 갈수록 대체로 TP의 감소 추세를 확인할 수 있었다. 클로로필의 경우 송천2와 골지천2를 시작으로 광하까지의 중류권역에서 증가하는 추세를 보였다. 일반적으로 조류의 성장은 영양물질인 인과 질소의 농도에 의해 좌우되지만, Fig. 3 을 볼 때 인과 질소와의 연관성을 찾을 수 없었다. 이는 영양염류 외에 다른 외부요인이 있는 것으로 판단된다. 지장천의 상하류는 다른 하천에 비해 전기전도도가 매우 높게 나타났으며 (Fig. 4-a), Sen's slope의 값도 높은 값으로 증가 경향을 보였다 (Table 1.). 지장천 인근에 위치한 고한읍과 사북읍은 1980년대에 탄광 지역이었으며 2000년대 초 폐광이 되었지만, 아직도 폐광에서 유출되는 이온성 물질들에 의해 높은 값을 나타난 것으로 보인다.

IV. 결 론

본 연구는 향후에 효과적인 수질관리 정책을 수립할 수 있도록 기초자료를 제공하고자 실시하였다. 남한강 상류 유역의 18개 수질측정망을 대상으로 1996년 1월부터 2018년 12월 (클로로필은 2001년 1월부터 2018년 12월까지 총 18년)까지 총 23년간의 8개 수질 항목에 대하여 seasonal Mann-Kendall 검정과 LOWESS 검정을 통해 수질의 추세를 파악할 수 있었다.

남한강 상류는 전체적으로 전기전도도가 높은 편이었지만 석회암으로 이루어진 남한강 기반의 특성 때문인 것으로 판단된다. 남한강 상류의 주요 오염원은 강우시 축산과 밭에서

유출되는 TN, TP 등의 비점오염물질과 부유물질이다. 경향분석을 통해 크게 증가하는 경향성은 확인할 수 없었지만, 장기 데이터를 통해 확인한 결과 평균적으로 높은 농도를 나타내고 있었다.

흙탕물 문제의 근본적인 문제를 해결하기 위하여 흙탕물 저감 시범단지를 조성하여 흙탕물 저감농법을 적용하거나 침사지, 수로 등에 쌓인 토사를 제거하는 등 많은 환경 정책 활동들을 추진중에 있으며, LOWESS 검정 결과에서 볼 수 있듯이 실제로 비점오염원 관리지역으로 지정한 2007년도부터 감소한 것을 볼 수 있었다. 하지만 여전히 일부 지역에서는 높은 농도의 TN, TP 그리고 SS의 값이 나타나고 있으므로 지속적인 모니터링과 정부의 체계적이고 효율적인 환경 정책이 필요하다.

수질 항목에서 많은 증가 경향성을 보인 지점은 인구가 밀집한 정선지역이었다. 농도는 높은 편이 아니지만 정선군 시내의 인근 지역으로 보았을 때 생활용수 또는 오염물질의 유출때문인 것으로 판단되며, 지속적인 모니터링과 지역관리가 필요하다.

본 연구에서 실시한 장기적 수질 자료를 이용한 통계분석을 통해서 남한강 상류 수계의 수질 경향을 확인할 수 있었다. 모두 진동하는 양상이 심한 것으로 보아 계절의 영향이 큰 것으로 판단되며, 향후 계절을 나누어 경향 분석을 실시하는 것이 더 정확하고 정밀한 변화 추세와 수질을 확인할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서 사용되었던 수질 자료는 강우를 고려한 데이터인지를 명확히 알 수 없어서 판단할 기준이 명확하지 않으며, 수질을 평가하기에 지점마다 유량과 강우, 일사량 등과 같은 환경요소가 다르다. 따라서, 정확한 경향분석을 하기 위해서는 체계적인 수질 데이터의 관리와 여러 환경을 고려한 경향성 분석이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 원주지방환경청 남·북한강 상류 수계 흙탕물 및 수질오염원인 파악을 위한 정밀조사 및 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1I1A2A01062301).

REFERENCES

1. 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. doi:10.1029/WR018i001p00107.

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. doi:10.1029/WR020i006p00727.
3. Hirsch, R. M., R. B. Alexander, and R. A. Smith, 1991. Selection of methods for the detection and estimation of trends in water quality. *Water Resources Research* 27(5): 803-813. doi:10.1029/91WR00259.
4. Kendall, M. G., 1975. *Rank Correlation Methods*, 4th ed. London: Griffin.
5. Kim, H. N., S. E. An, S. W. Ji, and Y. S. Kim, 2018. An economic analysis of converting highland agricultural areas into environment-friendly land use for water quality improvement, 1-9. KEI-13. Sejong, Seoul: Korea Environment Institute (in Korean).
6. Kim, J. G., S. I. Lee, B. K. Park, C. H. Won, D. H. Kum, and J. D. Choi, 2019. Analysis of flow rate-SS discharges characteristics and causes during rainfall season in Daegi-cheon watershed. *Journal of Wetland Research* 21(1): 9-15 (in Korean). doi:10.17663/JWR.2019.21.1.009.
7. 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 Korean Society on Water Quality* 20(1): 63-71 (in Korean).
8. Korea Meteorological Administration, 2018. The Korean peninsula climate change prospect analysis (in Korean).
9. Kong, D. S., 2018. Phosphorus budget of a river reservoir, Paldang. *Journal of Korean Society on Water Environment* 34(3): 270-284 (in Korean). doi:10.15681/KSWE.2018.34.3.270.
10. Statistics Korea, 2019. National agricultural area survey (in Korean).
11. Kwak, S. J., B. D. Bhattarai, E. J. Kim, C. K. Lee, H. J. Lee, and W. M. Heo, 2012. Characteristics of non-point pollution discharge on stormwater runoff from lake Doam watershed. *Korean Journal of Ecology and Environment* 45(1): 62-71 (in Korean).
12. Kwak, S. J., B. D. Bhattarai, C. K. Lee, and W. M. Heo, 2013. Long-term trend summer season of water quality in lake Doam. *Korean Journal of Limnology* 46(1): 128-134 (in Korean). doi:10.11614/KSL.2013.46.1.128.
13. Kwak, S. J., B. D. Bhattarai, G. Y. Kim, P. G. Kang, and W. M. Heo, 2018. Characteristics of runoff load from nonpoint source pollutants in the lake Doam watershed. *Korean Journal of Ecology and Environment* 51(1): 135-147 (in Korean). doi:10.11614/KSL.2018.51.1.135.
14. Lee, H. W., and S. S. Park, 2008. Long-term trend analyses of water qualities in Mangyung watershed. *Journal of Korean Society on Water Quality* 24(4): 480-487 (in Korean).
15. Lettenmaier, D. P., 1988. Multivariate nonparametric tests for trend in water quality. *Journal of the American Water Resources Association* 24(3): 505-512. doi:10.1111/j.1752-1688.1988.tb00900.x.
16. Mann, H. B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13(3): 245-259. doi:10.2307/1907187.
17. Ministry of Environment, 2004. Comprehensive countermeasures to reduce non-point pollution in highland fields (in Korean).
18. Ministry of Environment, 2012. Medium influence areas water environment management plan in upstream Namhan river (in Korean).
19. Park, S. M., and Y. K. Shin, 2011. The impact of monsoon rainfall on the water quality in the upstream watershed of southern Han River. *Korean Journal of Ecology and Environment* 44(4): 373-384 (in Korean).
20. Ryu, J. C., J. S. Kim, J. Y. Choi, H. S. Jang, D. S. Shin, J. K. Lee, and E. H. Na, 2018. Evaluation of the soil erosion mitigation through muddy water reduction project implementation in the Doam lake watershed non-point source management zone. *Journal of Environmental Policy and Administration* 26(4): 1-19 (in Korean). doi:10.15301/jepa.2018.26.4.1.
21. Sen, P. K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63: 1379-1389. doi:10.2307/2285891.
22. Smith, V. H., 1982. The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lakes: An empirical and theoretical analysis. *Limnology and Oceanography* 27(6): 1101-1112. doi:10.4319/lo.1982.27.6.1101.
23. 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. *Korean Journal of Ecology and Environment* 45(3): 302-313 (in Korean).
24. Varol, M., B. Gökot, and A. Bekleyen, 2010. Assesment of water pollution in the tigris river in diyarbakır, Turkey. *Water Practice and Technology* 5(1): wpt2010021. doi: 10.2166/wpt.2010.021.