

서화천유역 장기 수질모니터링을 통한 수질평가 연구

갈병석·박재범^{*}·문현생^{*}·조소현^{*}·주용은^{*}·민경옥^{*}

(주)다온솔루션

^{*}국립환경과학원 금강물환경연구소

Water quality evaluation research through long-term water quality monitoring in Seohwa Stream Watershed

Byungseok Kal·Jaebeom Park^{*}·Hyunsaing Mun^{*}·Sohyun Cho^{*}·Yongeun Joo^{*}·Kyeongok Min^{*}

Daon Solution co., Ltd.

^{*}Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

(Received : 5 October 2022, Revised : 9 November 2022, Accepted : 9 November 2022)

요약

본 연구는 대청호 상류에 있는 서화천 유역을 대상으로 지난 5년간 측정된 장기간의 수질모니터링 자료를 이용하여 수질 현황 및 추세를 분석하였다. 서화천 유역은 대청호의 녹조 발생 감소 및 수질 개선을 위한 사업이 진행되고 있으며 상수원 수질 관리를 위해서 지속적 관리가 필요하다. 현재 수질 평가는 수질 관리 지점을 파악하는 것이 목적이며 좋은물 등급과 통합수질지수(Water Quality Index, WQI)를 사용하였다. 추세 평가는 Mann-Kendall test와 Sen's Slope를 이용하여 수질 개선사업을 통한 효과를 평가하였다. 평가결과, 현재는 수질지수를 통해 수질 관리가 필요한 유역과 시기를 확인하였으며 추세분석을 통해 개선사업으로 인한 효과를 확인하였다. 본 연구를 통해 장기 수질모니터링 자료를 이용한 수질 현황 및 개선 효과를 검토할 수 있어 향후 비슷한 유형의 유역에서 적용 가능하리라 판단된다.

핵심용어 : 장기 모니터링, 유역관리, 수질지수, Mann-Kendall 분석

Abstract

This study analyzed the current status and trend of water quality using long-term water quality monitoring data measured over the past 5 years in the Seohwacheon Basin, located upstream of Daecheong Lake. In the Seohwacheon Basin, a project is underway to reduce the occurrence of algal blooms in the Daecheong Lake and to improve water quality, and continuous management is required for water quality management. The current water quality evaluation aims to identify the water quality management point, and the good water grade and the integrated water quality index (WQI) were used. For trend evaluation, the effect of the water quality improvement project was evaluated using the Mann-Kendall test and Sen's Slope. As a result of the evaluation, the current water quality index was used to identify the watersheds and when to manage water quality, and the effect of the improvement project was confirmed through trend analysis. Through this study, it is possible to review the water quality status and improvement effect using long-term water quality monitoring data, so it is expected to be applicable to similar types of watersheds in the future.

Key words : Long-term monitoring, Watershed management, Water Quality Index, Mann-Kendall test

^{*}To whom correspondence should be addressed.
PGA Eco and Bio Diversity Institute, Eco Korea
E-mail: econeural@gmail.com

• Byungseok Kal Daon Solution co., Ltd. / General Manager (kalbs1@naver.com)
• Jaebeom Park Daon Solution co., Ltd. / CEO (econeural@gmail.com)
• Hyunsaing Mun Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research / Research Officer (mungis@korea.kr)
• Sohyun Cho Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research / Researcher (shcho35@korea.kr)
• Yongeun Joo Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research / Research Fellow (jye92@korea.kr)
• Kyeongok Min Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research / Research Fellow (sori0205@korea.kr)

1. 서 론

하천에서의 정기적인 수질 모니터링은 하천 수질 관리 및 유역에서의 오염원 관리 측면에서 중요한 역할을 하고 있다. 모니터링을 통해 현재 하천의 수질 상태를 파악하여 수질 관리 여부를 판단할 수 있고 장기간 축적된 자료는 유역의 수질 변화 경향을 분석하여 오염원 변화분석 및 장기적인 유역관리를 위한 자료로 활용할 수 있다.

현재 수질 현황을 분석하기 위해 사용되는 지표로서는 BOD, T-P를 이용한 하천 생활환경기준이 있다. BOD, T-P 수질농도에 따라 “아주 좋음”에서 “매우 나쁨”까지 7단계로 구분되며 수질 등급에서의 수질 기준을 제공하고 있다. 그러나 하천 수질을 BOD, T-P의 2가지 단일 항목만으로 하천을 평가하는 것에는 한계가 있으며 하천의 수질 상태를 정확히 파악하기가 어렵다. 유역을 관리하기 위해서는 단일 수질 항목으로 평가하기보다는 유역에서의 여러 오염원을 반영할 수 있는 종합적 평가가 필요하리라 판단된다.

수질평가지수(WQI, Water Quality Index)란 수질 자료를 종합적으로 평가하고, 일반 국민 혹은 정책결정권자들이 하천의 수질을 쉽게 이해할 수 있도록 도움 주기 위하여 하천 수질 자료를 종합적으로 평가한 이후에 수질 상태를 하나의 점수화한 것을 의미한다(Washington state department of ecology, 2002). 수질지수는 측정항목의 농도를 직접 사용하지 않고 수질 항목에 대한 영향도를 고려하여 종합적으로 수질을 평가할 수 있다. 미국에서는 1970년 미국보건재단(National Sanitation Foundation, NSF)에서 개발한 NSFQI(National Sanitation Foundation Water Quality Index)를 사용하며 이를 변형하여 주마다 실정에 맞는 수질지수를 사용하고 있다. 1970년 대상 수질 항목으로는 DO, pH, BOD, 수온, 총인(T-P), 유기물, 탁도 등이 있다(USEPA, 1976). 1977년 캐나다 환경부의 수질관리위원회(Canadian Council Ministers of the Environment, CCME)에서는 전문가와 비전문가 사이의 수질에 대한 원활한 의사소통을 위해 수질지수를 개발하였다. NSFQI와 달리 다양한 항목에 대한 수질 기준의 초과 정도 초과횟수 및 초과범위의 인자를 평균하여 수질지수를 산정하였다. 캐나다 국가하천 자동측정망은 현재 약 50개소를 운영중에 있으며 WQI산정에 필요한 자료들을 제공 한다(CCME, 2001). 최근 국내에서도 수질 지수에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. Kal et al. (2017)은 CCME-WQI를 활용하여 낙동강 지류의 수질 현황을 평가하였고, Shin et al. (2018)은 금호강 유역의 주요 지류 수질평가에 K-CWQI를 활용한 바 있다. 그리고 Yu et al. (2020)은 하천 유입 지천에서의 오염원 특성을 수질지수와 부하지속곡선(LDC), 오염부하량 등과 평가하여 비교하여 유역 수질 현상을 파악하는 데 활용하였다. 또한, Kim et al.(2021)은 금강수계에서 수질 유사도를 평가하기 위해 물 환경측정망 자료를 이용하여 수질지수를 평가하였다.

수질 개선이 필요한 유역에서는 관리 대책을 수립하기 전 모형을 구축하여 대책을 시나리오별로 모의하여 평가한다.

그러나, 대책이 추진된 유역에서의 수질 모니터링 자료가 있다면 수질 개선 여부를 수질 변화 추세 등을 검토하여 평가할 수 있다.

수질 추세를 분석하는 방법으로서 국내·외에서 사용하는 방법 중 Mann-Kendall 분석과 Sen's Slope를 이용하는 통계분석 방법이 많이 사용되고 있다. Jung et al.(2018)은 낙동강수계 남강에서의 수질측정 자료를 이용하여 장기적인 수질 추세를 분석하였고 Cho et al.(2019a)은 한강수계 지류 하천의 수질 모니터링 자료를 이용하고 Cho et al.(2019b)은 팔당호 지역의 수질자료를 이용하여 장기적인 수질 변동성을 분석하였다. 또한, Kim et al.(2020)은 낙동강수계 물 환경측정망 자료를 이용하여 상·하류 위치에 따른 수질 경향을 분석하였다. 이같이 모니터링 자료를 이용한 수질 추세 분석 사례는 많으나 유역에서의 저감 대책과 연계된 분석 사례는 많지 않다. 이는 서화천과 같이 저감 대책을 위한 모니터링을 집중적으로 수행한 사례가 많지 않기 때문으로 판단된다. 따라서, 장기간 수질 측정자료를 통한 추세 분석은 유역의 수질 개선을 검증하는 자료로 중요하다.

본 연구의 목적은 장기간 측정된 수질 모니터링 자료에 대하여 현재 유역의 수질평가와 수질저감 대책에 따른 수질 변화 경향을 평가하여 대책의 효율성을 평가하고 적합한지 검토하는 것이 목적이다.

2. 연구방법

2.1 장기모니터링을 통한 수질평가 방법

본 연구 과정은 Fig. 1.과 같이 크게 2개 분석 단계로 구분된다. 현재의 수질 현황을 분석하여 유역의 수질 상태를 파악하는 것과 장기 추세 분석을 통해 유역의 수질 변화 및 수질 사업을 통한 개선 효과를 분석하는 것으로 구분할 수 있다.

현재 수질 상태 분석은 장기 수질 모니터링 자료를 이용하여 생활환경기준에서 제시하고 있는 좋은물 기준으로 평가하는 방법과 수질지수를 평가하는 방법을 사용하게 된다. 좋은물 기준은 BOD와 T-P 수질 항목을 이용하여 “매우 좋

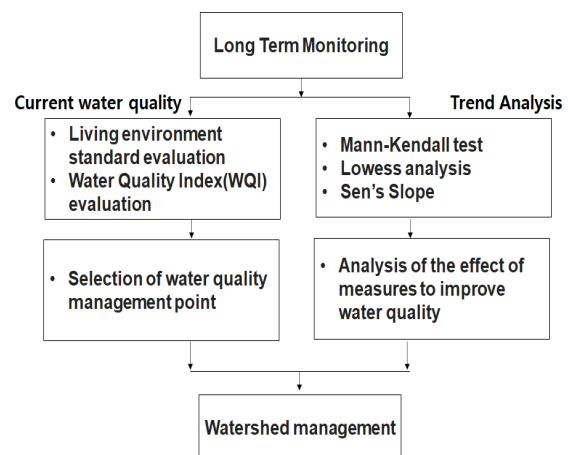


Fig. 1. Analysis Flowchart

음”(Ia)~“매우 나쁨”(VI) 7단계로 구분하여 평가하는 것으로서 물환경관리계획에서의 목표수질 평가 등 하천 수질을 평가하는 방법으로 많이 사용되고 있다. 수질지수(WQI, Water Quality Index) 방법은 단순히 한 개의 수질 항목을 평가하는 것이 아닌 여러 가지 수질 항목을 종합적으로 검토하는 것으로서 수질 항목별 값을 지수화 하여 평가하는 것이다. 수질지수 평가는 수질지수 점수에 따라 “우수”(Excellent): 80~100에서 “불량”(Very poor): 0~19로 5개 구간으로 구분된다.

장기 추세 분석은 통계적 기법인 Mann-Kendall test와 Sen's Slope를 이용하여 평가하는 것으로서 장기간 축적된 모니터링 자료를 이용하여 유역에서의 수질 변화를 분석한다. 분석은 전 기간 자료와 계절별 자료 나누어 분석하여 시기별 수질 변화 양상을 검토하게 된다.

분석된 자료의 평가는 현재 유역에서의 수질 현황을 통해 향후 지속적으로 수질 관리가 필요한 유역 내에서의 지점들을 검토할 수 있고 또한, 유역 내에서 추진되는 사업들로 인한 수질 개선 효과를 검토할 수 있다.

2.2 연구지역 및 모니터링 현황

연구지역인 서화천 유역은 대청호로 유입되는 주요하천으로서 유역면적은 191.56km²이며, 대청댐 중권역 면적 667.48 km²의 약 28.70%를 차지하고 있다. 행정구역상 충청북도 옥천군과 충청남도 금산군이 포함되며 유역의 주요 지류는 추풍천, 금산천, 금구천, 성당천, 서대천, 이백천이 있다. 특히, 서화천은 대청호 상류에 있어 유입되는 수질이 대청호에 많은 영향을 주며 서화천 하류의 만곡부의 지형적 특성으로 흐름 정체가 발생하여 해당 구간에서 수질 악화 및 조류 발생이 일어나고 있다.

이에 환경부 금강유역환경청에서는 오염원 제거를 통한 서화천 유역의 녹조 저감 대책을 추진하여 방치 축분 저감, 양분 수지 관리 등 비점오염원 관리강화와 개인 하수처리시설, 관로 정비 등 점오염원 관리강화, 수질 모니터링과 거버넌스 활성화를 2018년부터 추진 중이다.

Fig. 2.는 서화천 유역 현황과 소유역별 수질측정 지점이다. 유역의 주요 오염원으로는 서화천 상류의 금산군 지역(소유역 1~6)에서는 인삼 재배와 갯잎 재배 등 발농사가 많이 이루어 지며 옥천군에서는 금구천 상류(소유역 12, 13, 15, 16)의 한우 축산단지과 옥천읍 내(소유역 14, 17, 18, 19)의 시가지가 있다. 그리고 서화천 하류에는 옥천하수처리장(시설용량: 18,000m³)(소유역 22)이 방류되고 있다.

금강물환경연구소는 서화천에서의 비점오염원 관리를 위해 지난 2017년 11월부터 현재(2022년 6월)까지 서화천 유역 22개 지점에서 청천시 월 1회, 강우시 12개 지점에서 수질 및 유량을 측정하고 있다. 채수한 시료의 수질분석은 BOD₅, CODMn, TOC, SS, T-N, DTN, NO₃-N, NH₃-N, T-P, DTP, PO₄-P의 11개 항목에 대해서 수질오염 공정시험기준에 따라 분석한다. 아래 Table 1.과 Fig. 3.은 서화천 유역에서 지난 2018년 이후 추진된 수질개선 사

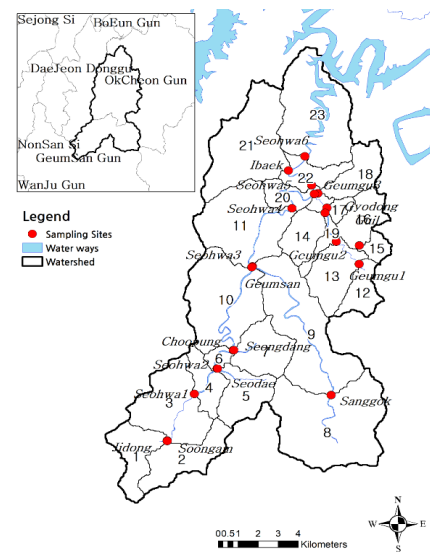


Fig. 2. Study area and sampling sites

Table 1. Water Quality Improvement project Status

No	Project	Implementation period	Applicable Subwatershed
1	Artificial Wetland	2019.8~2020.12	23
2	Guil Reservoir composition	2016.1~2020.6	15
3	Okcheongun Animal manure Collection	2018~2020	9~23

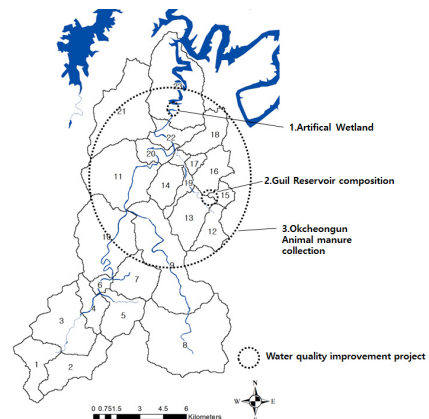


Fig. 3. Water Quality Improvement project status

업 현황이다.

주로 오염원이 밀집되어 있는 금구천 유역(소유역 12~19)과 옥천군에서 사업이 진행되었다. 진행된 사업 대청호 유입 전 오염원을 저감시키기 위해 서화천 하류(소유역 23)에 인공습지 및 정화림을 설치하는 사업(1)이 있다. 그리고 축사가 밀집되어 있는 구일천 상류에 구일저류지 인공습지(2)를 조성하여 강우시 유입되는 비점오염원을 저감하는 사업을 추진하였다. 또한, 유역 내에 산재되어 있는 축산계 방치 축

Table 2. Appropriate criteria for water quality factors (NIER, 2013)

Item	Water Quality Range
DO	$0.8 \times \text{DO Saturation concentration at present water temperature} \leq \text{DO} \leq 1.3 \times \text{DO Saturation concentration at present water temperature}$
pH	$6.5 \leq \text{pH} \leq 9.0$
Water Temp.	Monthly average for 10 years - $10^\circ\text{C} \leq \text{Water Temp.} \leq \text{Monthly average for 10 years} + 10^\circ\text{C}$
EC	$\text{EC} \leq 200 \mu\text{S/cm}$
TOC	$\text{TOC} \leq 3.0\text{mg/L}$
T-N	$\text{T-N} \leq 3.0\text{mg/L}$
T-P	$\text{T-P} \leq 0.1\text{mg/L}$

분을 저감하기 위해 ‘퇴비나눔 사업’(3)이 옥천군에서 실시되어 축분을 수거하여 제거함으로써 하천으로 유입되는 축산계로부터의 오염원을 저감시키는 사업이 추진되었다.

2.3 수질지수(WQI)

본 연구에서의 수질지수는 환경부 실시간 수질정보시스템에서 적용하고 있는 RTWQI 방법을 이용하였다. 평가항목은 아래 Table 2.와 같이 실시간수질지수에서는 총 8개 수질 항목을 이용하여 산정되고 있으나 본 연구에서는 탁도를 제외한 7개 수질 항목 pH, DO, EC, 수온, TOC, T-N, T-P에 대해 평가항목으로 선정하였다. 해당 범위는 실시간 수질정보시스템의 값을 사용하였다.

수질지수는 아래 식 1과 같이 F_1, F_2, F_3 factor를 이용하여 계산 된다.

$$WQI = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}} \quad (1)$$

여기서, F_1 은 기준치를 위반하는 수질 항목의 개수를 전체 측정하고 있는 수질 항목의 개수로 나누어 산정한 분율, F_2 는 각 수질 항목별 측정주기 동안 기준치를 위반한 항목들의 총횟수를 총 측정횟수로 나누어 산정한 분율, F_3 은 각 수질 항목별로 기준치를 위한 정도를 분율 화한 요소의 합을 의미한다.

수질지수는 총 5개의 구간을 가진다. 구간은 “우수”(Excellent): 80~100, “양호”(Good): 60~79, “보통”(Fair): 40~59, “주의”(Poor): 20~39, “불량”(Very poor): 0~19 이다.

2.4 Mann-Kendall test

이 방법은 비모수적 방법으로서 장기적인 시계열자료의 경향성을 분석하는데 많이 이용된다(Mann 1945; Kendall, 1975). 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 기울기 통계량(seasonal Kendall slope estimator)을 구하여 경향성의 정도를 판단할 수 있다. 자료는 연도별 월평균 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-value 0.05이면 경향성이 없다는 귀무가설을 수용하고, p-value 0.05일 때 귀무가설을 기각하고 경향성이 있다는 대립가설을 수용한다(Kim, 2001).

2.5 Sen's Slope

Sen(1968)에 의해 제안되었으며 데이터에 대한 추세 기울기를 평가하는 방법이다. 이 방법은 특이값에 영향을 받지 않고, 자료가 누락된 경우에도 분석이 가능하다.

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} (i = 1, \dots, n) \quad (2)$$

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

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{[(n+1)/2]}, & \text{if } N \text{ is odd} \\ \frac{Q_{[n/2]} + Q_{[(n+2)/2]}}{2}, & \text{if } N \text{ is even} \end{cases} \quad (3)$$

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, 신뢰구간은 아래와 같다.

$$C_a = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{VAR}(S)} \quad (4)$$

$\text{VAR}(S)$ 는 S에 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.

3. 연구결과

3.1 현재 수질 평가

2017년 11월부터 2022년 6월까지 매월 측정한 청천시 수질 자료를 통해 수질 현황을 분석하였다. 수질은 BOD, T-N, T-P를 검토하였으며 아래 Table 3.과 같이 평균, 최대, 최소 수질과 좋은물 기준과 수질지수를 평가하였다(Fig. 4., Fig. 5.).

소유역별 평균 및 최대, 최소값을 검토한 결과, 소유역 12~19 사이의 수질이 타 유역에 비해 높게 나타나고 있는 것으로 평가되었다. 해당 소유역은 금구천 유역으로서 서화천 내 인구 및 도시화가 많이 진행된 곳이며 상류 축산 단지도 많이 분포되어 오염원이 많이 밀집된 지역이다.

좋은물 기준 평가결과, BOD 기준으로 Ia 등급 1개, Ib 등급 15개, II 등급 5개 소유역, III 등급 1개 소유역으로 나타났고 T-P 기준으로 Ia 등급 1개, Ib 등급 7개, II 등급 11개 소유역, III 등급 3개 소유역으로 나타났다. 앞서 수질이 좋지 않았던 금구천 유역(소유역 12~19)의 경우 BOD는 “좋은”(Ib)~“보통”(III), T-P는 “약간 좋음”(II)~“보통”(III)을 나타내고 있다.

수질지수 평가결과, 우수(Excellent) 2개, 양호(Good) 9개, 보통(Fair) 12개로 나타났다. 금구천 유역(소유역 12~19)은

41.59~57.32로 “보통”(Fair) 등급을 나타내고 있다.

아래 Table 4.와 Fig. 6.은 수질지수 및 BOD, T-P 월별 수질 값을 나타내고 있다. 월별 평가결과, 수질지수는 평균 64.95로서 양호(Good)등급이며 BOD는 “좋은”(Ib), T-P는 “약간 좋음”(II)을 나타내고 있다.

수질지수 및 수질농도가 양호한 월을 평가하면 수질지수는 1월과 4월이 양호하고 BOD는 7월과 10월, T-P는 4월과 12월이 양호하게 나타났다. 불량한 월은 수질지수가 5~6월, BOD는 2월과 6월, T-P는 7~8월 불량하게 나타났다. BOD는 유량이 적은 2월과 비점오염원의 영향을 받는 6월의 수질이 나쁘고 T-P는 강우로 유입되는 오염원이 많은 7~8월 수질이 나쁘게 평가되었다. BOD는 강우가 적은 겨울철 농도가 높게 나타나고 있어 하천에서의 점오염원 관리에는 유리하나 오히려 강우가 많은 시기 유량 증가로 인해 수질이 개선되는 착시 효과가 발생한다. 반대로 T-P는 강우가 많은 여름철 수질이 높아 비점오염원 관리에는 유리하나 겨울철 하천 유량 부족 등의 관리에는 불리하다.

수질지수는 단일 수질 평가항목이 아닌 여러 항목이 함께 적용되어 이러한 단점을 보완하는 기능을 더할 수 있다. 또한, 측정횟수, 기준 초과 횟수 등 지수 산정할 때 통계적 기법이 반영되어 산술평균하는 방식의 수질평가 방법보다 더 과학적인 평가가 가능하다.

Table 3. Water quality by subwatershed

Sub No.	BOD				T-N				T-P				WQI
	Min.	Avg.	Max.	Standard	Min.	Avg.	Max.	Standard	Min.	Avg.	Max.	Standard	
1	0.4	2.0	7.0	II	1.436	3.799	6.784	-	0.033	0.096	0.557	II	47.84
2	0.4	1.4	3.2	I b	0.815	4.208	8.111	-	0.032	0.088	0.263	II	50.82
3	0.5	1.2	2.8	I b	0.466	3.638	6.422	-	0.016	0.060	0.160	II	62.37
4	0.5	1.3	2.9	I b	1.910	4.222	10.804	-	0.016	0.048	0.120	II	57.89
5	0.2	1.0	2.4	I b	0.711	2.422	5.058	-	0.006	0.064	1.498	II	46.03
6	0.2	1.0	2.4	I b	0.711	2.422	5.058	-	0.006	0.064	1.498	I b	64.43
7	0.3	1.0	3.8	I b	0.692	3.351	5.428	-	0.010	0.038	0.120	II	64.44
8	0.1	0.5	1.5	I a	0.882	2.374	5.174	-	0.004	0.020	0.098	I a	86.49
9	0.1	1.0	2.4	I b	0.389	2.013	5.628	-	0.003	0.029	0.756	I b	88.04
10	0.2	1.2	3.7	I b	0.727	3.152	6.044	-	0.000	0.027	0.070	I b	73.28
11	0.3	1.3	3.7	I b	0.457	2.652	5.629	-	0.000	0.023	0.077	I b	70.40
12	0.3	1.9	6.6	I b	1.985	5.902	10.097	-	0.016	0.074	0.731	II	55.18
13	0.6	1.9	8.3	I b	1.414	4.411	6.890	-	0.011	0.064	0.370	II	57.32
14	0.5	2.0	13.8	I b	1.076	3.195	4.936	-	0.028	0.097	0.459	II	53.51
15	1.3	4.5	11.5	III	1.062	2.971	6.451	-	0.013	0.092	0.363	II	50.61
16	0.6	2.8	16.0	II	1.227	4.057	8.968	-	0.022	0.106	0.415	III	47.12
17	1.0	2.9	17.6	II	1.326	4.524	7.382	-	0.027	0.149	1.303	III	41.59
18	0.2	2.1	12.9	II	0.492	1.996	4.686	-	0.010	0.120	0.483	III	54.84
19	0.5	2.3	15.2	II	1.154	3.555	6.077	-	0.011	0.076	0.290	II	47.70
20	0.2	1.6	5.9	I b	0.905	2.737	5.368	-	0.000	0.034	0.107	I b	63.77
21	0.3	1.1	2.8	I b	1.954	4.747	7.547	-	0.003	0.033	0.290	I b	60.48
22	0.2	1.4	3.8	I b	0.896	2.856	5.231	-	0.000	0.032	0.202	I b	63.31

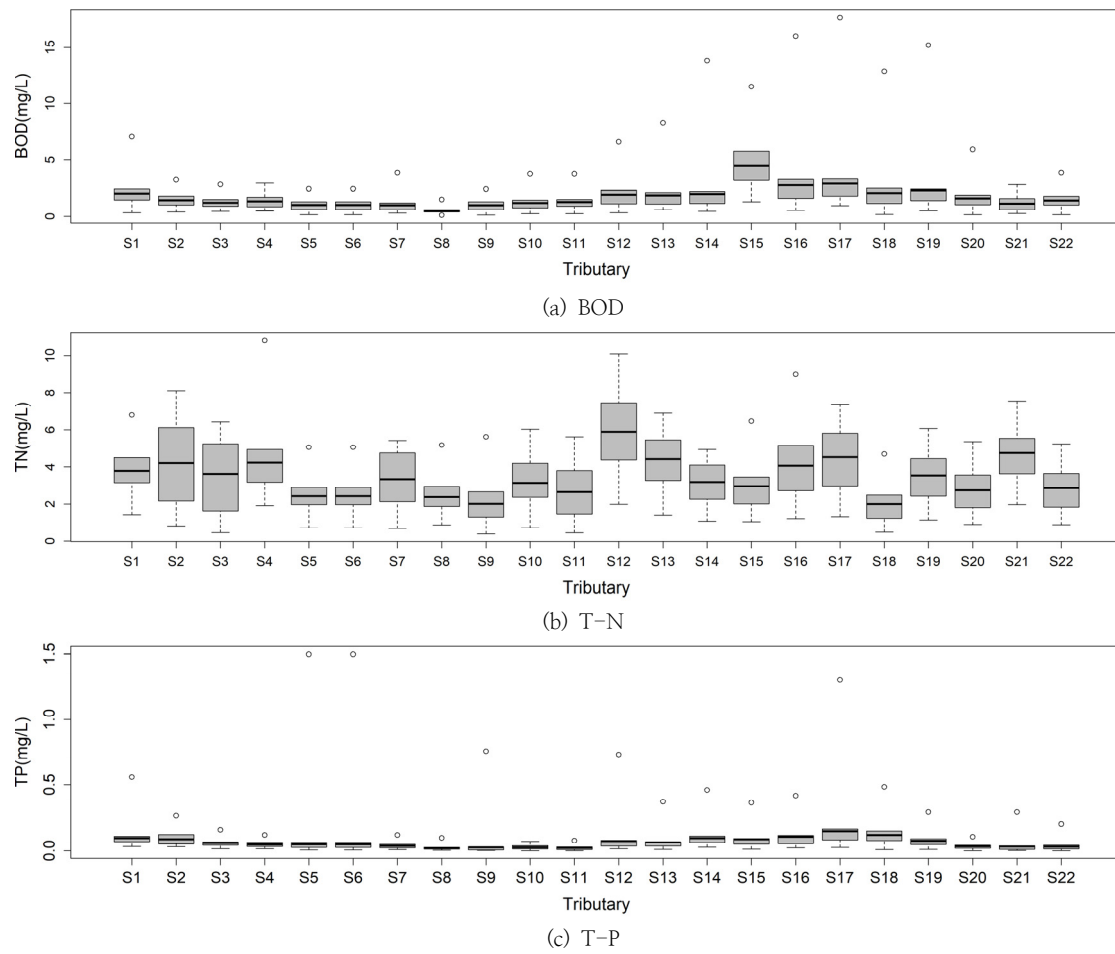


Fig. 4. Water quality by subwatershed

Table 4. Monthly WQI

Division	Month												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	AVG.
WQI	67.14	65.42	63.30	68.28	61.76	63.50	65.54	64.62	65.11	62.11	66.56	66.06	64.95
BOD	1.7	2.0	1.9	1.8	1.9	2.5	1.3	1.6	1.6	1.3	1.4	1.5	1.7
T-P	0.058	0.056	0.048	0.046	0.078	0.084	0.090	0.116	0.079	0.064	0.062	0.043	0.069

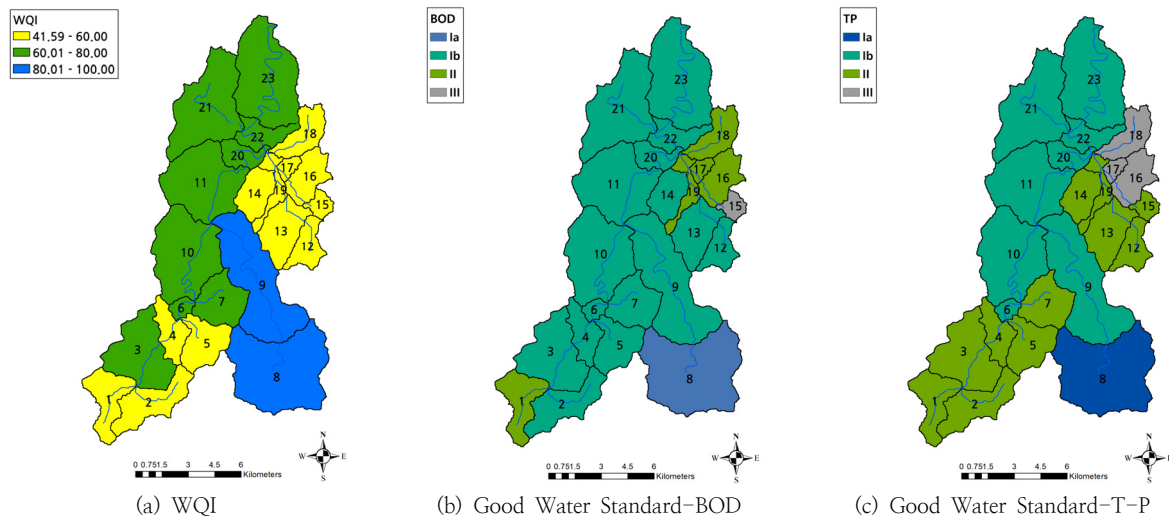
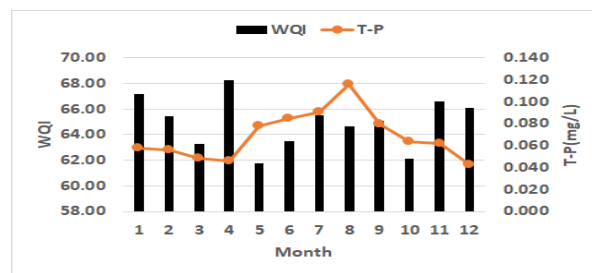


Fig. 5. Comparison of water quality



(a) WQI-BOD



(b) WQI-T-P

Fig. 6. Monthly WQI-Water Quality Comparison

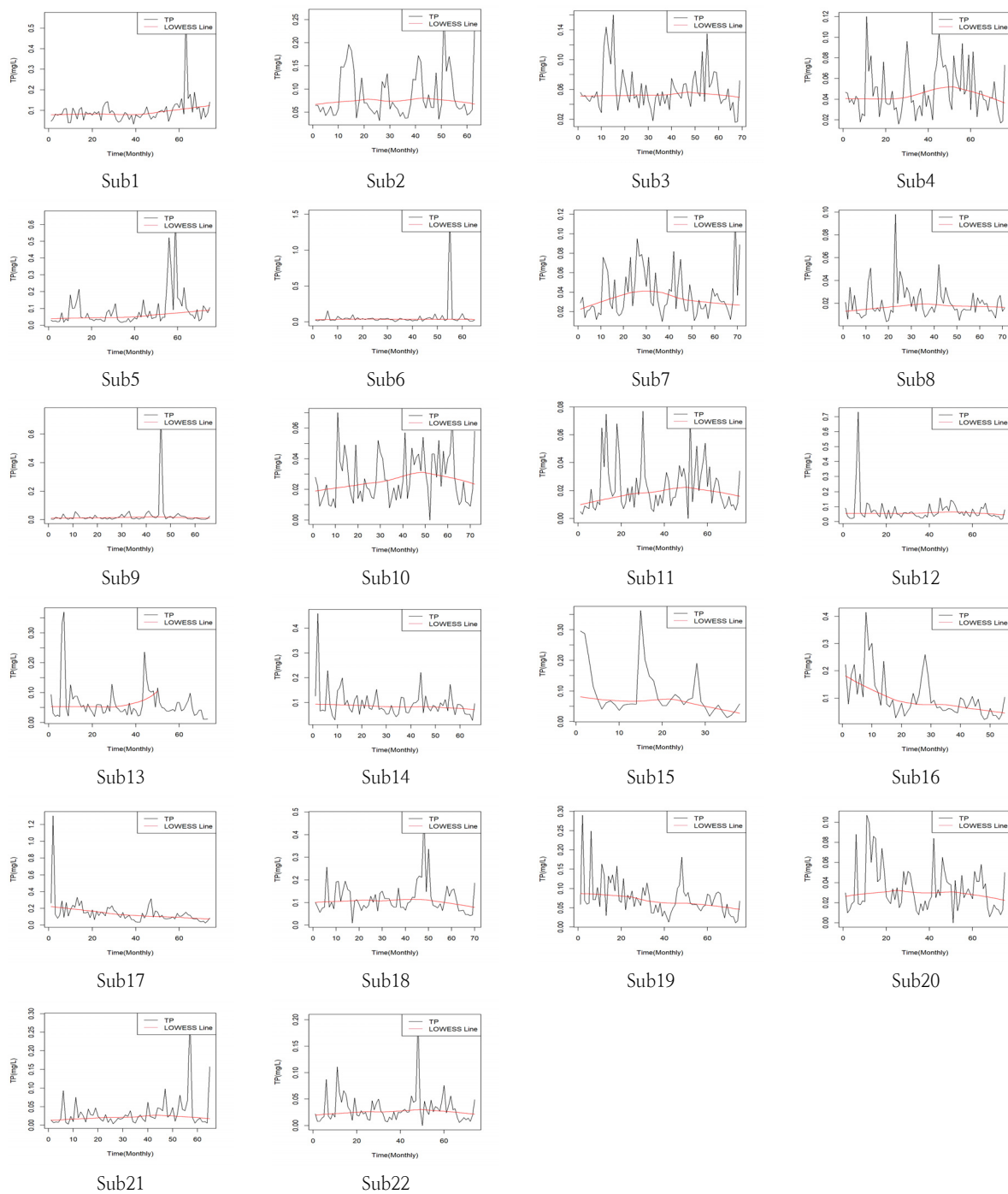


Fig. 7. Trend Analysis by All period Example T-P

Table 5. Analysis Trend of All Period

Site	BOD			T-N			T-P		
	p	Slope	Trend	p	Slope	Trend	p	Slope	Trend
1	0.001	0.012	Upward	0.327	-0.006	No Trend	0.004	0.001	Upward
2	0.398	0.845	No Trend	0.484	-0.009	No Trend	0.606	0.000	No Trend
3	0.819	0.000	No Trend	0.208	-0.014	No Trend	0.667	-0.000	No Trend
4	0.836	0.000	No Trend	0.223	-0.008	No Trend	0.693	0.000	No Trend
5	0.034	0.009	Upward	0.056	-0.011	No Trend	0.001	0.001	Upward
6	0.905	0.000	No Trend	0.092	-0.010	No Trend	0.932	0.000	No Trend
7	0.738	0.000	No Trend	0.031	-0.014	Downward	0.666	0.000	No Trend
8	0.177	0.000	No Trend	0.207	-0.006	No Trend	0.929	0.000	No Trend
9	0.237	-0.003	No Trend	0.630	-0.003	No Trend	0.698	0.000	No Trend
10	0.653	0.000	No Trend	0.040	-0.014	Downward	0.158	0.000	No Trend
11	0.840	0.000	No Trend	0.013	-0.017	Downward	0.278	0.000	No Trend
12	0.002	-0.015	Downward	0.047	-0.017	Downward	0.735	-0.000	No Trend
13	0.347	-0.003	No Trend	0.027	-0.016	Downward	0.192	-0.000	No Trend
14	0.682	0.002	No Trend	0.147	-0.011	No Trend	0.128	-0.000	No Trend
15	0.743	-0.005	No Trend	0.163	-0.023	No Trend	0.001	-0.002	Downward
16	0.000	-0.050	Downward	0.000	-0.063	Downward	0.000	-0.002	Downward
17	0.000	-0.023	Downward	0.000	-0.036	Downward	0.000	-0.002	Downward
18	0.566	-0.004	No Trend	0.012	-0.013	Downward	0.666	-0.000	No Trend
19	0.015	-0.010	Downward	0.074	-0.012	No Trend	0.000	-0.001	Downward
20	0.127	-0.006	No Trend	0.003	-0.019	Downward	0.194	-0.000	No Trend
21	0.613	0.000	No Trend	0.002	-0.020	Downward	0.057	0.000	No Trend
22	0.830	0.000	No Trend	0.001	-0.020	Downward	0.762	0.000	No Trend

서화천에서는 수질지수 평가결과, 유역으로는 금구천 유역(소유역 12~19)과 서화천 상류의 소유역 1, 2, 4, 5의 관리가 필요하며 시기적으로는 겨울철보다는 5, 6, 10월 강우로 인한 비점오염원 관리가 더 필요한 유역으로 판단된다.

3.2 수질 경향성 분석

지점별 측정자료를 통해 장기간 수질 경향성을 분석하였다. 분석은 Mann-Kendall과 Sen's Slope를 이용하여 평가하였으며 유의수준 5% 이내의 경우 경향성이 있는 것으로

Table 6. Analysis Trend of Spring

Site	BOD			T-N			T-P		
	p	Slope	Trend	p	Slope	Trend	p	Slope	Trend
1	0.089	0.041	No Trend	0.028	-0.044	Downward	0.184	0.002	No Trend
2	0.892	0.000	No Trend	0.822	0.027	No Trend	0.753	0.001	No Trend
3	0.415	-0.003	No Trend	0.449	-0.063	No Trend	0.850	-0.000	No Trend
4	1.000	0.000	No Trend	0.216	0.030	No Trend	0.717	0.000	No Trend
5	0.108	0.035	No Trend	0.608	-0.021	No Trend	0.008	0.005	Upward
6	0.142	-0.039	No Trend	0.260	-0.060	No Trend	0.558	-0.001	No Trend
7	0.274	0.032	No Trend	0.156	-0.054	No Trend	0.785	0.000	No Trend
8	0.598	0.000	No Trend	0.264	-0.040	No Trend	0.879	0.000	No Trend
9	0.063	-0.044	No Trend	0.620	-0.019	No Trend	0.718	-0.000	No Trend
10	0.067	-0.036	No Trend	0.484	-0.044	No Trend	0.861	0.000	No Trend
11	0.951	0.000	No Trend	0.032	-0.067	Downward	0.904	-0.000	No Trend
12	0.068	-0.033	No Trend	0.097	-0.116	No Trend	0.397	-0.001	No Trend
13	0.565	-0.013	No Trend	0.028	-0.079	Downward	0.204	-0.001	No Trend
14	0.916	0.000	No Trend	0.080	-0.100	No Trend	0.234	-0.002	No Trend
15	0.319	-0.325	No Trend	0.266	-0.141	No Trend	0.266	-0.007	No Trend
16	0.001	-0.133	Downward	0.000	-0.240	Downward	0.002	-0.005	Downward
17	0.029	-0.081	Downward	0.001	-0.224	Downward	0.007	-0.006	Downward
18	0.778	-0.007	No Trend	0.003	-0.074	Downward	0.046	-0.003	Downward
19	0.213	-0.030	No Trend	0.006	-0.099	Downward	0.012	-0.003	Downward
20	0.317	-0.017	No Trend	0.017	-0.078	Downward	0.290	-0.000	No Trend
21	0.557	-0.016	No Trend	0.008	-0.128	Downward	0.588	0.001	No Trend
22	0.648	-0.008	No Trend	0.010	-0.079	Downward	0.694	0.000	No Trend

Table 7. Analysis Trend of Summer

Site	BOD			T-N			T-P		
	p	Slope	Trend	p	Slope	Trend	p	Slope	Trend
1	0.021	0.092	Upward	0.022	0.131	Upward	0.321	0.003	No Trend
2	0.348	0.033	No Trend	0.584	-0.031	No Trend	1.000	-0.000	No Trend
3	0.711	0.014	No Trend	0.428	0.027	No Trend	0.502	-0.004	No Trend
4	0.684	0.029	No Trend	0.928	-0.005	No Trend	0.321	-0.001	No Trend
5	0.258	0.079	No Trend	0.260	0.045	No Trend	0.964	0.000	No Trend
6	0.426	0.050	No Trend	0.300	0.040	No Trend	0.668	-0.001	No Trend
7	0.269	-0.056	No Trend	0.951	0.006	No Trend	0.583	-0.002	No Trend
8	0.049	-0.010	Downward	0.206	-0.034	No Trend	0.453	-0.000	No Trend
9	0.713	-0.033	No Trend	0.502	-0.037	No Trend	0.358	0.001	No Trend
10	0.399	0.022	No Trend	0.621	-0.032	No Trend	0.081	0.001	No Trend
11	0.252	0.044	No Trend	0.843	0.008	No Trend	0.297	-0.001	No Trend
12	0.766	0.025	No Trend	1.000	-0.010	No Trend	0.729	-0.001	No Trend
13	0.912	0.000	No Trend	0.189	-0.052	No Trend	0.298	-0.003	No Trend
14	0.036	0.209	Upward	0.913	0.010	No Trend	0.584	-0.001	No Trend
15	0.858	-0.040	No Trend	0.592	-0.009	No Trend	0.243	-0.014	No Trend
16	0.042	-0.322	Downward	0.876	-0.032	No Trend	0.029	-0.017	Downward
17	0.344	0.070	No Trend	0.767	-0.011	No Trend	0.013	-0.011	Downward
18	0.381	0.088	No Trend	0.743	0.029	No Trend	0.443	0.002	No Trend
19	0.727	0.025	No Trend	0.843	0.019	No Trend	0.216	-0.004	No Trend
20	0.398	0.042	No Trend	1.000	-0.002	No Trend	0.046	-0.002	Downward
21	0.945	0.006	No Trend	0.451	-0.047	No Trend	0.064	0.003	No Trend
22	0.233	0.078	No Trend	0.692	-0.022	No Trend	0.487	-0.001	No Trend

평가하였다. 분석 기간은 전기간(All Period)와 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(12~2월)로 구분하여 계절별 분석을 수행하였다.

아래 Fig. 7.은 전 기간에서의 T-P 수질항목을 예시하여 Mann -Kendall 분석과 분석결과를 이용한 Lowess곡선을 나타낸 그림이며 Fig. 10.은 전 기간과 계절별 추세 경향을

Table 8. Analysis Trend of Autumn

Site	BOD			T-N			T-P		
	p	Slope	Trend	p	Slope	Trend	p	Slope	Trend
1	0.598	0.014	No Trend	0.726	0.015	No Trend	0.004	0.004	Upward
2	0.538	-0.039	No Trend	0.855	0.038	No Trend	0.760	-0.000	No Trend
3	0.593	-0.009	No Trend	0.880	-0.020	No Trend	0.970	-0.000	No Trend
4	0.291	-0.014	No Trend	0.726	-0.023	No Trend	0.833	-0.000	No Trend
5	0.972	0.000	No Trend	0.234	-0.026	No Trend	0.345	0.001	No Trend
6	0.867	0.000	No Trend	0.458	-0.018	No Trend	0.710	-0.000	No Trend
7	0.328	-0.010	No Trend	0.711	-0.025	No Trend	0.901	0.000	No Trend
8	0.059	-0.003	No Trend	0.537	0.019	No Trend	0.454	0.000	No Trend
9	1.000	0.000	No Trend	0.434	0.050	No Trend	0.740	0.000	No Trend
10	0.788	0.000	No Trend	0.449	-0.016	No Trend	0.519	-0.000	No Trend
11	0.034	-0.033	Downward	0.401	-0.035	No Trend	0.888	0.000	No Trend
12	0.005	-0.086	Downward	0.675	-0.031	No Trend	0.529	0.001	No Trend
13	0.504	-0.022	No Trend	0.442	-0.036	No Trend	0.551	0.001	No Trend
14	0.849	0.000	No Trend	0.940	-0.004	No Trend	0.325	-0.002	No Trend
15	0.449	-0.053	No Trend	0.837	0.013	No Trend	0.244	-0.005	No Trend
16	0.058	-0.150	No Trend	0.271	-0.085	No Trend	0.059	-0.007	No Trend
17	0.002	-0.100	Downward	0.008	-0.113	Downward	0.002	-0.008	Downward
18	0.426	-0.025	No Trend	0.705	-0.011	No Trend	0.544	0.001	No Trend
19	0.018	-0.050	Downward	0.675	-0.016	No Trend	0.042	-0.004	Downward
20	0.063	-0.079	No Trend	0.059	-0.054	No Trend	0.221	-0.001	No Trend
21	0.769	0.000	No Trend	0.343	-0.033	No Trend	0.680	0.001	No Trend
22	0.149	-0.023	No Trend	0.021	-0.075	Downward	0.753	-0.000	No Trend

Table 9. Analysis Trend of Winter

Site	BOD			T-N			T-P		
	p	Slope	Trend	p	Slope	Trend	p	Slope	Trend
1	0.062	0.067	No Trend	0.150	0.000	No Trend	0.224	0.001	No Trend
2	0.793	0.000	No Trend	0.183	0.023	No Trend	0.580	0.000	No Trend
3	0.895	0.000	No Trend	0.721	0.008	No Trend	0.948	0.000	No Trend
4	0.794	0.000	No Trend	0.923	0.006	No Trend	0.143	0.001	No Trend
5	0.261	0.033	No Trend	0.036	-0.052	Downward	0.069	0.001	No Trend
6	0.972	0.000	No Trend	0.208	-0.038	No Trend	0.025	0.002	Upward
7	0.646	0.000	No Trend	0.330	-0.014	No Trend	0.672	0.000	No Trend
8	0.049	-0.010	Downward	0.206	-0.034	No Trend	0.453	-0.000	No Trend
9	0.845	0.000	No Trend	0.974	-0.003	No Trend	0.555	-0.000	No Trend
10	0.199	0.023	No Trend	0.230	-0.011	No Trend	0.059	0.001	No Trend
11	0.473	-0.013	No Trend	0.074	-0.024	No Trend	0.068	0.000	No Trend
12	0.055	-0.148	No Trend	0.347	-0.021	No Trend	0.746	0.000	No Trend
13	0.419	-0.040	No Trend	0.080	-0.045	No Trend	0.649	0.000	No Trend
14	0.180	-0.057	No Trend	0.692	-0.006	No Trend	0.960	0.000	No Trend
15	1.000	0.067	No Trend	0.266	-0.106	No Trend	0.618	-0.001	No Trend
16	0.012	-0.200	Downward	0.001	-0.314	Downward	0.020	-0.009	Downward
17	0.022	-0.163	Downward	0.069	-0.072	No Trend	0.007	-0.004	Downward
18	0.079	-0.100	No Trend	0.016	-0.063	Downward	0.309	-0.001	No Trend
19	0.043	-0.076	Downward	0.315	-0.035	No Trend	0.008	-0.002	Downward
20	0.192	-0.039	No Trend	0.230	-0.024	No Trend	0.345	-0.000	No Trend
21	0.769	0.000	No Trend	0.343	-0.033	No Trend	0.680	0.001	No Trend
22	0.503	-0.040	No Trend	0.234	-0.024	No Trend	0.806	0.000	No Trend

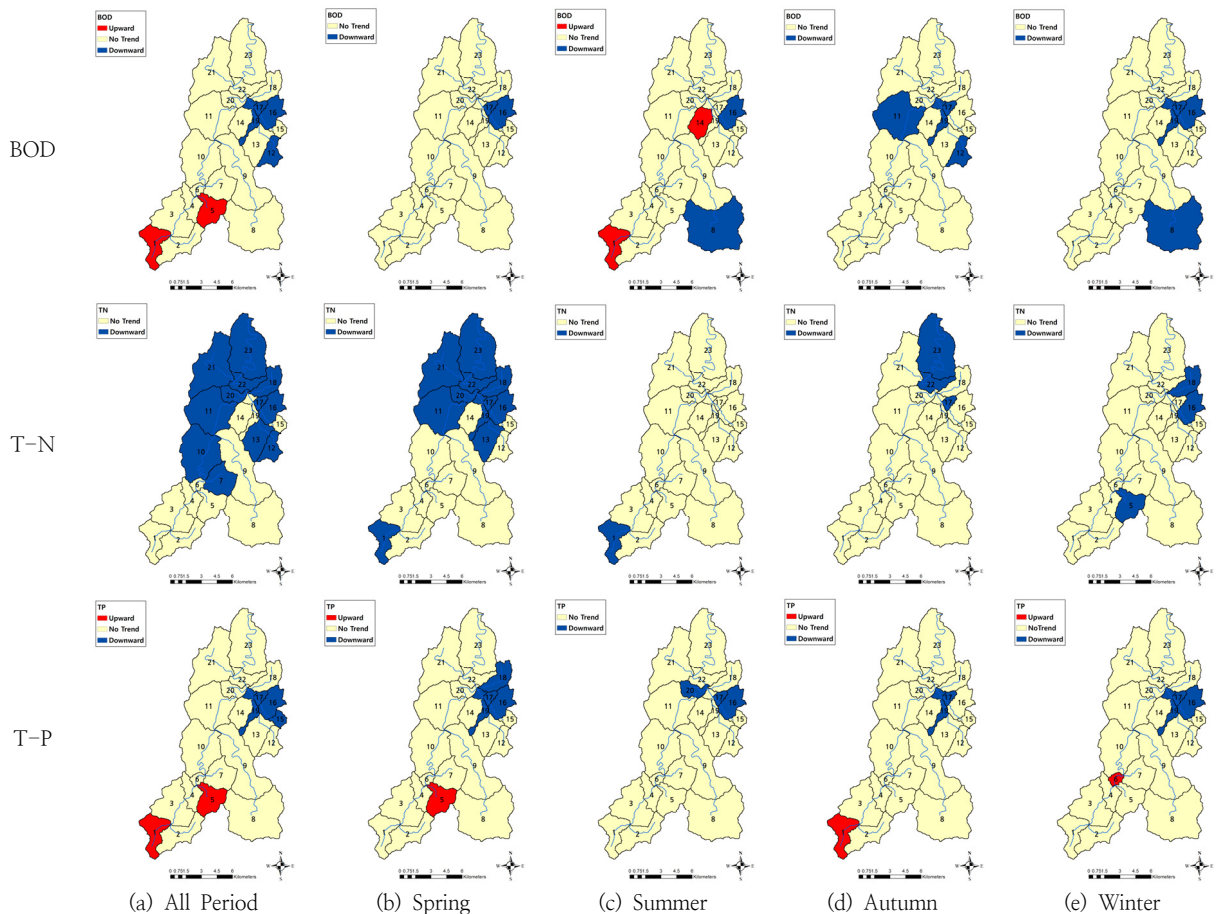


Fig. 8. Trend Analysis by Period

소유역별로 나타낸 그림이다. 분석 결과 및 추세 변화 분석 값은 Table 5.~Table 9.에 나타내었다.

기간별 분석 결과, 전 기간 분석 시 증가 추세는 BOD 2지점, T-P 2지점이고 감소 추세는 BOD 4지점, T-N 11지점, T-P 4지점이 나타났다. T-N은 유역의 50%가 감소 추세로 나타남으로써 유역 전반적으로 T-N 오염원이 감소하는 것으로 판단되며 BOD는 소유역 12, 16, 17, 19에서 T-P는 소유역 15, 16, 17, 19서 감소하는 것으로 나타났다.

계절별 분석 결과, 봄철(3~5월)은 증가추세가 T-P 1지점이고 감소 추세는 BOD 2지점, T-N 10지점, T-P 4지점이 나타났다. 전 기간과 같이 T-N의 감소 되는 유역이 거의 절반에 가까우며 BOD는 소유역 15, 16, T-P는 소유역 15~19으로 금구천 유역 내에서의 감소가 뚜렷하게 나타나고 있다.

여름철(6~8월)은 증가 추세가 BOD 2지점, T-N 1지점이고 감소 추세는 BOD 2지점, T-P 3지점이 나타났다. 감소 추세가 전 기간과 봄철에 비해 적으나 T-P는 소유역 16, 17과 서화천 본류의 소유역 20에서 감소 추세로 나타났다.

가을철(9~11월)은 증가 추세가 T-P 1지점이고 감소 추세는 BOD 4지점, T-N 2지점, T-P 2지점이 나타났다. BOD는 소유역 11, 12, 17, 19에서 감소하고 있으며 T-N은 소유역 17, 22, 23와 T-P는 소유역 17, 19에서 감소하는 것으로 나타났다.

겨울철(12~2월)은 증가 추세가 T-P 1지점이고 감소 추세는 BOD 4지점, T-N 3지점, T-P 3지점이 나타났다. BOD는 소유역 8, 16, 17, 19와 T-P는 소유역 16, 17, 19에서 감소하는 것으로 나타났다.

앞서 Fig. 3.과 Table 1.에서 서화천 유역에서 추진된 사업이 소유역 9~23에 집중되고 있고 특히, 금구천(소유역 12~19)에서는 비점오염원 저감사업(소유역 15)이 진행되어 BOD, T-P 저감 경향이 타 유역에 비해 뚜렷하게 나타나고 있다. T-N은 서화천 본류 하류인 소유역 11, 20, 22, 23에서의 감소가 많고 T-P는 소유역 16, 17, 19에서의 감소가 많아 방치 축분 제거 등으로 인한 수질 변화에 영향을 미친 것으로 판단된다. 저감 대책이 추진되지 않은 상류의 소유역 1, 5는 서화천 하류와 비교해볼 때 수질 감소 추세가 적어 대조군의 역할을 하고 있다.

5년간의 모니터링 기간을 통해 대책만의 효과라고 판단하기는 어려우나 서화천과 같은 오염원 변화가 크지 않은 농업지역이고 같은 기상 조건을 가질 때 대책으로 인한 변수를 고려한다면 대조군과의 비교시 대책의 효과는 확인할 수 있으리라 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 유역에서의 수질 관리를 위하여 현재 수질은 좋은물 기준과 수질지수로 평가하여 유역 내에서 수질이 좋지 않은 유역 선정 및 월별 평가를 통해 수질 관리가 필요

한 시기를 평가하였다. 그리고 장기 추세 분석을 통해 유역에서 진행된 수질 개선대책으로 인한 영향 효과를 확인하여 향후 유역 내 수질 관리 대책 수립시 필요한 정보를 제공할 수 있었다.

현재 수질 평가결과, 시기적으로 불량한 월이 수질지수가 5~6월, BOD는 2월과 6월, T-P는 7~8월 상대적으로 나쁘게 나타났다. BOD와 T-P의 수질 값이 나쁜 시기가 다르게 나타나는 것은 영향을 미치는 오염원이 다르기 때문으로서 단일 수질 항목을 평가할 때 이러한 문제점이 나타난다. 그러나 수질지수는 단일 항목만을 평가하는 것이 아닌 여러 항목을 복합적으로 검토함으로써 이러한 오류를 줄일수 있어 하천의 수질 상태를 보다 과학적으로 해석이 가능하다. 수질지수 평가결과, 수질지수가 상대적으로 낮은 금구천 유역(소유역 12~19)과 서화천 상류의 소유역 1, 2, 4, 5의 관리가 필요하며 시기적으로는 겨울철보다는 5, 6, 10월 강우로 인한 비점오염원 관리가 더 필요한 유역으로 판단된다.

장래 수질 추세 분석은 Mann-Kendall과 Sen's slope을 이용하여 측정된 분석 자료를 전 기간, 계절별로 구분하여 수질 변화를 분석하였다. 분석결과, 수질 개선대책이 추진된 옥천군 유역에서의 수질 개선 경향이 대책이 추진되지 않은 서화천 상류에 비해 감소되고 있는 유역이 많이 나타나고 있어 대책의 효과를 증명할 수 있는 좋은 자료가 되었다. 특히, 개선대책이 상대적으로 많이 추진되고 있고 현재 수질에서도 좋지 않은 유역인 금구천(소유역 12~19)에서의 감소 경향이 많이 나타나고 있다. 5년이라는 기간 동안 특수성으로 매년 강우의 패턴이 일정하지 않아 단정적으로 대책만의 효과로는 볼 수 없겠으나 서화천과 같이 유역에서의 개발 및 오염원 변화가 적은 농업지역의 유역에서 같은 기상 조건을 가지는 유역 내에서 대책으로 인한 변화 요인을 고려할 때 대책의 효과를 판단하는 근거로서 확인은 가능하리라 판단된다.

본 연구에서는 장기간 측정된 수질 모니터링 자료를 이용하여 좋은물 기준과 수질지수를 통해 현재 수질 현황을 평가하고 통계기법을 통해 수질 경향성을 평가하였다. 수질지수는 단일 항목의 수질값보다 여러 가지 수질 항목들을 지수화하여 평가함으로써 보다 유역에서의 수질 현황을 잘 파악할 수 있는 장점을 가지고 있어 향후 유역에서의 수질관리에 활용성이 크리라 판단된다. 또한, 수질 추세분석은 수질 개선대책에 대한 효과를 대책이 진행되지 않은 지역과 비교함으로써 대책 효과에 대한 신뢰성을 확보할 수 있는 자료로 활용 가능하며 계절별 분석을 통해 어느 시기, 어떤 오염원이 더 영향이 있는지 평가 결과를 확인할 수 있어 향후 유역에서의 수질개선 대책 적용시 활용이 가능하리라 판단된다. 이러한 결과를 바탕으로 수계 내에서의 수질 모니터링의 중요성과 필요성을 한번 더 확인할 수 있어 물관리를 위해 주요 지점에서만이라도 장기적인 수질 모니터링은 지속적으로 추진되어야 한다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 금강수계관리위원회에서 시행한 “대청호 상류 비점오염원 및 하천 정밀 모니터링(V)”의 결과입니다.

References

- CCME. 2001, Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0. ser's manual. In: Canadian Environmental quality guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Manitoba.
- Cho, Y.C., Park, M.J., Shin, K.Y., Choi, H.M., Kim, S.H., Yu, S.J. 2019a, A Study on Grade Classification for Improvement of Water Quality and Water Quality Characteristics in the Han River Watershed Tributaries. *Journal of Environment Impact Assess*, 28(3): 215–230.
- Cho, H.S., Son, J.Y., Kim, G.D., Shin, M.C., Cho, Y.C., Shin, K.S., Yu, S.J. 2019b, Non-parametric Trend Analysis Using Long-term Monitoring Data of Water Quality in Paldang Lake. *Journal of Environment Impact Assess*, 28(2): 83–100.
- Hirsch, R.M., Slack J.R. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence, *Water Resources Research*, National Institute of Environmental Research, 20(6): 727–732
- Jung, K.Y., Kim, M.J., Song, K.D., Seo, K.O., Hong, S.J., Chom S.H., Lee, Y.J., Kim, K.H. 2018, A Nonparametric Long-Term Trend Analysis Using Water Quality Monitoring Data in Nam-River. *Journal of Environment Science International*, 27(11): 1029–1048.
- Kal, B.S., Park, J.B., Kim, S.H., In, T.H. 2017, Assessment of tributary water quality using integrated Water Quality Index. *Journal of Wetlands Research* 26(5): 796–801.
- Kendall, M.G. 1975. Rank correlation methods, Charles Griffin, London
- Kim, J.H., Chae, M.H., Yoon, J.H., Seok, K.S. 2021, Water Quality Similarity Evaluation in Geum River Using Water Quality Monitoring Network Data. *Journal of Environment Impact Assess*, 30(2): 75–88.
- Kim J.H. 2001. Non-parametric trend analysis of stream quality in Nakdong River, Master's Thesis, Ewha Womans University, Seoul, Korea.
- Kim, J.M., Jeong, H.G., Kim, H.R., Kim, Y.S., Yang, D.S. 2020, A Non-parametric Trend Analysis of Water Quality Using Water Environment Network Data in Nakdong River. *Journal of Environment Impact Assess*, 29(1): 61–77.
- 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.
- Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, 13, 245–249.
- NIER(National Institute of Environmental Research). 2013. Real time Water Quality data system construction and database enhancement(I).
- Shin, S.H., Im, T.H., Kim, S.H., Shin, D.S., Kown, H.G. 2018, Consideration in applying Korean-Comprehensive Water Quality Index(K-CWQI) to assesment of water quality in the major tributaries of Gumho-river basin. *Journal of Korean Society Hazard Mitigation*, 18(2): 455–465.
- USEPA(Unied States Environmental Protection Agency. 1976, Quality criteria for water.(263943). Office of Water Planning and Standards, Washington, DC.
- Washington state department of ecology. 2002, http://www.ecy.wa.gov/programs/eap/fw_riv/docs/WQI_Overview.html
- Yu, J.H., Lee, H.S., Lim, B.R., Kang, J.H., Ahn, T.U., Shin, H.S. 2020, Analysis of Pollution Characteristics in the Mainstream and Its Tributaries of Gongneung Stream Using Water Quality Index and Pollution Load Data. *Journal of Korean Society on Water Environment*, 36(2): 125–136.