

Research Paper

물환경측정망 자료를 활용한 금강수계 수질 유사도 평가

김지현 · 채민희 · 윤조희 · 석광설

국립환경과학원 금강물환경연구소

Water Quality Similarity Evaluation in Geum River Using Water Quality Monitoring Network Data

Jeehyun Kim · Minhee Chae · Johee Yoon · Kwangseol Seok

Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

요약: 본 연구에서는 금강 수계의 자동측정망 중 6개 지점을 선정하고, 이와 동일하거나 인근에 위치해 있는 수질측정망 지점을 대상으로 두 지점의 수질특성 파악하고 통계 분석을 통하여 상관성을 평가하였다. 또한, 수질 분석결과를 활용하여 수질 지수로 변환하고 등급으로 표현해 비교하였다. 연구에 필요한 자료는 최근 4년간(2016-2019)의 국가물환경측정망 데이터를 활용하였으며 수온, pH, EC, DO, TOC, TN, TP를 평가항목으로 선정하였다.

수질 분석 결과, 자동측정망과 수질측정망의 수질농도는 일부 측정값의 차이는 보였지만 대부분 지점에서 일정한 비로 변동하는 경향을 보였다. 항목 간 상관분석결과 수온, EC, DO 항목은 측정망간 상관성이 매우 높았고, TOC, TN, TP 항목은 기본항목에 비해 낮은 상관성을 보였으나 일부 측정망을 제외하고 0.7 이상(상관계수 r)의 높은 상관관계를 나타냈다. 수질 지수 분석결과 자동측정망 수질지수와 수질측정망 수질지수가 비슷한 경향을 보이는 것으로 평가되었으며, 두 결과 모두 하류로 갈수록 지수점수는 낮아져 오염도가 증가되고 있음을 쉽게 파악할 수 있었다.

주요어: 금강, 수질, 수질측정망, 수질자동측정망, 수질지수

Abstract : Six locations in the automated monitoring network at the Geum River Basin were selected for this study. The water quality characteristics at two of the locations in the water quality monitoring network that were identical, or nearby, were examined, and their correlations were evaluated through statistical analysis. The results of the water quality analysis were converted to the water quality index and expressed in grades for comparison. For the data necessary for the study, public data from four years, from 2016-2019 were used and the evaluation parameters were water temperature, pH, EC, DO, TOC, TN, and TP.

First Author: Jeehyun Kim, Tel: +82-43-730-5646, E-mail: wlgus120@korea.kr, ORCID: 0000-0001-9302-0497

Corresponding Author: Minhee Chae, Tel: +82-43-730-5641, E-mail: minhiecc@korea.kr, ORCID: 0000-0002-6347-2713

Co-Authors: Johee Yoon, Tel: +82-43-730-5673, E-mail: joyeco@korea.kr, ORCID: 0000-0002-9677-7505

Kwangseol Seok, Tel: +82-43-730-5610, E-mail: aped@korea.kr, ORCID: 0000-0003-0384-6039

Received: 14 December, 2020. Revised: 15 March, 2021. Accepted: 24 March, 2021.

Results of the analysis showed that the water quality concentrations measured in the automated monitoring network and the water quality monitoring network differed in some measured values, but they tended to register variation in a specified ratio in most of the locations in the network. The analysis of the correlations of the parameters between the two monitoring networks found that water temperature, EC, and DO showed high correlations between the two monitoring networks. The TOC, TN, and TP showed high correlations, with a 0.7 or higher (correlation coefficient r), with the exception of some of the monitoring networks, although their correlations were lower than those of the basic parameters. The water quality index analysis showed that the water quality index values of the automated monitoring network and the water quality monitoring network were similar. The water quality index decreased and the pollution degree increased in the downstream direction, in both networks.

Keywords : Geum River, Water quality, Water quality monitoring, Real-time Water Quality monitoring, Water Quality Index

I. 서론

우리나라의 하천은 이상기후에 따른 환경적 요인과 인구증가, 산업발달, 농업활동으로 인한 각종 폐기물, 농약, 화학물질 등의 사용 및 투기로 인해 수질 오염이 심각해지고 있다(Park et al. 2019). 또한, 최근 들어 국민적 생활수준 향상에 따라 안전한 물환경 관리에 대한 관심이 증가하고 있어 수질오염사고 대비와 관리가 더욱 중요시 되고 있는 실정이다. 따라서 하천 수질의 특성과 경향성을 정확히 파악하고 오염원을 감시하기 위해서는 수질현황을 연속적으로 측정하는 것이 필요하다(Ryu et al. 2002; Kim 2017).

우리나라는 환경정책기본법 제22조와 물환경보전법 제9조 등에 근거하여 하천, 호소 등 공공수역의 수질 및 수생태계의 실태를 파악하기 위해 물환경측정망을 운영하고 있다(MOE 2019). 물환경측정망 중 자동측정망은 1994년 낙동강 수질오염사고를 계기로 수질오염사고를 사전에 예방하고 사고발생 시 신속하게 대응 조치하기 위하여 전국의 주요 상수원 및 오염사고 취약지역 등에 설치하고 수질상태를 연속적으로 측정하여 수질오염의 경향 파악 및 오염원의 관리기능을 수행하고 있다. 또한, 수질측정망은 수질 모니터링으로 월 또는 8일 간격으로 장기변화를 조사함에 따라 단기간 수질 변화를 검증하기 어려운 수질측정망의 보완적 기능을 하고 있다(NIER 2006; Kim et

al. 2020).

미국의 경우 지질조사국(USGS, United States Geological Survey)과 미국환경보호청(EPA, Environmental Protection Agency)의 주도하에 수질 감시 모니터링 시스템이 운영되고 있다. 수질 감시를 위해 각 주, 연방기관별로 다양하게 추진하고 운영되고 있다. USGS는 국가수질평가(NAWQA, National Water Quality Assessment)프로그램을 통하여 수동수질모니터링을 미국전역의 하천, 강, 지하수 상태를 수온, 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC), 용존산소(DO), 탁도, 클로로필 등을 측정하여 수생태계변화에 대한 흐름을 파악하고 정보를 확보하고 있다. 또한 국가수자원정보시스템(NWIS, National Water Information System)을 이용하여 50개주 190만개의 측정지점에서 수집된 지표수, 지하수의 수위 수질 데이터를 실시간으로 수집하고 있다. 실시간으로 측정되는 데이터는 15~60분 간격으로 기록되고 현장에 저장된 다음 1~4시간마다 USGS사무실로 전송되며, 이상 변화감지시 전송시간이 더 자주 발생하도록 되어있다. 항목으로는 수온, pH, EC, DO, 유량, 유속, 지하수 수위, 강우량 등이 있다(USGS 2020). 독일의 수질감시와 관리는 16개의 주 정부에서 담당하고 있으며, 국가 간 수질관계는 연방정부가 담당하는 형태로 운영되고 있다. 독일의 국가 하천 중 주요 관리대상인 라인강 전역에는 수질 감시 체계를 자동

측정 방식으로 운영하고 있다. 라인강은 수질자동측정소가 국제라인강보호위원회(ICPR, International Commission for the Protection of the Rhine)에서 9개소, 독일수질보전위원회(DKSR, Deutsch Kommission zum Schutze des Rheins)에서 14개소에서 모니터링하고 있다. 독일은 라인강 수질자동측정소의 운영 목적을 크게 생물감시장치치를 통한 유해물질 유입감시기능과 화학적 분석을 통한 유기미량물질 측정항목으로 구분 관리하고 있다(Kang 2019). 네덜란드는 라인강, 뮤즈강, 발강을 통해 북해로 흘러 들어가는 하류에 위치하여 상류의 수질 환경변화에 민감하며, 주요 강인 라인강 및 뮤즈강 유역을 중점관리하고 있다(Kang 2019). 네덜란드의 수질 감시체계는 크게 국가, 지방, 지역 단위로 나누어 개별 운영되고 있으며, 네덜란드 전역에 400개의 자동측정지점이 있고, 이 중 180곳에서는 정기적으로 샘플을 채취하여 화학 및 생물학적 정밀분석을 한다. Lobith, Eijsden 및 Bimmen 3개 측정소에서 지속적으로 수질을 측정하고 이를 바탕으로 수질을 개선하기 위한 조치 여부를 결정한다. 또한, 상류의 수질을 모니터링하여 하류의 취수장까지 도달하기 이전의 수질안전성을 확보하는 것을 우선으로 하여 24시간 전문가를 상주시켜 운영하고 있다.

수질자동측정망의 측정항목은 목적 및 주변 상황에 따라 선정되며 금강수계의 경우 상수원수질보호, 배출업소 감시, 오염사고 대비 및 수질 관리를 목적으로 지점을 선정하였다. 측정항목 중 수온, pH, EC, DO, TOC, TN, TP는 대부분 측정소에 설치되어 있으며, 그 외 휘발성유기화합물, 클로로필-a, 중금속, 생물감시장치 등이 선택적으로 설치되어 있다. 수질자동측정망은 적은 비용과 노력으로 쉽게 많은 양의 실시간자료와 정보를 이용할 수 있는 장점이 있다(Kim et al. 2015). 그러나 이러한 수질측정자료는 전문가에게 가치 있는 정보로 활용할 수 있지만, 비전문가에게는 활용도가 낮고 접근이 어려우며 수질을 한눈에 파악하기 힘들다(Lim et al. 2010). 이와 관련하여 현재 전 세계에서 수질평가지수(WQI, Water Quality Index)를 마련해 많은 연구가 이루어지고 있다. 수질평가지수(WQI, Water Quality Index)는

복잡한 수질데이터를 점수 및 등급으로 표현하여 쉽게 이해할 수 있도록 표현한 지표이며, 수질을 평가하고 사람이 친수활동에 영향을 받는 정도에 대한 통찰력을 제공하는데 사용될 수 있다(CCMEWQI Manual 2017). 환경부 국립환경과학원은 캐나다의 수질지수인 CCME WQI(Canadian Council Ministers of the Environment Water Quality Index)를 기반으로 국내환경에 맞게 실시간수질지수(RTWQI, Real Time Water Quality Index)로 만들어 사용하고 있다. 최근 이러한 지수를 이용한 연구에는 통합수질지수를 이용한 지류 지천 수질평가(Kal et al. 2017), 서낙동강에서 생활환경 기준을 적용한 수질등급 및 수질지수의 시, 공간 변동분석(Park et al. 2019), 통합수질지수 및 오염 부하 자료를 이용한 공룡천 유입지천과 본류의 오염특성 분석(Yu et al. 2020), 하천 특성과 수질 지수를 활용한 낙동강 유역의 중점관리 지류 지천의 유형화(Kim et al. 2018) 등 많은 연구 결과가 있지만 금강수계의 자동측정자료와 수동측정자료의 비교 및 수질지수에 대한 연구는 미비하다.

본 연구에서는 2016년부터 2019년까지 금강수계의 6개 지점을 선정하여 수질자동측정자료와 수동으로 운영하고 있는 수질측정자료를 이용하여 수질특성을 파악하고 통계 분석을 통해 자료의 상관성을 평가하였으며 RTWQI 계산식을 활용하여 지수를 산정하여 비교 분석하였다. 본 연구 결과는 수동측정자료의 대체 및 자동측정망의 설치확대를 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 연구방법

환경부에서 운영하는 수질자동측정망은 현재 전국 4대강 하천, 호소 주요지점에 70개소 설치, 운영하고 있다. 금강수계는 13개소의 측정소에서 실시간으로 수질자료가 측정되고 있으며, 측정소는 시설용량 10,000톤 이상인 정수장의 취수장과 금강권역의 수질 대표성을 나타낼 수 있는 지역 또는 지류의 영향과 악을 위한 지역을 중심으로 설치되었다(NIER 2006). 조사지점은 금강수계에 설치되어 있는 13개 자동

Table 1. Site name of selected Real-time water quality monitoring stations and water quality monitoring stations

Real-time Water Quality monitoring		Water Quality monitoring		Distance
Site	Mark	Site	Mark	Site-Site
Gapcheon	Gapcheon A	Gapcheon 5-1	Gapcheon M	1 km
Mihocheon	Mihocheon A	Mihocheon 6-1	Mihocheon M	-
Nammyeon	Nammyeon A	Yeongi	Nammyeon M	-
Gongju	Gongju A	Gumgang	Gongju M	3 km
Yugucheon	Yugucheon A	Yugucheon	Yugucheon M	-
Buyeo	Buyeo A	Buyeo	Buyeo M	2 km

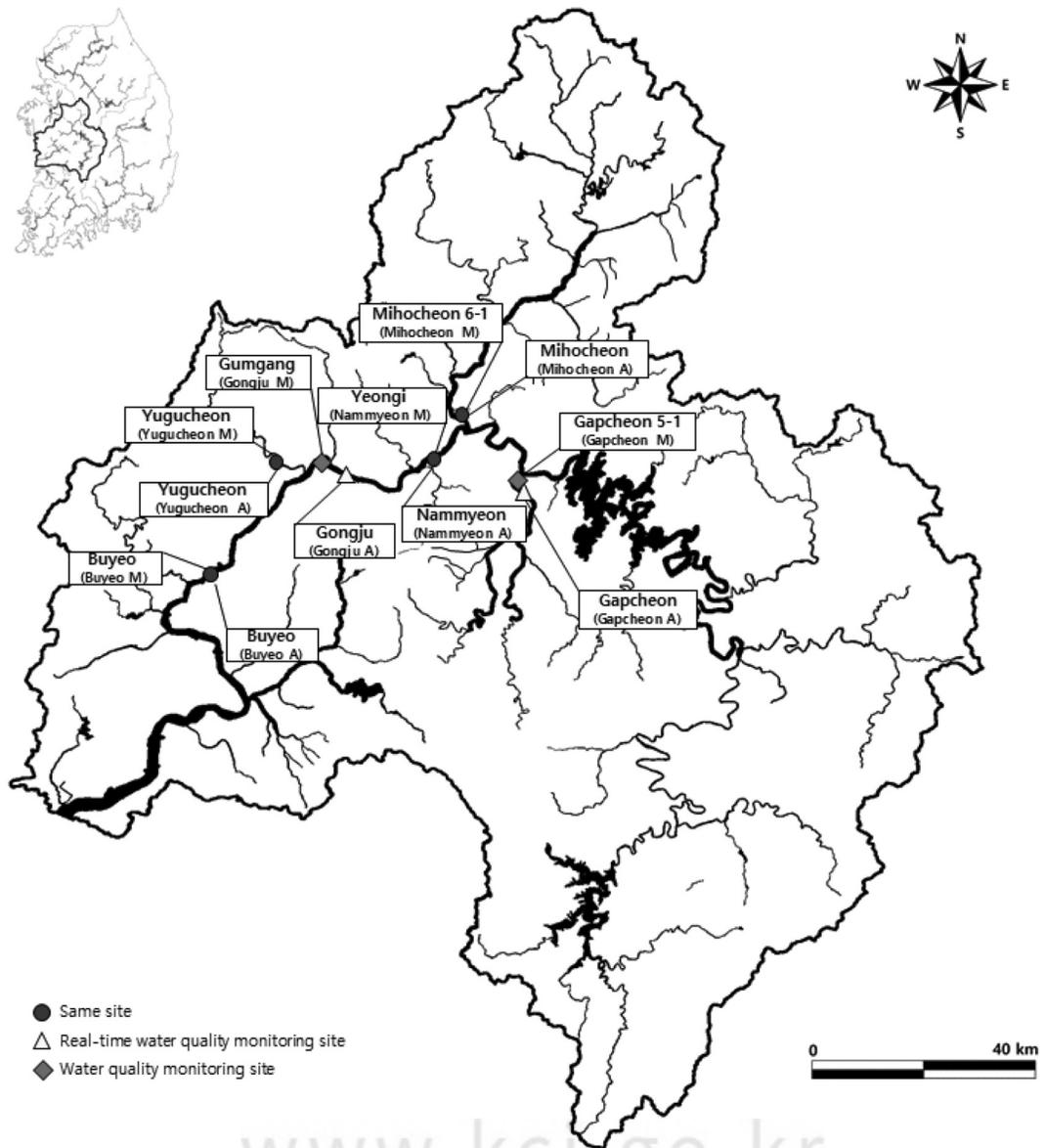


Figure 1. Location of study sites.

측정소 중 금강의 중하류를 중심으로 6개 지점을 선정하였고, 이와 동일하거나 인근에 위치해 있는 수질측정망지점을 대상으로 하였다. 금강의 주요하천이며 오염원 감시 및 사고 대비를 위해 설치된 갑천, 미호천, 금강 본류의 수질감시를 위해 설치된 남면, 공주, 부여 그리고 공주와 부여 사이 금강 본류로 합류하는 유구천을 선정하였다. 미호천, 남면, 유구천 지점은 자동측정망지점과 수질측정망지점이 동일지점이며, 갑천의 두 지점 간 이격거리는 1 km, 공주는 3 km, 부여는 2 km 이내에 위치해 있다(Table 1, Figure 1).

수질 자료 분석을 위한 평가기간은 2016년 1월부터 2019년 12월까지 측정된 일별, 월별자료를 사용하였다. 자동측정망 자료는 실시간 수질 정보시스템(www.koreawqi.go.kr)에서, 수질측정망 수질 자료는 물환경정보시스템(water.nier.go.kr)에서 제공하는 자료를 활용하였다. 자료 분석에 이용된 항목은 수온(W.T : Water Temperature), 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC : Electrical Conductivity), 용존산소(DO : Dissolved Oxygen), 총유기탄소(TOC : Total Organic Carbon), 총질소(TN : Total Nitrogen), 총인(TP : Total Phosphorous)의 자료

를 활용하였다. 두 자료의 기본항목은 센서형 다항목 수질측정기를 이용하여 측정하였다. TOC, TN, TP 항목은 수질오염공정시험기준에 따라 분석하였으며, TN, TP 분석은 자외선, 가시선 분광법을 자동측정망의 TOC 분석은 UV산화방식을 이용하였고, 수동측정망의 TOC 분석은 고온연소산화방식을 이용하였다.

통계 분석은 SPSS(Statistical Package the Social Science, ver. 16.0)를 사용하여 상관분석(Correlation analysis)을 수행하였다. 상관분석은 두 변수 간의 선형관계 정도를 파악하기 위해 수치로 나타내는 위한 분석방법이며, 상관계수 r 을 사용한다. 상관계수 r 은 -1부터 +1까지의 값을 갖고 상관계수의 절대값이 클수록 변수 사이에 강한 상관관계가 있다고 해석한다.

2. 수질 지수 산정 방법

본 연구에서의 수질지수는 환경부 실시간 수질정보시스템(www.koreawqi.go.kr)에서 사용하고 있으며, 수질 항목 자료를 이용해 지수로 변환하여 종합적인 수질 정보를 제공하는 실시간 수질 지수(RTWQI, Real Time Water Quality Index) 산정방식을 이용하였다.

Table 2. Water Quality Criteria of RTWQI

Parameter	Guideline
Water Temp.	Monthly average for 10 years - 10°C ≤ Water Temp. ≤ Monthly average for 10 years + 10°C
pH	6.5 ≤ pH ≤ 9.0
EC	≤ 200 μS/cm
DO	0.8 × DO Saturation concentration at current temperature ≤ DO ≤ 1.3 × DO Saturation concentration at current temperature
TOC	≤ 3.0 mg/L
TN	≤ 3.0 mg/L
TP	≤ 0.1 mg/L

Table 3. Real-time water quality index (RTWQI)

Ranking	Range	Interpretation
Excellent	80~100	It is always suitable for hydrophilic activities in the state of clean water with almost no pollutants.
Good	60~79	It maintains relatively good water quality and is suitable for hydrophilic activities.
Fair	40~59	Usually, good water quality and sometimes pollutants can enter and affect hydrophilic activities.
Poor	20~39	Water quality is contaminated due to frequent inflow of pollutants, so care is needed for hydrophilic activities.
Very Poor	0~19	Unsuitable for hydrophilic activities due to high water pollution.

수질 지수 산정에는 총 8개의 수질 항목을 이용하여 산정하고 있으나 본 연구에서는 탁도를 제외한 수온, pH, EC, DO, TOC, TN, TP 7개 수질 항목을 평가항목으로 선정하였다.

수질 지수는 측정 자료와 각 항목별 기준값을 비교한 F_1 , F_2 , F_3 , factor를 우선 산정한다(Eq. 1). F_1 은 가이드라인에 만족하지 못한 수질 항목 개수를 전체 측정되고 있는 수질 항목 개수로 나누어 산정한 백분율, F_2 은 각 수질 항목별로 측정주기 동안 가이드라인에 만족하지 못한 항목들의 총 횟수를 총 측정횟수로 나누어 산정한 백분율 그리고 F_3 은 각 수질 지표별로 가이드라인에 만족하지 못한 정도를 분율화한 factor의 합을 의미하며 산정한 후 100에서 감점하여 매시간의 수질 지수를 산정한다(Park et al. 2018). 산정된 수질 지수는 우수(80~100), 양호(60~79), 보통(40~59), 주의(20~39), 불량(0~19) 총 5개의 등급으로 나눈다(Table 2).

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

III. 결과 및 고찰

1. 수질 특성

자동측정망과 수질측정망 수질현황을 비교하기 위하여 수질인자별 농도그래프를 작성하였다(Figure 2). 갈수기의 수위저하, 여름철 홍수기로 인한 채수 불가 등 불가피한 결측 자료는 제외하였다.

수온은 자동측정망, 수질측정망 평균 15.2~19.1 °C, 15.4~18.6 °C, pH는 7.0~8.0, 7.5~8.1 범위로 두 측정망 간 측정값 차이가 크게 없는 것으로 나타났다. EC는 자동측정망 평균 215~611 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 수질측정망 평균 216~611 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 범위로 나타났으며, 갑천A 지점에서 EC는 평균 430(168~613) $\mu\text{S}/\text{cm}$, 갑천M 지점에서 평균 565(112~849) $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 갑천에서 측정값 차이가 가장 크게 났다. DO는 자동측정망 평균 7.8~11.7 mg/L, 수질측정망 평균 10.4~12.1 mg/L 범위로 갑천A 지점에서 DO는 평균 7.7(2.4~14.3) mg/L, 갑천M 지점에서 DO는 평균 10.4(5.2~14.7) mg/L로 역시 갑천에서 측정값의 차가 크게 나타났다.

TOC는 자동측정망 평균 1.9~2.1 mg/L, 수질측정망 평균 4.7~6.6 mg/L 범위이며, 미호천A 지점의 경우 평균 4.1(1.5~9.0) mg/L로 자동측정망지점 중 최대농도를 나타냈고, 미호천M 지점은 평균 6.6(3.3~12.0) mg/L로 역시 수질측정망지점 중 최대농도를 나타냈다. 또한, 미호천 두 지점 간 농도 변화를 비교했을 때 큰 농도차이를 보였다. TN은 남면의 자동측정망, 수질측정망 각각 평균 3.770 mg/L, 4.081 mg/L, 공주지점 평균 4.265 mg/L, 3.680 mg/L, 유구천지점 평균 3.574 mg/L, 3.262 mg/L, 부여지점 평균 2.068 mg/L, 2.046 mg/L로 나타났다. 자동측정망은 남면A 지점이 범위 1.570~9.361 mg/L로 최대농도를 보이고, 수질측정망 역시 남면M 지점에서 범위 1.968~8.150 mg/L로 지점 중 최대농도를 보였다. TP는 남면A 지점이 평균 0.064(0.012~0.553) mg/L, 남면M 지점 평균 0.086(0.028~0.414) mg/L로 가장 높은 농도를 보였다. 공주의 자동측정망, 수질측정망지점 평균 0.061 mg/L, 0.042 mg/L, 유구천지점 평균 0.058 mg/L, 0.053 mg/L, 부여지점 평균 0.016 mg/L, 0.031 mg/L 으로 나타났으며, 유구천A 지점과 유구천M 지점의 TP 농도는 가장 유사한 결과 값을 보였다.

자동측정망과 수질측정망의 수질농도는 일정한 비로 변동하는 경향은 보였으나 일부 측정값에서 차이를 보이는 것으로 분석되었는데 이는 지형적 특성인 하천의 직선 및 만곡의 여부 등으로 인한 시료 채취의 위치 및 방법에 따른 영향도 크게 작용한 것으로 보인다(Kim et al. 2020). 수질측정망은 수질오염공정시험기준에 따라 채수하고 있으나, 자동측정망의 경우 하천의 중앙 및 측정소와 가까운 위치에 채수시설을 설치하여 채수하고 있어 강우, 유속 등 외부환경에 의해 하천수의 혼합 여부에 따라 좌, 중, 우의 수질 차이가 발생한 것으로 판단된다(Kim et al. 2020).

2. 상관관계 분석

금강수계 6개 측정소의 수온, pH, EC, DO, TOC, TN, TP의 자동측정망 자료와 월 4회 시료를 채취하여 수질오염공정시험기준에 따라 분석한 수질측정망 자료의 관계를 평가하기 위해 동일하거나 인근에 위

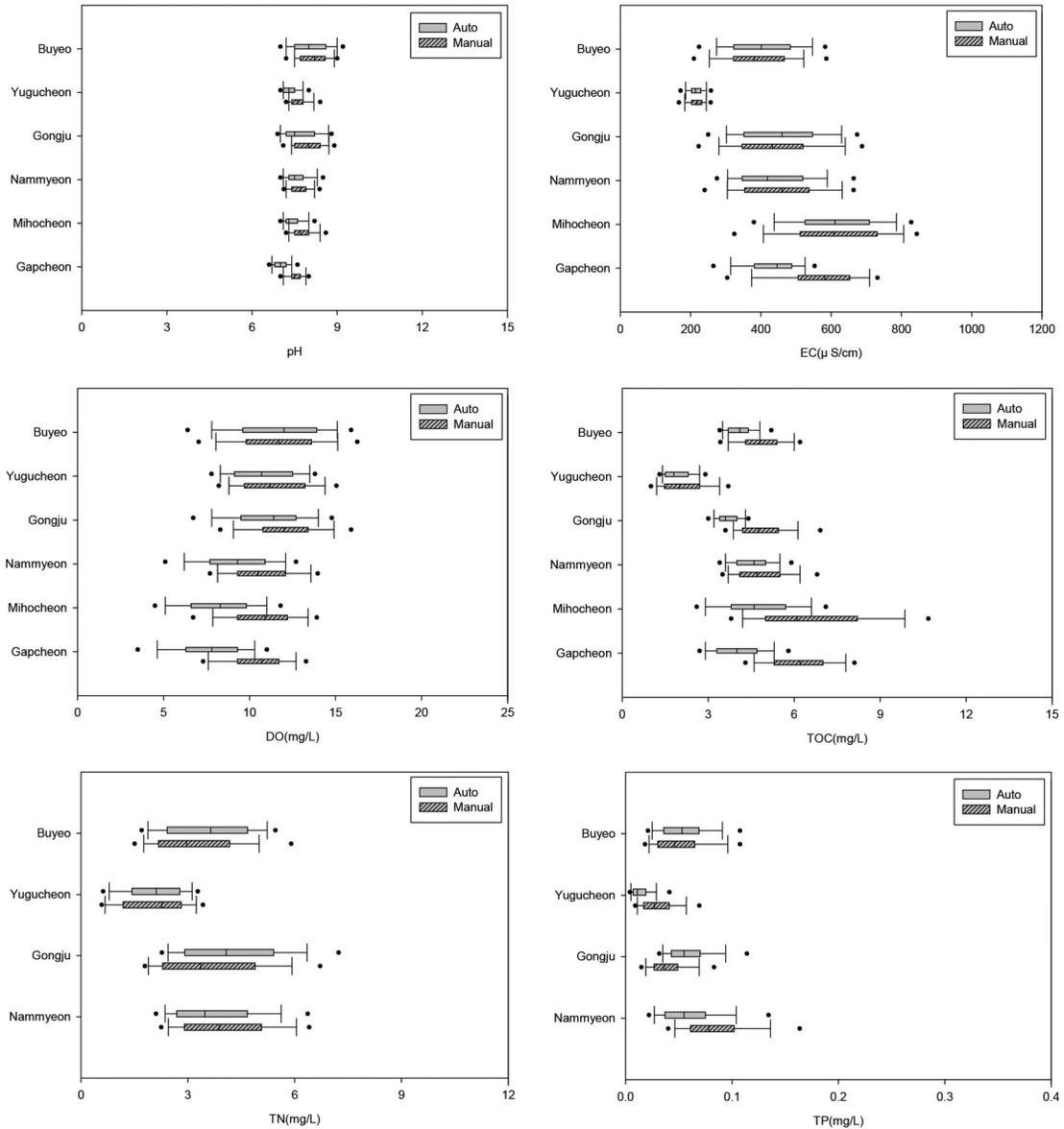


Figure 2. Water quality results of each water quality monitoring.

치한 지점의 동일 시간자료를 상관계수를 통하여 분석하였다(Table 4). 또 두 변수 값을 점들로 나타내 관계를 시각적으로 표현하여 산점도(Scatterplot)로 표시하였다(Figure 3).

Park & Cha (2013)에 따르면 상관계수(r)의 절대값이 1.00이면 완전한 상관관계, 0.90이상이면 매우 높은 상관관계, 0.70~0.80이면 높은 상관관계, 0.50~0.60이면 보통의 상관관계, 0.40 이하이면 약

한 상관관계, 0.20 이하이면 상관관계가 거의 없다고 말할 수 있다고 하였다. 분석결과 수온 상관계수(r)는 0.989(0.972~0.995), EC는 0.948(0.840~0.982), DO는 0.820(0.756~0.850)으로 모든 지점에서 상관계수 0.8 이상으로 상관성이 매우 높게 나타났으며, pH는 0.538(0.258~0.765)로 갑천, 유구천을 제외하고 0.5 이상의 보통의 상관관계를 보였다. TN 항목과 TP 항목의 상관계수(r)는 0.893(0.883~0.905),

Table 4. Correlations analysis at Real-time water quality data to Manual water quality data

	Gapcheon A Gapcheon M	Mihocheon A Mihocheon M	Nammyeon A Nammyeon M	Gongju A Gongju M	Yugucheon A Yugucheon M	Buyeo A Buyeo M
W.T	.991**	.995**	.992**	.995**	.987**	.972**
pH	.317**	.593**	.651**	.765**	.258**	.645**
EC	.840**	.982**	.971**	.978**	.979**	.940**
DO	.756**	.793**	.850**	.846**	.840**	.837**
TOC	.756**	.768**	.345**	.756**	.811**	.447**
TN			.905**	.896**	.883**	.888**
TP			.743**	.755**	.758**	.788**

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

0.761(0.743~0.788)로 0.7 이상의 상관관계가 높은 것으로 분석되었다. TOC 항목은 0.647(0.345~0.811)로 대부분 지점에서 보통의 상관성을 보였으나 남면 지점은 0.345로 상관관계가 약한 것으로 분석되었다. 이는 낙동강 수계의 자동측정망 자료와 수질측정망

자료의 상관관계를 분석한 결과 TOC 항목이 약하거나 보통의 상관관계를 나타낸 선행연구(Kim et al, 2020)와 같은 결과를 보였다.

수온, EC, DO 항목에서 전반적으로 상관성이 높게 나타났으며 이와 같은 결과는 두 자료 모두 동일한

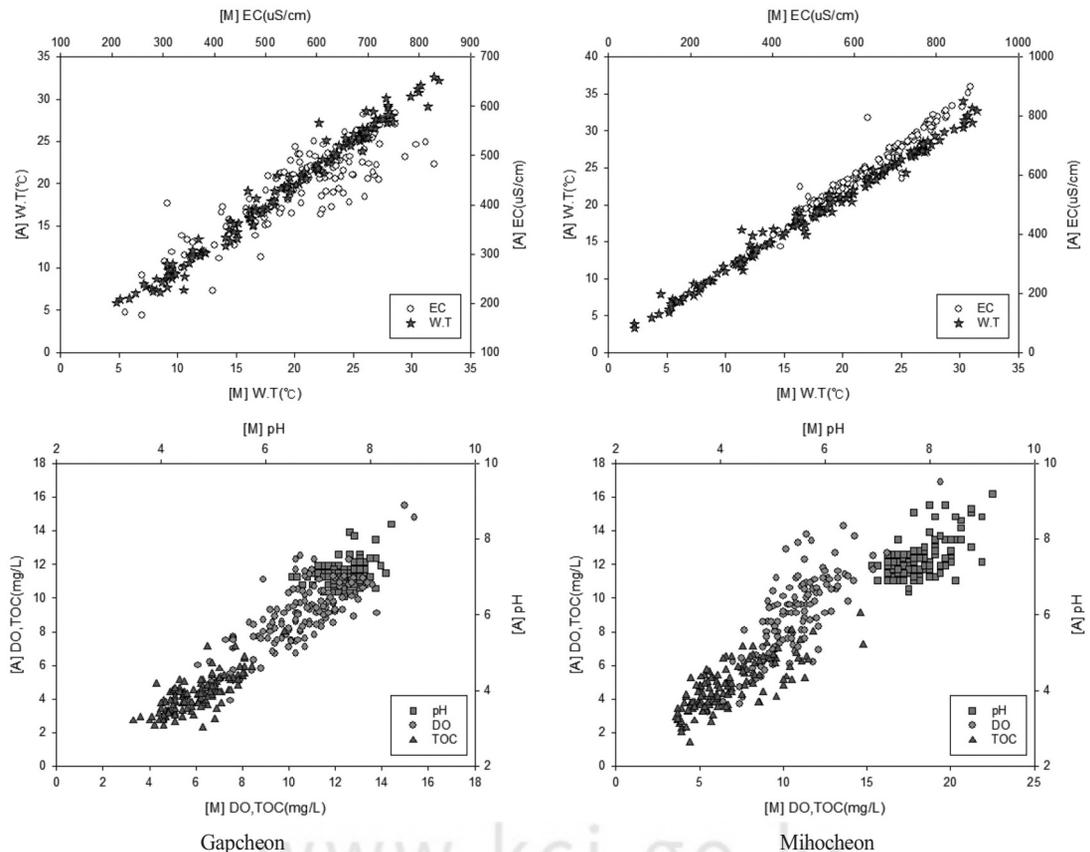


Figure 3. Scatter plot for each sites ([A]: Real-time Water Quality monitoring, [M]: Water Quality monitoring).

센서형 측정기기를 이용하여 현장에서 측정하는 항목이기 때문에 볼 수 있다(Kim et al. 2015). 반면 TN, TP, TOC 항목은 대체로 기본항목에 비해 낮은 상관성을 보였는데 이는 자동측정망에서 수온, pH, EC, DO 항목은 채수시설을 통해 유입된 원수를 측정

하는 반면 TN, TP, TOC 항목은 직경 100um 여과 장치를 통과한 여과수를 분석함에 따라 입자성 물질에 의한 영향이 일부 배제되어 측정되었고, 자동측정망 TOC 분석은 UV 습식 산화방식의 장비를 사용하고 수질측정망 TOC 분석은 고온 연속산화분석방식

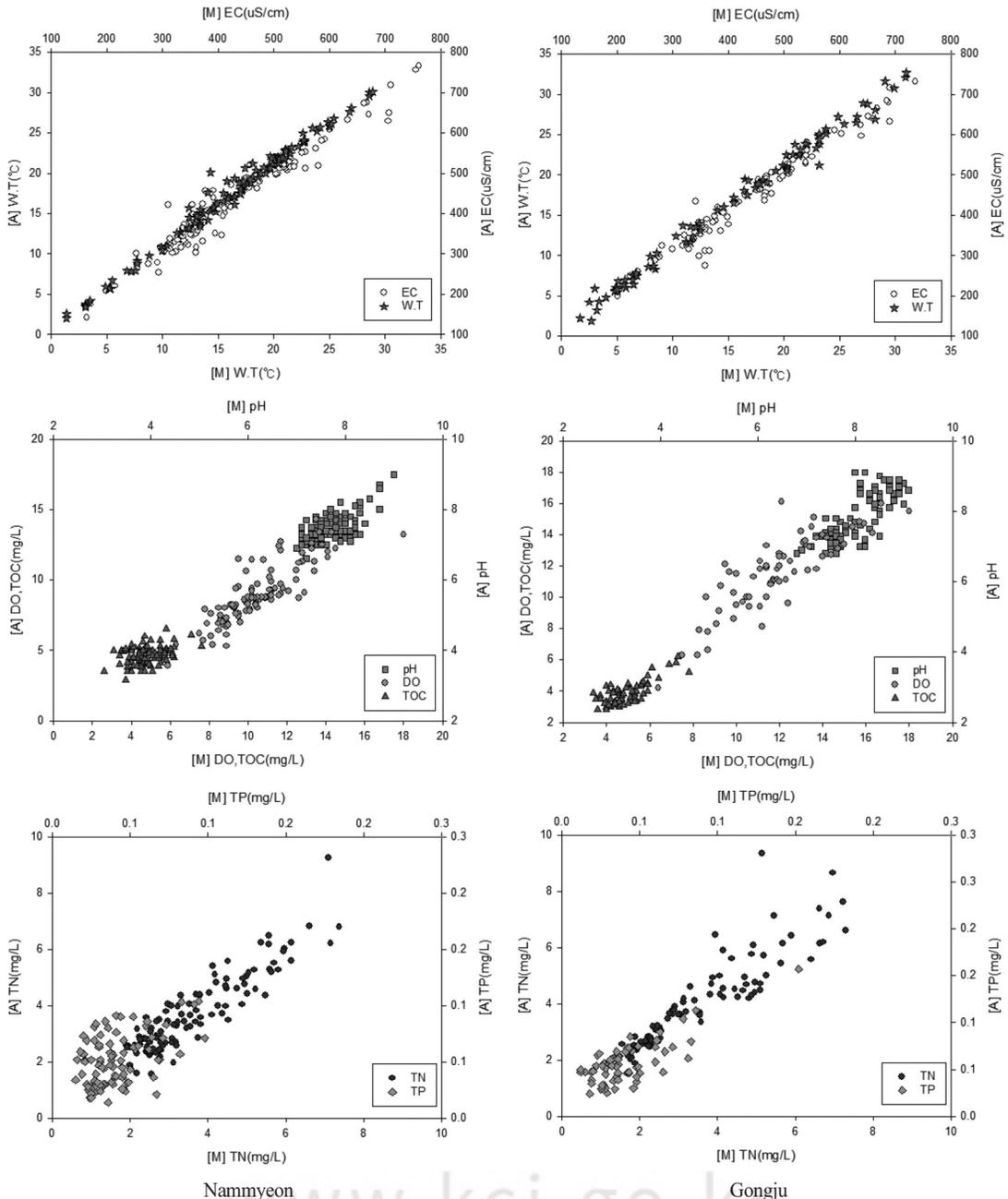


Figure 3. Continued.

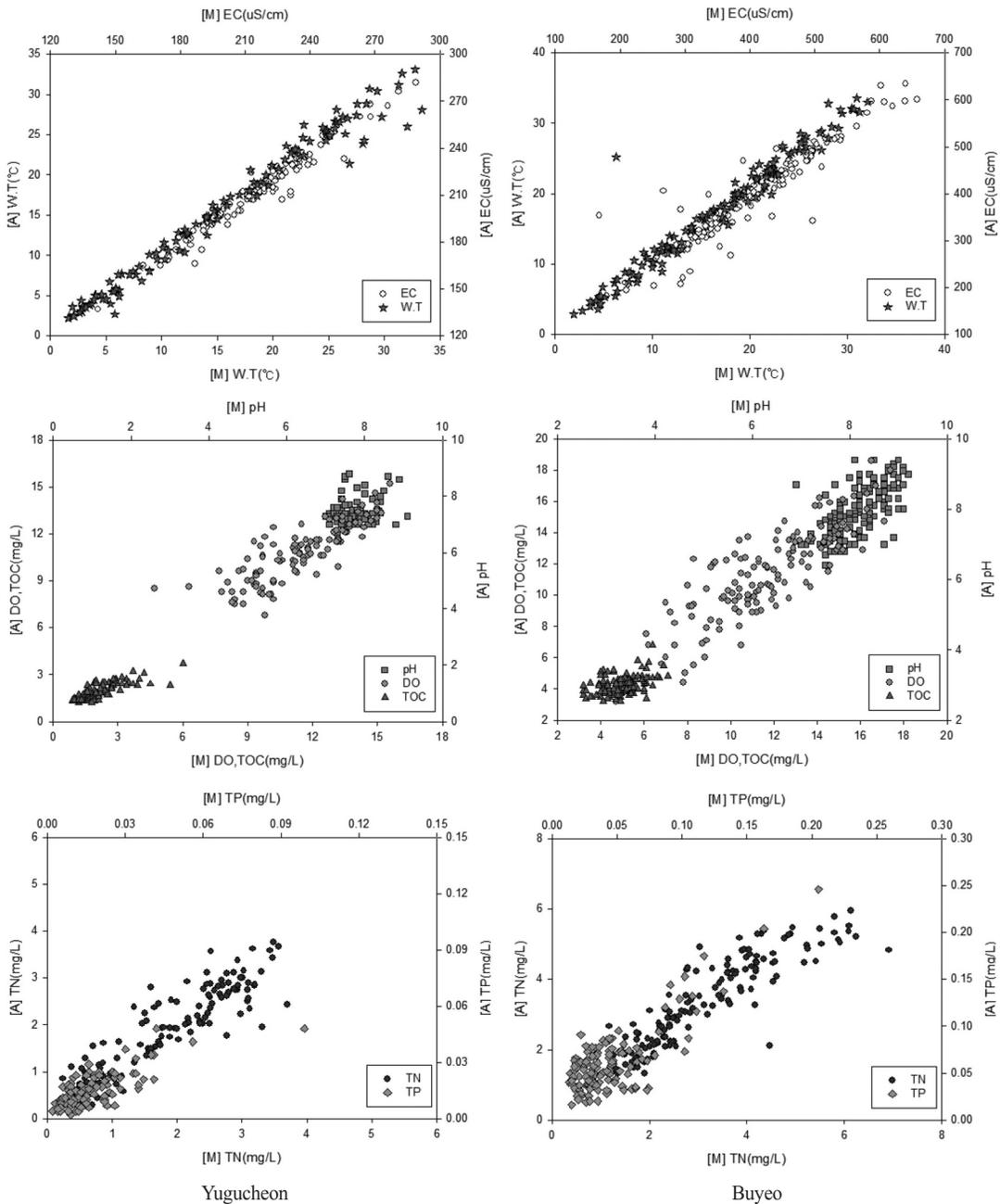


Figure 3. Continued.

의 장비를 이용함으로 분석법에 따른 차이가 발생하여 영향을 받은 것으로 판단된다.

3. 수질지수평가

2016년부터 2019년까지 4년간의 자료를 사용하여

수질현황을 RTWQI를 통해 지수화한 전 기간 수질지수 평가결과와 월별 수질지수 평가결과를 Table 5와 Table 6에 정리하였다.

조사 전 기간에 대한 수질지수 평가결과는 자동측정망 수질지수 등급과 수질측정망 수질지수 등급이

Table 5. All-time water quality index evaluation

Site	Real-time Water Quality monitoring	Site	Water Quality monitoring
Gapcheon A	46.7	Gapcheon M	43.7
Mihocheon A	33.7	Mihocheon M	31.6
Nammyeon A	43.4	Nammyeon M	42.1
Gongju A	34.4	Gongju M	34.0
Yugucheon A	57.0	Yugucheon M	40.3
Buyeo A	35.3	Buyeo M	34.6

Table 6. Monthly water quality index evaluation

RTWQI (Real-time Water Quality monitoring)												
Site	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Gapcheon A	55.3	53.4	64.0	67.7	64.9	54.9	44.2	44.5	67.4	67.7	65.7	66.4
Mihocheon A	47.7	49.8	58.7	52.8	61.7	39.3	31.2	48.8	45.4	63.9	65.2	55.5
Nammyeon A	39.8	48.8	53.6	60.8	65.4	69.5	62.1	57.7	59.2	56.7	63.0	61.0
Gongju A	44.8	42.7	49.2	45.9	61.8	50.9	47.5	51.3	48.5	61.9	64.3	55.9
Yugucheon A	68.4	68.4	80.6	82.7	82.3	69.0	64.9	71.8	90.4	89.4	81.8	72.2
Buyeo A	42.0	42.7	53.2	49.1	45.2	60.3	32.2	36.5	45.2	45.3	41.6	41.3

RTWQI (Water Quality monitoring)												
Site	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Gapcheon M	41.7	51.1	52.1	61.8	61.8	60.7	42.3	42.0	54.6	62.2	53.0	43.8
Mihocheon M	34.0	38.5	58.5	58.9	51.9	36.8	28.1	37.8	42.6	62.1	61.2	42.7
Nammyeon M	38.9	42.4	53.2	60.8	60.0	61.8	54.2	65.6	57.9	63.8	61.5	54.2
Gongju M	44.6	43.7	50.2	46.4	52.4	67.1	46.2	51.4	44.0	49.5	62.3	48.1
Yugucheon M	64.6	65.2	67.5	70.5	68.4	63.7	69.5	69.2	79.3	78.6	69.0	64.6
Buyeo M	39.3	41.5	48.2	56.8	45.5	61.2	43.5	42.9	52.7	61.5	41.0	45.7

동일하게 나타났다. 갑천, 남면, 유구천 지점은 40.3~57.0 분포로 “보통” 등급에 해당하여 대체로 양호한 수질이나 때때로 오염물질이 유입되어 친수활동에 영향을 미칠 수 있는 기준에 해당하였으며, 미호천, 공주, 부여 지점은 31.6~35.3 분포로 “주의” 등급으로 빈번한 오염물질의 유입으로 수질이 오염되어 친수 활동에 주의가 필요한 것으로 평가되었다.

월별 수질지수 평가 결과 갑천의 수질지수는 갑천 A 지점 44.2~67.7, 갑천M 지점 41.7~62.2의 범위를 보여 12개월 모두 “보통”과 “양호” 등급을 나타내었다. 미호천의 수질지수는 미호천A 지점은 31.2~65.2의 범위로 6~7월을 제외하고 “보통”, “양호” 등급, 미호천M 지점은 28.1~62.1 범위로 1~2월, 6~8월을 제외하고 “보통”, “양호” 등급으로 평가되었으며 월별 변동 폭이 크게 나타났다. 미호천은 두

측정망 모두 6~7월에 “주의” 등급을 보였는데 이는 수온 상승과 유량감소로 수질이 악화되어 연구기간 중 수질 오염도가 가장 높게 평가되었다. 남면과 공주는 자동측정망 수질지수가 “양호”한 시기에 수질 측정망도 “양호”하고 수질지수가 “주의” 시기에 수질 측정망도 “주의” 등급으로 평가되어 두 기준이 같은 경향을 보이는 것으로 평가되었다. 유구천은 자동측정망, 수질측정망 수질지수가 63.7~90.4 범위로 “양호”, “우수” 등급을 유지하였으며, 월별 수질지수 표준편차 또한 다른 지점들보다 적게 나타났다. 이를 통해 상대적으로 수질이 안정적이고 오염원이 될 만한 뚜렷한 특징이 없는 것으로 판단된다. 부여A 지점에서 수질지수는 32.2~60.3, 부여M 지점의 수질지수는 39.3~61.5범위로 다른 지점에 비해 평균적으로 낮은 수질지수 값을 보였다. 이는 하류로 갈수록 수

질지수가 낮아져 상대적으로 오염도가 증가 되고 있음을 쉽게 파악할 수 있다.

자동측정망과 수질측정망 대부분 수질지수가 9~11월에 대체적으로 양호한 시기로 보였으며 이는 상대적으로 풍부해진 유량의 영향으로 판단되며, 건기시인 봄, 겨울철 수질 오염도가 매우 높은 1~3월이 가장 주의 깊게 관심을 가져야 하는 시기인 것으로 검토되었다. 또한, 3월, 11월, 12월에 갑천A 지점은 “양호” 등급, 갑천M 지점은 “보통” 등급으로 평가되었으며, 1월, 2월, 8월의 미호천A 지점은 “보통” 등급, 미호천M 지점은 “주의” 등급으로 평가되었다. 일부 수질측정망 수질지수가 자동측정망 수질지수에 비해 다소 나쁘게 평가되는 것을 볼 수 있었는데 이는 자동측정망 TOC, TN, TP 항목의 여과처리와 분석방법의 차이로 인해 분석값이 낮게 측정되어 수질지수가 양호하게 평가된 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 2016년부터 2019년까지 금강수계의 자동측정망 중 6개 지점을 선정하여 이와 동일하거나 인근 지점에 위치한 수질측정망 지점을 대상으로 두 지점의 수질특성과 통계 분석을 통하여 상관성을 평가하였다. 또한, 수질 분석결과를 활용하여 수질지수를 산정하고 비교하였다.

자동측정망과 수질측정망의 수질을 비교하여 분석한 결과 일부 측정값에서 차이를 보였지만 대부분 수질농도는 일정한 비로 변동하는 경향을 보였다. 항목 간 상관관계를 분석하기 위해 상관계수(r)를 산정한 결과 수온이 평균 0.989로 가장 높은 상관성을 나타냈으며 EC(0.948), DO(0.820)순으로 동일한 센서형 측정기기를 사용하는 기본항목이 전 지점에서 매우 높은 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 반면에 TOC, TN, TP 항목은 일부 측정망을 제외하고 상관계수(r) 0.7 이상으로 높은 상관관계를 보였지만 기본항목에 비해 상관성이 떨어지는 것으로 분석되었다. 이는 지형적 특성으로 인한 시료 채수 방법과 채수 위치, 시료여과처리 등 시험분석방법에 따른 차이로 판단된다. 수질 분석결과를 활용하여 RTWQI

산출하여 전 기간에 대한 지수평가를 비교분석한 결과, 갑천, 남면, 유구천 지점은 “보통” 등급, 미호천, 공주, 부여 지점은 “주의” 등급으로 자동측정망 수질지수 등급과 수질측정망 수질지수 등급이 동일하게 나타났다. 월별 수질지수 평가 결과 자동측정망과 수질측정망 대부분 수질지수가 9~11월에 양호한시기, 1~3월, 6~7월이 가장 주의가 필요한 시기인 것으로 나타났다. 유구천지점은 자동측정망, 수질측정망 수질지수가 63.7~90.4 범위로 조사지점 중 비교적 수질이 안정적이고 양호한 수질로 평가되었고, 부여지점은 자동측정망, 수질측정망 수질지수가 32.2~61.5 범위로 하류로 갈수록 수질지수가 낮아져 수질오염도가 높아짐을 알 수 있었다. 시료의 여과 처리와 분석방법에 따른 차이가 발생하여 일부 수질측정망 수질지수가 자동측정망 수질지수에 비해 다소 나쁘게 평가되었으나 차이가 크지 않았다. 향후 분석방법을 보완하고 개선하여 측정값과 지수 차이를 더 줄인다면 실시간으로 모니터링하는 자동측정망데이터를 적용하는 지수평가가 해당 지점의 상황을 파악하고 관리하는데 좀 더 효율적인 것이라고 판단된다.

본 연구는 자동측정망과 수질측정망을 비교, 분석한 자료로서 자동측정망의 분석기능 고도화, 채수 불량으로 인한 결측 자료 보완 등을 통해 수질 자료의 신뢰도를 보다 더 향상시킨다면 수질측정망 운영 시 발생하는 채수 시 위험성, 데이터의 불연속성 등의 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단하며 수질자동측정망의 설치확대를 위한 기초자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

사사

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2019-03-01-013).

References

- Canadian Council of Ministers of the Environment.
2017. CCME Water Quality Index User's

- Manual; Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.
- Kal BS, Park JB, Kim SH, Im TH. 2017. Assessment of tributary water quality using integrated Water Quality Index. *Journal of Wetlands Research* 26(5): 796-801. [Korean Literature]
- Kang TK. 2019. Overseas Water Quality Monitoring Network Operation Case. Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI). [Korean Literature]
- Kim JM, Jeong HG, Kim HR, Kim YS, Yang DS. 2020. A Non-parametric Trend Analysis of Water Quality Using Water Environment Network Data in Nakdong River. *J. Environ. Impact Assess* 29(1): 61-77. [Korean Literature]
- Kim SH. 2017. A Study on the Installation of Sensor Type Water Quality Automatic Monitoring System using EC Correlation. Hoseo University, Asan. [Korean Literature]
- Kim YJ, Gal BS, Park JB, Kim SH, Im TH. 2018. Classification of Nakdong River Tributaries under Priority Management based on their Characteristics and Water Quality Index. *J. Korean Soc. Environ. Eng.* 40(2): 73-81. [Korean Literature]
- Kim YS, Moon HS, Hong JY, Kim MA, Kim SB, Shin HJ, Kim GH. 2015. Analysis of Correlation between Water Quality Parameters using Data from Real-time Automatic Measurement in the Geum River. South Korea. *J. of the Korean Society for Environmental Analysis* 18(1): 67-77. [Korean Literature]
- Lim BJ, Hong JY, Yeon IS. 2010. Application of Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) in Daecheong Reservoir using Automatic Water Quality Monitoring Data. *Journal of Korean Society on Water Quality* 26(5): 796-801. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). 2019. Water Quality Monitoring Program, Ministry of Environment; pp. 3-5. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). 2006. A study on the rational plan of the automatic water quality measurement network measurement items and warning criteria. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Reserch (NIER). 2019. Standard Method for Examination of Water. National Institute of Environmental Reserch, Water Environment Information System. [Cited Mar. 2020]. Available from: <http://water.nier.go.kr>
- National Institute of Environmental Reserch, Real-time Water Environment Information System. [Cited Mar. 2020]. Available from: <http://www.koreawqi.go.kr>
- Park HG, Cha EH. 2013. A Study on the Influence of Water Quality on the Upper Stream of Hap-Chun Lake. *J. Kor. Soc. Environ. Eng.* 35(2): 94-100. [Korean Literature]
- Park JB, Kal BS, Kim SH. 2018. Long-term Trend Analysis of Major Tributaries of Nakdong River Using Water Quality Index. *Journal of Wetlands Research* 20(3): 201-209. [Korean Literature]
- Park KD, Kang DH, So YH, Kim IK. 2019. Temporal-Spatial Variations of Water Quality Level and Water Quality Index on the Living Environmental Standards in the West Nakdong River. *Journal of Environmental Science International* 28(12): 1071-1083. [Korean Literature]
- Park YJ, Lee SJ, An KG. 2019. Analysis of Fish Ecology and Water Quality for Health Assessments of Geum – River Watershed.

- Korean J. Environ. Ecol. 33(2): 187-201.
[Korean Literature]
- Ryu DK, Lee KS, Lee CH, Yoon HK, Eo SM,
Bae KS, Kim MH. 2002. Variation Analysis
of Water Quality of the Low Han River
by using Automated Water Monitoring
system. Report of S.I.H.E. 38: 389-394.
[Korean Literature]
- United States Geological Survey (USGS), National
Water Information System. [Cited Mar.
2020]. Available from: <https://www.usgs.gov>
- Yu JH, Lee HS, Lim BR, Kang JH, Ahn TU,
Shin HS. 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. [Korean
Literature]