

Study Note

낙동강수계 물환경측정망 자료를 이용한 비모수적 수질 경향 비교 및 분석

김정민 · 정현기 · 김혜란 · 김용석 · 양득석

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

A Non-parametric Trend Analysis of Water Quality Using Water Environment Network Data in Nakdong River

Jungmin Kim · Hyungi Jeong · Hyeran Kim · Yongseok Kim · Deukseok Yang

Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

요약: 현재 국내 주요 공공수역은 국가차원 아래 체계적인 물환경 관리가 되어왔고, 특히 하천, 호소 등 생태계의 실태파악 및 대응을 위해 지속적인 모니터링 및 관리가 이루어져 왔다. 그 중, 수질측정망은 수질 측정 주기가 8일에서 한 달 주기로 조사되는 반면, 자동측정망의 경우, 실시간 자료를 수집함으로써 일 데이터 자료를 제공하고 있다. 따라서 측정망 자료를 활용하여 동일한 수질항목에 대해 추세변화를 분석하고 통계적 방법을 통해 비교하였다. Mann-kendall test 결과 Water Temperature (WT)와 DO는 모든 지점이 통계적으로 유의하지 않은 것으로 확인되었고, 특히 TOC에서는 4개 지점, TN은 2개 지점, TP는 3개 지점, Water Temperature (WT)는 7개 지점, pH는 2개 지점, EC는 5개 지점, DO는 6개 지점에서 동일한 추세 경향을 보였다. LOWESS 분석 결과, TOC와 pH의 측정망 결과는 서로 다른 추세를 보이는 것으로 분석되었다. 지점별, 항목간 상관관계 분석결과에 따르면 안동댐하류-안동1 지점에서는 TP, 도개-산곡 지점에서는 TOC, 고령(자동)-고령 지점에서는 pH, 적포-창녕 지점에서는 TP, 감천-감천2-1 지점에서는 TN, TP, pH, EC, DO 항목을 제외하고 나머지 항목에서 유의한 양의 상관관계를 보이는 것으로 분석되었다. 그리고 신암-상주2 지점과 남강-남강4 지점에서는 모든 항목에서 유의한 양의 상관관계를 나타내는 것으로 분석되었다.

주요어: 자동측정망, Mann-Kendall 분석, LOWESS 분석, 상관관계 분석

Abstract: In South Korea, major public waters have been systematic management under national level. Water environment network has been continuous monitoring for change of aquatic ecosystem, river and reservoir. In Water Quality Monitoring Networks, the data have been generally monitored Per eight days or month, while in Automatic Water Quality Monitoring Network the data have been

First Author: Jungmin Kim, Tel: +82-54-950-9787, E-mail: kjm6214@korea.kr, ORCID: 0000-0001-7525-3086

Corresponding Author: Deukseok Yang, Tel: +82-54-950-9720, E-mail: yds7055@korea.kr, ORCID: 0000-0002-9997-5187

Co-Authors: Hyungi Jeong, Tel: +82-54-950-9780, E-mail: jhgpl@korea.kr, ORCID: 0000-0002-5162-7175

Hyeran Kim, Tel: +82-54-950-9763, E-mail: redcamel888@korea.kr, ORCID: 0000-0002-5162-7175

Yongseok Kim, Tel: +82-54-950-9720, E-mail: nierkys@korea.kr, ORCID: 0000-0002-9029-1344

Received: 24 October, 2019. Revised: 3 December, 2019. Accepted: 9 December, 2019.

monitored at daily intervals. Therefore, we were compared and analyzed water quality data between the networks using statistic method for same water quality item. Mann-kendall test results confirm that all points in Water Temperature (WT) and DO were not statistically significant. In particular, the result revealed that there is significant variation of TOC in the four different sites, TN in two different sites, TP in three different sites, WT in seven different sites, pH in two different sites between Water Quality Monitoring Network and Automatic Water Quality Monitoring Network. As a result firm LOWESS, TOC and pH clearly shows different trend. Among different sites, the water quality show the significantly positive correlations between at Sinam-Sangju2 and Namgang-Namgang4. Negative correlation significantly appeared in TP (ADD_Lower-AD1 site), TOC (DG-SG site), pH (GR-GR site), TP (JP-CN) and TN, TP, pH, EC, DO (GC-GC2-1 site).

Keywords : Automatic water quality monitoring network, Mann-Kendall test, LOWESS analysis, Correlation analysis

I. 서론

기후변화에 따른 수질 환경변화와 수환경 개발로 인한 유역환경 변화는 지속적인 유출양상의 변화를 가져왔다. 몬순기후대 홍수와 가뭄과 같은 수재해의 발생빈도가 높은 국내 수계지역에서는 지속가능한 수자원 관리와 체계적인 재해예방을 위해 유역환경의 모니터링을 통한 유출해석이 매우 중요하다. 특히, 비점오염원으로 배출되는 영양물질 등 수환경에 영향을 미치는 인자 파악을 위해서는 공공수역의 실시간 수질 모니터링을 통한 정확한 분석이 필요하다(Lee & Ryu 2013).

우리나라는 환경정책기본법과 물환경보전법에 근거하여 하천·호소 등 공공수역내 수질 및 수생태계의 체계적인 모니터링을 위해 물환경측정망을 운영 및 관리하고 있다(MOE 2018a). 물환경측정망에는 하천·호소 등에 대한 수질현황 및 추세 파악을 위한 수질측정망, 오염총량관리 지역의 수질현황 등의 파악을 위한 총량측정망, 수질오염사고 시 신속한 대응 조치를 위한 자동측정망, 수저 퇴적물의 환경질(sediment quality) 현황 조사 및 파악을 위한 퇴적물측정망, 공공수역 방사성 물질 관련 방사성물질측정망과 하천, 하구, 호소 등 수생태계 현황·추세파악을 위한 생물측정망으로 운영되고 있다. 그 중, 수질측정망 대상 조상지점 중 일반지점 및 중권역 대표지점은 12회/년, 주요지점 및 보지점은 48회/년으로 측

정하고 있고, 총량측정망은 36회 이상/년(평균 8일) 측정하고 있다. 반면, 수질감시경보 및 일반측정망의 보완적 기능을 위해 설치된 자동측정망의 경우, 타 측정망 체계와는 달리 실시간으로 수질을 측정하고, 자료 검증 후 일데이터 형식으로 공개·운영되고 있다(MOE 2018a). 자동측정망 운영에 관한 국외 사례를 살펴보면 미국에서는 미내무부(U.S. Department of the Interior, USDOI)산하의 미지질조사국(U.S. Geological Survey, USGS)에서 운영 중인 국가수자원정보시스템(National Water Information System, NWIS)은 유량자료와 수온, DO, NH₄, NO₃ 등과 같은 수질자료와 홍조류, 남조류 등 수생생물 자료의 실시간 데이터(15분~60분)로 저장된다. 또한 Kansas 주의 실시간 모니터링 시스템은 Kansas 주 내의 수질측정소를 통해 전기전도도, pH, 수온, 탁도, 클로로필, DO 등의 수질자료를 수집하고 제공한다. 유럽의 연안 국가로 구성된 국제라인강보호위원회(International Commission for The Protection of The Rhine, ICPR)에서는 라인강 수질 오염사고 대비를 위하여 총 9곳의 수질자동측정소를 설치하여 상시 모니터링이 가능한 시스템을 운영 중이다. 그리고 독일의 국제 엘베강 보호위원회(International Commission for the Protection of the River Elbe, ICPRE)는 11개의 측정소를 통해 엘베강의 수질을 자동모니터링을 하고 있다(MOE 2012). 이러한 자료들은 수질 및 수계 관측 자료 분석을 위해 회귀분석, 비

모수적 추세분석 방법 등을 이용한 장기 수질변화 연구에 활용되거나 수질개선 대책을 위한 활용 및 단기간 수질예보 등에 활용되고 있다. 국내외에서의 자료 활용사례로는 Hassan et al. (2019)은 sulfur oxidizing bacteria (SOB)를 이용하여 실시간 바이오 모니터링 시스템을 하천에 설치하여 적용성을 평가하였다. Tew et al. (2014)은 대만 남부의 산호초 보호를 위해 실시간 수질감시시스템을 설치하여 모니터링하고 있다. 특히 어류의 산란 등 생태계에 미치는 영향을 관찰하기 위해 핵발전소 방류수 유입구 인근에 설치하여 수온, DO, pH 등 총 6가지의 수질자료를 수집하고 있으며 태양광 패널과 무선전송 시스템을 탑재하고 있다. 또한 파랑에 의한 수위관측센서도 포함되어 있다. Chen & Han (2018)은 Bristol Floating Harbour에 실시간 고주파수 수질모니터링 시스템을 설치하고 이를 온라인으로 표시하는 모니터링 시스템을 제시하였다. Jung et al. (2016)은 금호강을 대상으로 수질 평가항목인 BOD의 수치 변화를 통해 계절 맨-켄달 검정법과 LOWESS 분석법으로 장기변화 경향을 파악하고 탐색적 자료 분석(Exploratory Data Analysis, EDA)을 이용하여 시공간적인 BOD 농도변화 특성을 보고하였다. Yun et al. (2015)은 낙동강 유역의 14개 측정망(수질측정망 12개, 총량측정망 2개)의 수질자료를 Mann-Kendall test와 Sen's slope을 이용하여 수질의 장기 추세 경향을 분석하였다. Kim et al. (2017)은 낙동강 수계의 수질측정망과 총량측정망의 공통지점을 대상으로 Regional-Seasonal Kendall test, LOWESS 분석 및 adjusted Seasonal Kendall test를 이용하여 장기 수질의 경향을 분석하였다. 이러한 수질측정망과 총

량측정망의 수질자료는 월 또는 8일 간격으로 조사됨에 따라 장기변화를 통해 단기간 수질변화를 검증하기에 어려운 난점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 2013년부터 2018년까지 수질측정망에서 측정되는 수질측정자료와 실시간으로 모니터링 되는 자동측정망 자료 중 수온(Water Temperature; WT), 용존산소량(dissolved oxygen; DO), 수소이온농도지수(pH), 전기전도도(electrical conductivity; EC), 총 유기탄소(total organic carbon; TOC), 총 질소(total nitrogen; TN), 총 인(total phosphorus; TP) 자료를 수집하여 Mann Kendall test, LOWESS 분석 및 요인 간 상관관계 분석하고, 그 결과를 바탕으로 측정망 간 수질추세분석을 통해 낙동강 수질변화를 분석하여 수질관리를 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

II. 연구방법

1. 연구방법

1991년, 1994년과 2004년에 낙동강에서 발생한 수질오염사고로 인해 수계 오염사고에 대한 경각심이 증가하였고 이에 환경부에서는 수질오염에 대한 조기정보체계 수립과 신속한 오염원의 예측 및 분석을 수행하고 수질예보제 운영 지원과 수질 일반측정망을 보완하기 위하여 낙동강에 24개소의 실시간 자동측정망을 운영하고 있다(Park 2012; MOE 2018a).

2013년~2018년 측정된 수질측정망 및 자동측정망 자료를 통해 수질측정망과 자동측정망 위치가 동일한 지점 7지점을 선정하였다(Table 1, Figure 1).

Table 1. Water Quality Station and Item of Water Quality Station (ME 2018b)

Real-time Water Quality monitoring Station	Water Quality monitoring Station
Andongdam_Lower (ADD_lower)	Andong1 (AD1)
Sinam (SA)	Sangu2 (SJ2)
Dogae (DG)	Sangok (SG)
Goryeong (GR_auto)	Goryeong (GR)
Jukpo (JP)	Changnyeong (GR)
Gamcheon (GC)	Gamcheon2-1 (GC2-1)
Namgang (NG)	Namgang4 (NG4)

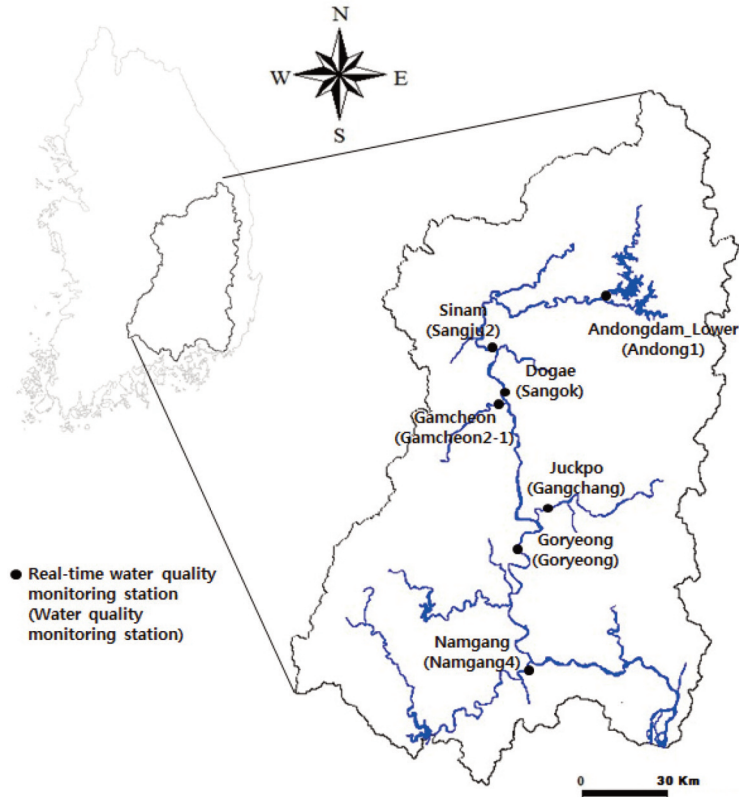


Figure 1. Location of real-time water quality monitoring station in Nakdong River (ME 2018a).

수질측정망은 일반지점, 중권역대표지점, 주요 지점, 보구간에서 하천, 산단하천, 도시관류, 호소, 농업용수 등으로 구분하여 측정하고 있으며 수질 측정항목은 지점에 따라 28~40여개의 항목을 측정하고 있다. 자동측정망의 측정소 별 측정항목은 공통수질항목인 WT, pH, DO, EC, TOC와 선택수질항목인 탁도, 클로로필 a(Chl-a), TN, TP, 휘발성 유기화합물(volatile organic compound; VOCs), 미생물(Microorganism) 등 25개이며 그 중 수온, pH, DO, EC, TOC, TN, TP의 일 자료를 이용하였다. 통계 분석에 사용된 수질자료는 환경부에서 공개되어 있는 물환경정보시스템(Water Environment Information System 2019)의 자료를 사용하였다.

2. Mann-Kendall test

Mann-Kendall test는 Mann (1945)에 의해 최초 제안되었고 Kendall (1975)과 Hirsch et al. (1982,

1984)에 의해 개선되었다. Mann-Kendall test는 관측값의 차이를 상대적인 크기로 계산하는 비모수 통계방법이다. Kendall test는 각 계절에 대한 수질자료의 검정을 시행하고, 수질자료간의 상관계수를 통해 유의성을 검증 결과의 가중합을 산정하여 양(Positive), 영(Zero), 음(Negative)을 통한 경향성의 유무를 분석하는 방법이다(Kim & Park, 2004; Nam, 2012; Yun et al. 2015). Kendall 통계 추정치 S_i 가 양의 값은 시간에 따른 증가 추이를 의미하고 음의 값일 경우 시간에 따른 감소추이를 의미하기 때문에 Kendall 통계 추정치 S_i 는 1월에서의 관측치 간 차이의 합으로 해당 월에서의 수질 관측치를 $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}$ 으로 표현하면 다음과 같은 식 1, 2로 정의된다.

$$S_i = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(X_{ij} - X_{ik}) \tag{1}$$

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

여기서 $sgn(X_{ij} - X_{ik})$ 은 j 시점과 k 시점의 관측치 간의 차이를 1, 0, -1로 구분하고 이들의 합인 S_j 를 구한다. 이렇게 계산된 각 월별 S_j 통계량을 모두 합산하여 전체 S 의 통계량을 구한다(Oh et al. 2004). Mann-Kendall 통계 값이 Z -value를 계산한 다음에 p -value를 구하여 유의성을 검증함으로써 경향성을 판단한다. 양쪽으로 95% 신뢰구간에서 유의수준 ($\alpha=0.05$)에 대한 p -value ≥ 0.05 이면 경향성이 없다는 귀무가설을 수용하고 통계적으로 유의하지 않다고 판단하며, p -value < 0.05 이면 경향성이 있다는 대립가설을 수용하고 통계적으로 유의하다고 판단한다 (Kim 2001; Jung et al. 2016)

3. LOWESS (LOcally WEighted Scatter plot Smoother) analysis

LOWESS는 실제 데이터에 대한 평활 곡선들을 적합시키는데 단순하지만 아주 훌륭한 도구이다 (Jacoby 2000). LOWESS는 장기 수질경향 분석의 도구로 많이 사용되었으며 Kim et al. (2017)은 낙동강 수계의 수질오염총량 자료를 대상으로 분석에 사용하였고 Jung et al. (2016)은 금호강 본류의 BOD 장기 경향 분석에 사용하였다. 비모수적 평활 (Smoothing) 방법은 각 값에 대해 이동 직선을 구하고 이로부터 y 의 평활점을 얻은 후 이 평활점 들을 직선으로 연결한 것이다. 이 방법은 대상기간 중에 추세 변동이 발생할 경우 자료의 적절한 경향을 반영할 수 있는 방법으로 1차 또는 2차 회귀모형에 대한 가정 없이 맞춤으로 선형추세에 대한 단점을 보완할 수 있다(Kim 2014).

이동선(x_i, y_i)을 계산하는 방법은 $x=x_i$ 를 중심으로 일정 간격에 걸친 수직띠(Window)를 만들고 $x=x_i$ 를 중심으로 $n \times f$ 에 가장 가까운 정수데이터를 포함하도록 수직띠의 폭을 결정한다(식 3).

$$\hat{y}_i \leftarrow \min_{\beta_0, \beta_1} \sum_{|j-i| \leq k} \omega_{j-i} (y_j - \beta_0 - \beta_1 x_j)^2, i=1, \dots, n \quad (3)$$

여기서 f 는 $0 < f < 1$ 인 평활상수로서 자료크기 대비 평활기의 너비로 표현하며 흔히 $1/3 < f < 2/3$ 가 추천된다.

평활기의 너비 f 를 크게 하면 과소적합(under-

fitting)으로 회귀함수가 직선에 가까운 밋밋한 곡선이 되고, f 를 작게 하면 과다적합(over-fitting)으로 곡선의 휜 정도가 큰 곡선이 된다(Cleveland & Devlin 1988).

4. 상관관계 분석

수질측정망과 자동측정망 수질항목의 상관관계를 분석하기 위하여 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient, r)를 산정하고 아래의 식 4와 5를 사용해 상관계수의 검정을 위한 t 값을 계산하였다. 피어슨 상관계수는 두 연속성 변수 사이의 선형적인 상관성을 분석하며, t 를 구하여 표본집단의 개체 수에서 2를 뺀 자유도를 가지는 T분포에 적용시킬 수 있으며, T 분포는 좌, 우 양측이 대칭인 곡선으로 표준정규분포를 따른다. T분포의 확률밀도 함수에서 t 값보다 큰 영역의 합이 유의수준 0.05보다 작으면 상관계수 r 이 유의성을 가지는 것으로 분석한다(Cho & Kim 2018).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)S_x S_y} \quad (4)$$

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (5)$$

여기서, \bar{x}, \bar{y} 는 표본집단, x, y 의 평균이고 S_x, S_y 는 표본집단 x, y 의 표준편차이며, n 은 표본집단의 개체 수를 나타낸다.

III. 결과 및 고찰

1. 대상유역의 수질특성

수질측정망과 자동측정망 간의 수질특성을 알아보기 위하여 대상 지점별 특성치를 Figure 2에 나타내었다. TOC 항목에서는 수질측정망의 경우 1.30~7.50 mg/L의 범위로 평균 3.06 mg/L로 상주2에서 최대 농도를 보였고 자동측정망의 범위는 1.40~5.62 mg/L이며 평균 2.91 mg/L로 고령에서 최대 농도를 보였다. TN 항목에서 수질측정망의 범위는 3.73~7.30 mg/L, 평균 2.78 mg/L로 감천2-1에서 최대 농도를 나타냈으며 자동측정망에서 범위는 2.04~

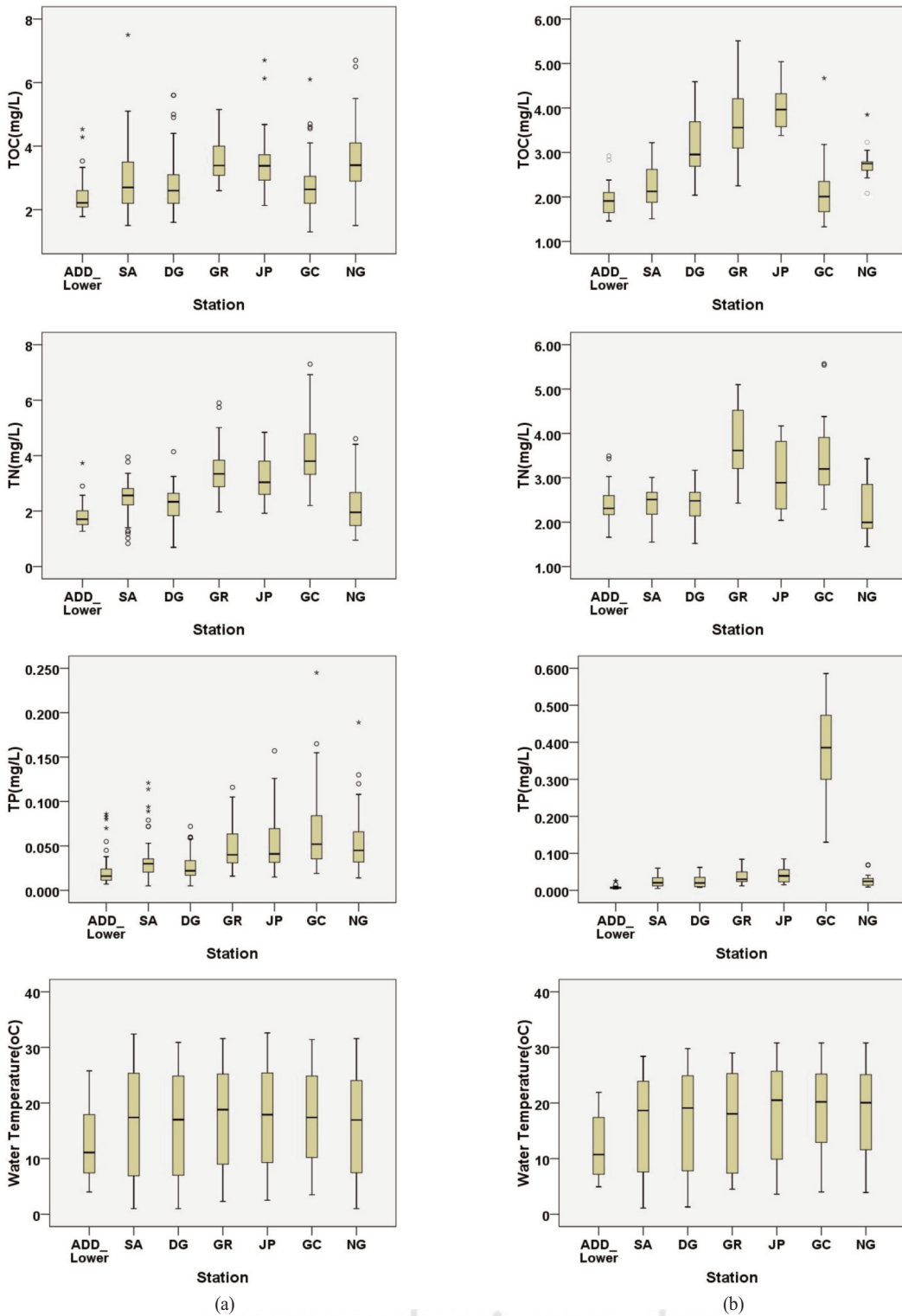


Figure 2. Box plot of major water quality parameters in each water quality monitoring networks. (a) water quality monitoring network, (b) automatic water quality monitoring network.

5.57 mg/L, 평균 2.90 mg/L로 고령과 감천에서 최대 농도를 보였다. TP 항목의 수질측정망 범위는 0.021~0.245 mg/L, 평균 0.043 mg/L로 감천에서 최대 농도를 보였고 자동측정망 범위는 0.011~0.586 mg/L, 평균 0.075 mg/L로 역시 감천에서 최대 농도를 나타냈다. pH 항목의 수질측정망 범위는 6.7~9.3, 평균 8.1로 산곡과 남강4에서 가장 높게 나타났고 자동측정망 범위는 6.7~9.2, 평균 7.8로 적포에서 최대 농도로 나타났다. EC의 수질측정망은 89~

774 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 가지고 평균 275 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 고령에서 최대 농도를 나타냈고 자동측정망은 103~739 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 가지고 평균 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 역시 고령에서 가장 높은 값으로 나타났다. DO의 수질측정망 범위는 3.9~20.5 mg/L, 평균 11.0 mg/L로 산곡에서 최대 농도를 보였고 자동측정망의 범위는 2.5~15.4 mg/L, 평균 9.8 mg/L로 신암에서 최대 농도를 보였다.

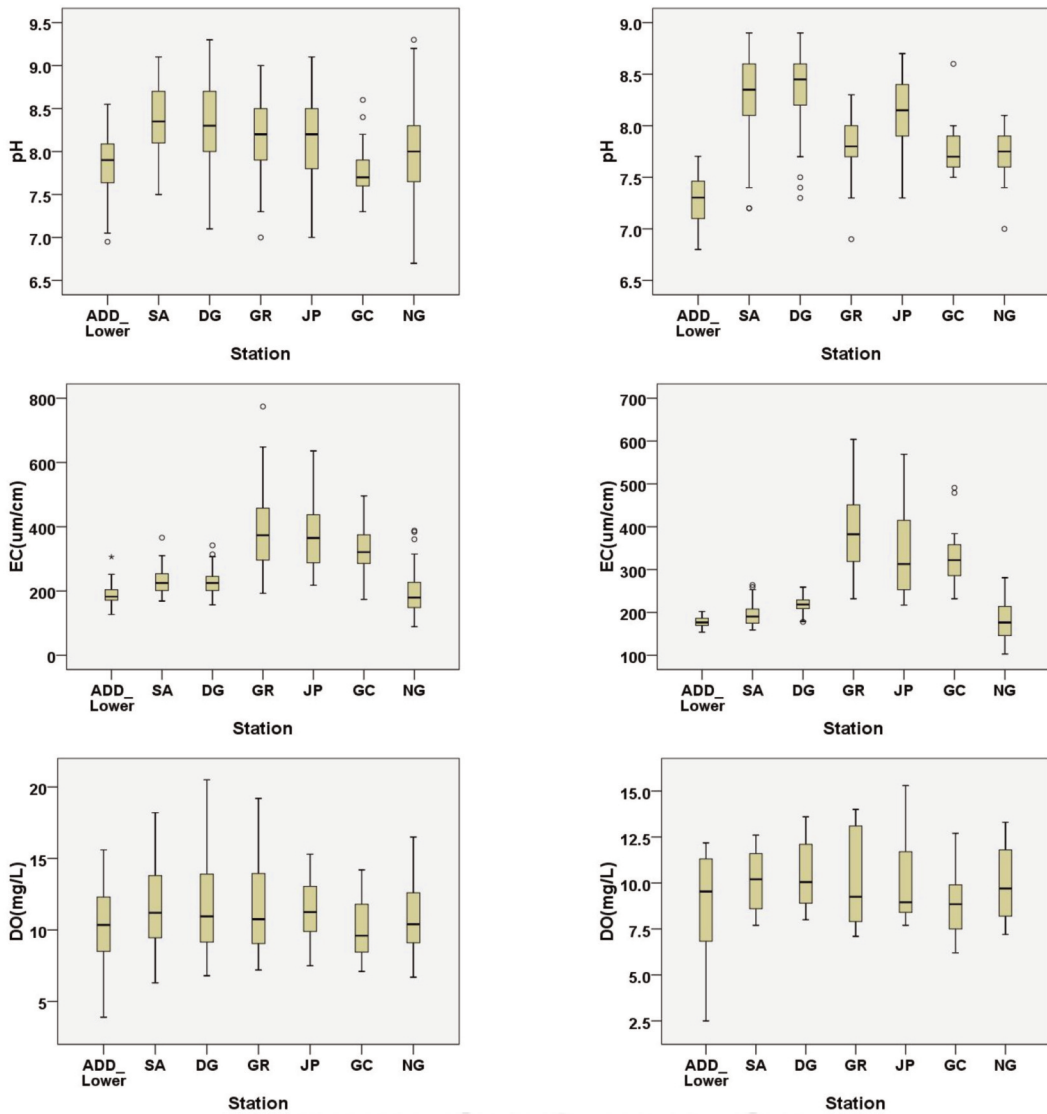


Figure 2. Continued

2. Mann-Kendall test

수질 항목별로 수질측정망과 자동측정망 지점에서 항목별 통계치와 Mann-Kendall test 결과를 비교하였다. 결과는 Table 2와 같다.

TOC의 경우 자동측정망에서는 안동댐하류, 신암, 적포, 남강 지점과 수질측정망에서는 안동1, 상주2,

산곡, 고령, 창녕, 남강4 지점은 통계적으로 유의하게 나타났으며 안동댐하류 - 안동1, 신암 - 상주2, 감천 - 감천2-1, 남강 - 남강4 지점은 동일하게 증가경향을 보이거나 추세변화가 없는 것으로 분석되었다. 그러나 도개 - 산곡, 고령(자동) - 고령 지점은 자동측정망 지점은 변화가 없는데 수질측정망 지점은

Table 2. Comparison of statistical analysis and trend of water quality data at water quality station and real-time water quality monitoring station

		Mean	Max.	Min.	Std.	P-value	S	Z	Trend
TOC	ADD_Lower	2.24	5.21	1.40	0.62	0.0001	915	4.946	Increasing
	AD1	2.43	4.53	1.78	0.56	0.0001	1086	5.274	Increasing
	SA	2.40	3.89	1.51	0.53	0.0005	699	3.465	Increasing
	SJ2	2.97	7.50	1.50	1.04	0.0001	1211	5.882	Increasing
	DG	2.96	5.14	1.57	0.70	0.8989	25	0.127	No Trend
	SG	2.73	5.60	1.60	0.89	0.0375	429	2.081	Increasing
	GR_auto	3.99	5.62	2.25	0.74	0.1390	233	1.480	No Trend
	GR	3.55	5.15	2.60	0.61	0.0034	604	2.931	Increasing
	JP	3.63	5.21	2.24	0.64	0.0117	-477	-2.520	Decreasing
	CN	3.43	6.70	2.13	0.76	0.0005	716	3.476	Increasing
	GC	2.26	4.67	1.33	0.85	0.1433	60	1.463	No Trend
	GC2-1	2.77	6.10	1.30	0.80	0.9729	-8	-0.034	No Trend
	NG	2.90	3.92	1.67	0.51	0.0001	739	3.822	Increasing
NG4	3.49	6.70	1.50	0.97	0.0001	805	3.908	Increasing	
TN	ADD_Lower	2.04	3.49	1.30	0.47	0.0128	-461	-2.489	Decreasing
	AD1	1.82	3.73	1.27	0.42	0.5179	134	0.647	No Trend
	SA	2.51	3.33	1.23	0.51	0.0262	449	2.224	Increasing
	SJ2	2.45	3.95	0.83	0.62	0.1306	312	1.512	No Trend
	DG	2.55	3.88	1.25	0.56	0.0345	436	2.115	Increasing
	SG	2.25	4.14	0.69	0.61	0.5695	118	0.569	No Trend
	GR_auto	3.97	5.57	2.43	0.73	0.7614	-51	-0.304	No Trend
	GR	3.47	5.90	1.97	0.80	0.2063	-261	-1.264	No Trend
	JP	3.36	5.13	2.04	0.76	0.0256	432	2.232	Increasing
	CN	3.17	4.84	1.92	0.74	0.9612	11	0.049	No Trend
	GC	3.44	5.57	2.29	0.90	0.0394	79	2.060	Increasing
	GC2-1	4.08	7.30	2.20	1.14	0.7410	-69	-0.331	No Trend
	NG	2.42	4.65	1.16	0.90	0.2931	204	1.051	No Trend
NG4	2.22	4.61	0.95	0.97	0.5564	-122	-0.588	No Trend	
TP	ADD_Lower	0.011	0.039	0.003	0.01	0.0055	514	2.776	Increasing
	AD1	0.021	0.086	0.004	0.02	0.5728	-17	-0.564	No Trend
	SA	0.022	0.060	0.005	0.01	0.8649	36	0.170	No Trend
	SJ2	0.034	0.121	0.005	0.02	0.5861	113	0.544	No Trend
	DG	0.020	0.065	0.004	0.01	0.0345	436	2.115	Increasing
	SG	0.027	0.072	0.005	0.02	0.7929	55	0.263	No Trend
	GR_auto	0.034	0.090	0.010	0.02	0.5763	-93	-0.559	No Trend

Table 2. Continued

		Mean	Max.	Min.	Std.	P-value	S	Z	Trend
TP	GR	0.048	0.116	0.013	0.02	0.0345	-436	-2.115	Decreasing
	JP	0.036	0.101	0.014	0.02	0.2523	-222	-1.145	No Trend
	CN	0.053	0.157	0.015	0.03	0.3949	-176	-0.851	No Trend
	GC	0.376	0.586	0.130	0.13	0.8622	-8	-0.174	No Trend
	GC2-1	0.067	0.245	0.019	0.04	0.0001	-1,247	-6.057	Decreasing
	NG	0.028	0.069	0.006	0.01	0.7208	70	0.357	No Trend
	NG4	0.053	0.189	0.014	0.03	0.9071	-25	-0.117	No Trend
WT	ADD_Lower	11.4	21.9	3.6	5.08	0.7757	56	0.285	No Trend
	AD1	12.6	25.8	4.0	5.8	0.1343	309	1.497	No Trend
	SA	15.7	29.6	1.1	8.87	0.3608	189	0.914	No Trend
	SJ2	16.4	32.4	1.0	9.32	0.5179	134	0.647	No Trend
	DG	16.0	31.7	1.3	9.41	0.5007	131	0.673	No Trend
	SG	16.5	30.9	1.0	9.13	0.4779	147	0.710	No Trend
	GR_auto	17.3	32.3	3.8	8.64	0.3622	151	0.911	No Trend
	GR	17.0	31.6	2.3	8.65	0.6269	101	0.486	No Trend
	JP	17.5	31.8	3.6	8.85	0.6830	85	0.408	No Trend
	CN	17.2	32.6	2.5	8.92	0.5861	113	0.544	No Trend
	GC	17.8	30.8	4.0	8.51	0.1543	-62	-1.425	No Trend
	GC2-1	17.2	31.4	3.5	8.39	0.9303	-19	-0.088	No Trend
	NG	17.8	31.7	3.1	8.79	0.8573	-38	-0.180	No Trend
	NG4	16.4	31.6	1.0	8.84	0.7336	71	0.340	No Trend
pH	ADD_Lower	7.3	8.1	6.7	0.33	1.0000	-	-	No Trend
	AD1	7.9	8.6	7.0	0.36	0.0001	-1,114	-5.411	Decreasing
	SA	8.1	8.9	6.9	0.48	0.0004	-729	-3.539	Decreasing
	SJ2	8.3	9.1	7.5	0.38	0.0457	-412	-1.998	Decreasing
	DG	8.2	8.9	7.3	0.40	0.2813	-209	-1.077	No Trend
	SG	8.3	9.3	7.1	0.45	0.0013	-662	-3.213	Decreasing
	GR_auto	7.8	8.5	6.9	0.32	0.3559	153	0.923	No Trend
	GR	8.2	9.0	7.0	0.37	0.0001	-865	-4.200	Decreasing
	JP	8.0	9.2	7.3	0.41	0.0507	-403	-1.954	Decreasing
	CN	7.1	9.1	7.0	0.48	0.1719	282	1.366	No Trend
	GC	7.7	8.6	7.4	0.25	0.0041	-124	-2.873	Decreasing
	GC2-1	7.8	8.6	7.3	0.24	0.2656	-230	-1.113	No Trend
	NG	7.7	8.8	7.0	0.33	0.8306	-45	-0.214	No Trend
	NG4	8.0	9.3	6.7	0.52	0.1421	303	1.468	No Trend
EC	ADD_Lower	188	223	148	20.11	0.0014	619	3.201	Increasing
	AD1	187	306	127	27.66	0.0661	379	1.838	Increasing
	SA	216	351	157	40.21	0.0301	447	2.168	Increasing
	SJ2	230	366	169	36.79	0.0536	398	1.930	Increasing
	DG	243	345	178	40.61	0.0060	520	2.747	Increasing
	SG	226	342	157	36.22	0.4992	140	0.676	No Trend
	GR_auto	413	739	229	111.35	0.4441	-127	-0.765	No Trend
	GR	390	774	193	114.45	0.4541	-155	-0.749	No Trend

Table 2. Continued

		Mean	Max.	Min.	Std.	P-value	S	Z	Trend
EC	JP	371	617	215	108.26	0.1343	309	1.497	No Trend
	CN	376	636	218	106.86	0.5148	135	0.651	No Trend
	GC	337	491	232	68.11	0.0471	86	1.985	Increasing
	GC2-1	328	496	174	67.87	0.3506	193	0.933	No Trend
	NG	192	373	103	57.38	0.1719	282	1.366	No Trend
	NG4	189	388	89	63.92	0.9457	15	0.068	No Trend
DO	ADD_Lower	8.9	13.2	2.5	2.87	0.2315	-232	-1.196	No Trend
	AD1	10.2	15.6	3.9	2.76	0.6097	-106	-0.510	No Trend
	SA	9.9	15.4	5.7	1.93	0.0926	-347	-1.682	Decreasing
	SJ2	11.5	18.2	6.3	2.59	0.4870	-144	-0.695	No Trend
	DG	10.4	14.9	6.7	2.06	0.3941	-162	-0.852	No Trend
	SG	11.6	20.5	6.8	2.99	0.4253	165	0.797	No Trend
	GR_auto	10.0	14.7	6.6	2.40	0.8650	-29	-0.170	No Trend
	GR	11.4	19.2	7.2	2.86	0.8573	38	0.180	No Trend
	JP	10.4	15.3	7.1	2.08	0.3922	177	0.856	No Trend
	CN	11.4	15.3	7.5	1.88	0.4281	164	0.792	No Trend
	GC	7.1	12.7	6.2	1.92	0.4409	34	0.771	No Trend
	GC2-1	10.1	14.2	7.1	1.93	0.3334	-200	-0.967	No Trend
	NG	9.9	14.5	6.0	2.03	0.8649	36	0.170	No Trend
	NG4	10.8	16.5	6.7	2.35	0.4004	-174	-0.841	No Trend

증가경향을 나타내었다. 그리고 자동측정망인 적포 지점은 감소경향을 보이는데 수질측정망 지점인 창녕은 증가경향으로 나타나 반대의 경향을 보이는 것으로 분석되었다. TN 항목은 자동측정망인 안동댐하류, 신암, 도개, 적포, 감천 지점에서 통계적으로 유의하게 나타났으며 수질측정망에서는 한 지점도 통계적으로 유의하게 나타난 지점이 없는 것으로 분석되었다. 고령(자동) - 고령, 남강 - 남강4 지점은 동일하게 추세변화가 없는 것으로 분석되었다. 또한 Yoon et al. (2015)의 연구에 따르면 2004년~2014년까지 안동1과 상주2의 TN은 통계적으로 유의한 증가경향을 보였고 고령에서는 감소하는 경향을 보여 본 연구결과와 다르게 나타났다. 안동댐하류 - 안동1, 신암 - 상주2, 도개 - 산곡, 적포 - 창녕, 감천 - 감천2-1 지점 중에서 한 지점은 증가경향 또는 감소경향을 나타내면 다른 지점은 경향 변화가 없는 것으로 분석되었다. TP 항목은 자동측정망인 안동댐하류, 도개 지점, 수질측정망에서 고령, 감천2-1 지점에서

통계적으로 유의하게 나타났다. 신암 - 상주2, 적포 - 창녕, 남강 - 남강4 지점은 동일하게 추세변화가 없는 것으로 분석되었다. Jung et al. (2018) 연구에서는 남강4 지점의 2005년부터 2015년까지, Yoon et al. (2015) 연구에서 2005년~2015년까지의 안동1, 상주2, 고령지점의 월평균 TP 경향성을 비교해보았을 때 유의한 감소경향으로 본 연구결과와 다르게 분석되었는데 과거 분석기간에 따라 다르게 분석된 것으로 판단된다. 안동댐하류 - 안동1, 도개 - 산곡, 고령(자동) - 고령, 감천 - 감천2-1 지점 중에서 한 지점은 증가경향 또는 감소경향을 나타내면 다른 지점은 경향 변화가 없는 것으로 분석되었다. WT 항목은 자동측정망과 수질측정망 모든 지점에서 통계적으로 유의하지 않게 분석되었고 자동측정망과 수질측정망 모든 지점에서 경향성을 나타내지 않는 것으로 분석되었다. pH 항목은 자동측정망인 신암, 감천 지점, 수질측정망에서 안동1, 상주2, 산곡, 고령 지점에서 통계적으로 유의하게 나타났다. 신암 - 상주2 지점

은 동일하게 감소경향이 나타났으며 남강 - 남강4 지점은 동일하게 추세변화가 없는 것으로 분석되었다. 안동댐하류 - 안동1, 도개 - 산곡, 고령(자동) - 고령, 적포 - 창녕, 감천 - 감천2-1 지점에서 한 지점은 감소경향을 보이면 다른 지점은 경향 변화가 없는 것으로 분석되었다. EC 항목에서는 자동측정망인 안동댐하류, 신암, 도개, 감천 지점에서 통계적으로 유의하게 나타났고 수질측정망에서는 모든 지점에서 $P \geq 0.05$ 로 나타나 통계적으로 유의하지 않는 것으로 분석되었다. 안동댐하류 - 안동1, 신암 - 상주2 지점은 동일하게 증가경향이 고령(자동) - 고령, 적포 - 창녕, 남강 - 남강4 지점은 경향변화가 없는 것으로 분석되었다. 도개 - 산곡, 감천 - 감천2-1 지점에서는 자동측정망 지점은 증가경향을 보이나 수질측정망 지점은 경향 변화가 없는 것으로 분석되었다. DO 항목에서는 자동측정망과 수질측정망 모든 지점에서 통계적으로 유의하지 않는 것으로 분석되었다. 신암 - 상주2 지점을 제외한 모든 지점에서 경향변화가 없는 것으로 분석되었고 신암 - 상주2 지점에서 자동측정망 지점은 감소경향을 나타내었으나 수질측정망 지점은 경향변화가 없는 것으로 분석되었다.

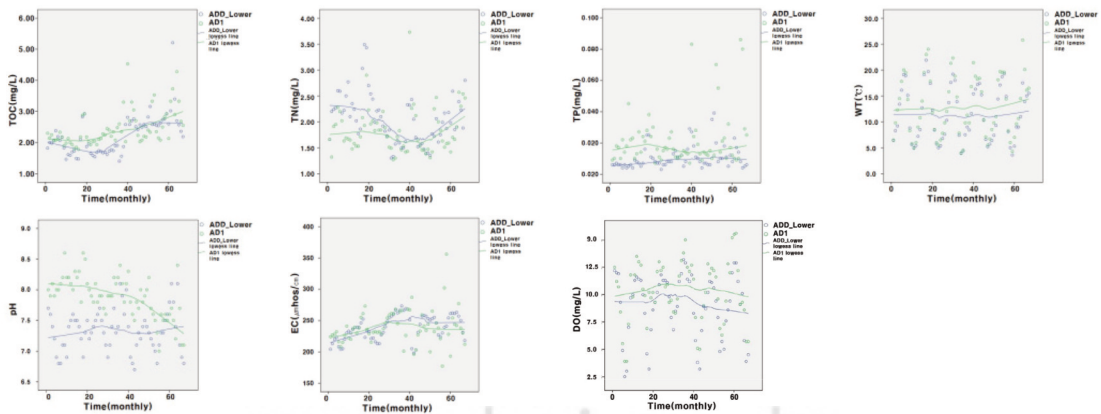
신암-상주2, 도개-산곡, 적포-창녕 지점에서 과반수이상의 항목이 일치하지 않는 추세를 보이는 것으로 분석되었는데 이는 하천의 지형, 채수 지점 및 채수 방법의 차이로 인해 발생하는 것으로 판단된다. 하천의 곡선부에 해당 지점들이 위치하고 있으며 수

질측정망은 수질공정시험기준에서 제시한 방법으로 시료를 채수하나 수질자동측정망의 경우 하천의 중앙 및 관측소와 가까운 좌·우안에 자동 채수시설을 설치하여 채수하고 있다. 따라서 강우, 유속 등 외부환경에 의해 하천수의 혼합여부에 따라 좌·중·우의 수질 차이 발생이 가능하고 이러한 영향을 받은 것으로 추정된다.

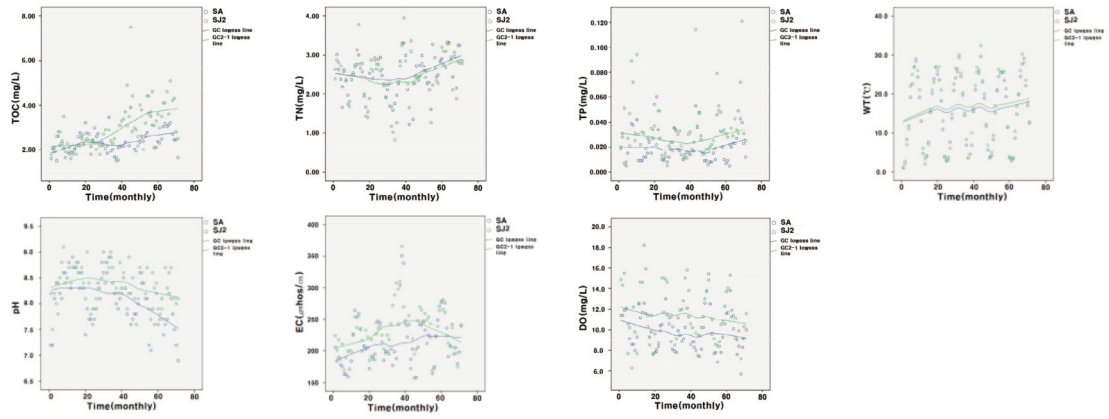
3. LOWESS 경향분석

Figure 3은 7개 측정망 지점에 대해 각 수질항목들에 대한 LOWESS 경향을 나타낸 것이다.

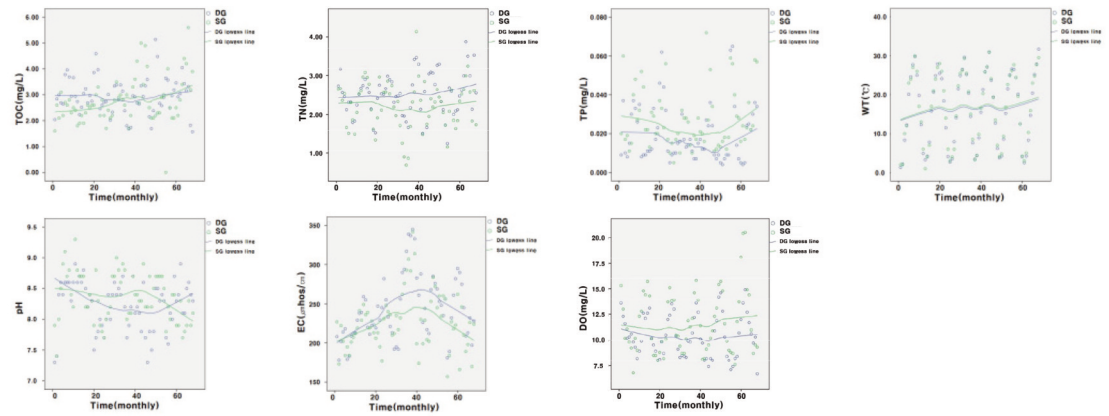
본 연구에서는 대부분의 항목에서 동일한 추세변화를 나타내고 특히 WT와 EC 항목의 수질측정망과 자동측정망의 수질추세 변화 일치율이 높게 나타났다. 상류인 안동댐하류와 안동1, 신암과 상주2 지점에서 TOC가 증가경향을 보였으며 중·하류에 해당하는 도개와 산곡, 고령(자동)과 고령, 적포와 창녕지점은 유지 또는 약간의 감소 경향을 나타냈다. 안동댐하류와 안동1 지점, 적포와 창녕 지점의 TOC 항목과 도개와 산곡 지점, 고령(자동)과 고령 지점의 pH 항목에서 서로 상반된 추세를 보이는 것으로 분석되었다. 이는 수질측정망에서 측정 당일 강우 등 외부환경 변화와 채수방법 및 위치의 차이 등으로 발생한 것으로 판단된다. 또한 수질측정망 수질이 자동측정망 수질보다 높게 분석되었으나 TN은 자동측정망 수질이 더 높게 나타나는 지점이 많았다. Kim et al. (2017)연구에 의



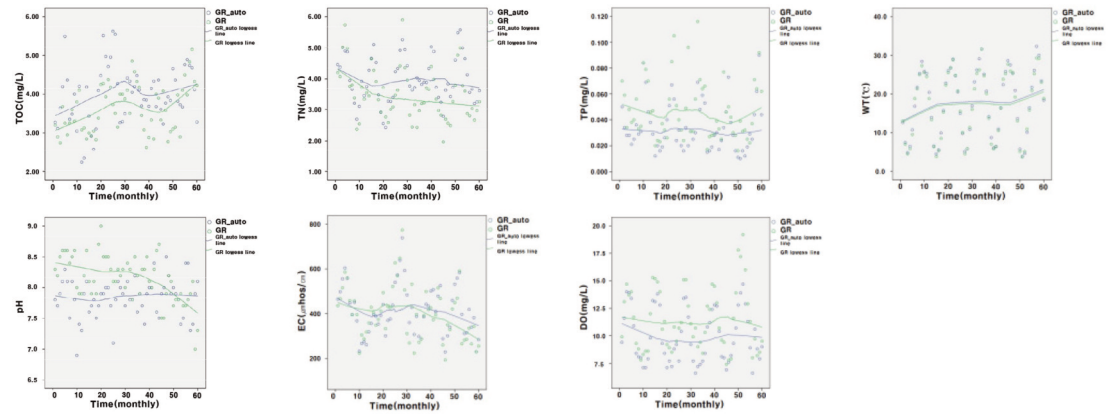
Andong Dam Lower Vs Andong 1
Figure 3. Results of LOWESS analysis by monthly water quality data.



Sinam Vs Sangju2

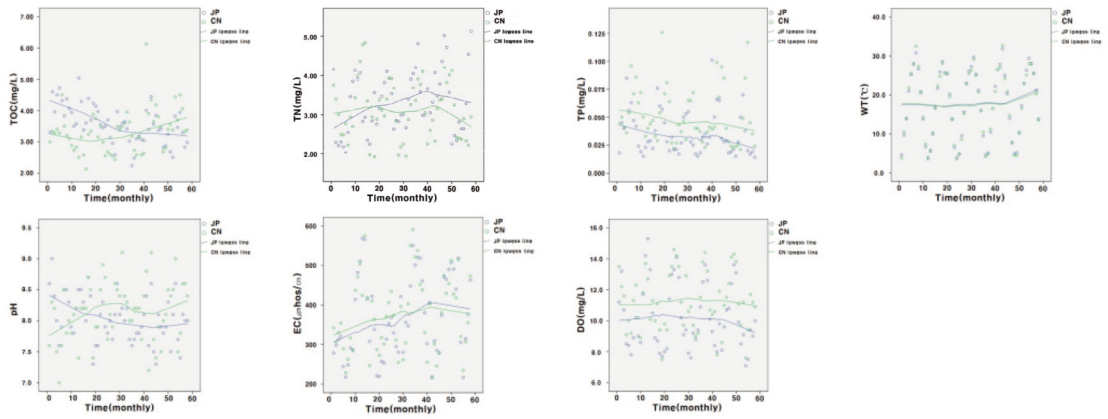


Dogae Vs Sangok

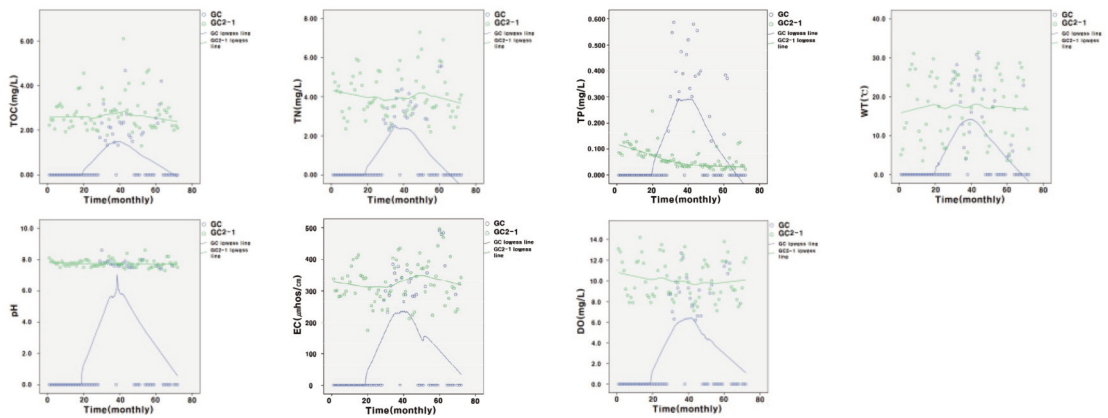


Goryeong-auto Vs Goryeong

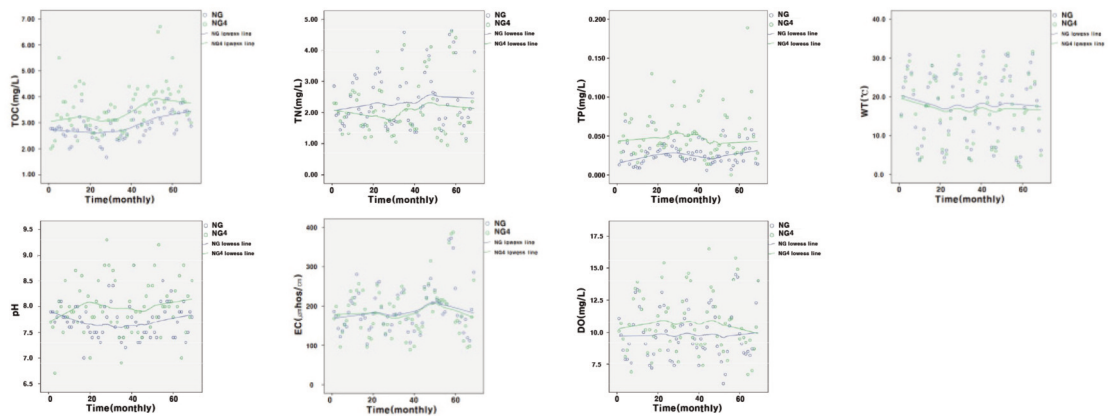
Figure 3. Continued.



Jukpo Vs Changnyeong



Gamcheon Vs Gamcheon2-1



Namgang Vs Namgang4

Figure 3. Continued.

하면 남강4-1지점 BOD와 COD의 LOWESS 분석결과 2007~2008년 증가하다가 2009년 완만히 유지하는 상태를 보이는 것으로 분석되었고 Jung et al. (2018)의 연구에 따르면 남강4-1에서 TP의 LOWESS 분석 결과 2009년까지 증가하다가 이후 감소추세를 보였고 2012년부터 급격한 감소경향을 보였다 (Figure 3). 그리고 감천과 감천2-1 지점에서는 자동측정망인 감천측정망의 수질자료가 수위변화로 인한 채수불가, 장비이상 등의 문제로 미측정자료가 많아 관측자료 부족으로 신뢰성있는 추세변화 분석결과를 도출하기가 어려웠다.

4. 상관관계 분석

기존 수질항목에 대한 상관관계 연구는 관측소에서 각 수질항목별 상관성을 분석하는 연구가 대다수

이다. 그 중 Chl-a와 다른 수질항목들의 상관관계를 분석하는 연구가 최근에 주로 이루어 졌으며 유량과 수질항목간의 상관관계를 구하여 제시하였다 (Park & Cha 2013; Cho & Kim 2018; Kang et al. 2019). 본 연구에서는 7개 지점에서 자동측정망 지점과 수질측정망 지점에서의 각 수질항목들 간의 상관관계를 분석하여 Table 3에 나타내었고 Park & Cha (2013)은 r의 절대값이 1.00이면 완전한 상관관계, 0.90이면 매우 높은 상관관계, 0.70~0.90이면 높은 상관관계, 0.50~0.70이면 보통의 상관관계, 0.20~0.50이면 약한 상관관계, 0.20 이하면 상관관계가 거의 없다고 제시하였다. 항목간 지점별로 상관계수 r을 분석해 보면 TOC에서는 6개 지점에서 0.27~0.66로 약하거나 보통의 상관관계를 보였고 1개의 지점에서 0.18로 상관관계가 없는 것으로 분석되었다.

Table 3. Result of correlation analysis at normal water quality station VS real-time water quality monitoring station

Item	Correlation	Item	Correlation		
ADD_Lower-AD1 TOC	0.585**	SA-SJ2 TOC	0.656**		
ADD_Lower-AD1 TN	0.492**	SA-SJ2 TN	0.834**		
ADD_Lower-AD1 TP	0.066	SA-SJ2 TP	0.641**		
ADD_Lower-AD1 WT	0.960**	SA-SJ2 WT	0.993**		
ADD_Lower-AD1 pH	0.260*	SA-SJ2 pH	0.656**		
ADD_Lower-AD1 EC	0.351**	SA-SJ2 EC	0.756**		
ADD_Lower-AD1 DO	0.894**	SA-SJ2 DO	0.789**		
Item	Correlation	Item	Correlation		
DG-SG TOC	0.179	GR_auto-GR TOC	0.356**		
DG-SG TN	0.785**	GR_auto-GR TN	0.802**		
DG-SG TP	0.649**	GR_auto-GR TP	0.761**		
DG-SG WT	0.993**	GR_auto-GR WT	0.995**		
DG-SG pH	0.558**	GR_auto-GR pH	0.064		
DG-SG EC	0.744**	GR_auto-GR EC	0.882**		
DG-SG DO	0.845**	GR_auto-GR DO	0.914**		
Item	Correlation	Item	Correlation	Item	Correlation
JP-CN TOC	0.281*	GC-GC2 TOC	0.268*	NG-NG4 TOC	0.526**
JP-CN TN	0.296*	GC-GC2 TN	-0.026	NG-NG4 TN	0.866**
JP-CN TP	0.189	GC-GC2 TP	0.191	NG-NG4 TP	0.681**
JP-CN WT	0.997**	GC-GC2 WT	0.334**	NG-NG4 WT	0.974**
JP-CN pH	0.519**	GC-GC2 pH	0.037	NG-NG4 pH	0.375**
JP-CN EC	0.914**	GC-GC2 EC	0.197	NG-NG4 EC	0.911**
JP-CN DO	0.831**	GC-GC2 DO	-0.043	NG-NG4 DO	0.788**

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed), ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

TN의 경우 6개 지점에서 0.30~0.87로 약하거나 높은 상관관계로 나타났으나 1개의 지점에서 -0.03으로 상관관계가 없는 것으로 분석되었다. TP는 1개 지점에서 0.76으로 높은 상관관계를, 3개 지점에서 0.64~0.68로 보통의 상관관계를, 3개 지점에서 0.07~0.19로 상관관계가 없는 것으로 분석되었다. WT는 모든 지점에서 0.96~0.99로 매우 높은 상관관계를 보였다. pH는 5개 지점에서 0.26~0.66으로 약하거나 보통의 상관관계를 보였고 2개 지점에서 0.04, 0.06으로 상관관계가 없는 것으로 분석되었다. EC는 5개 지점에서 0.75~0.91로 매우 높은 상관관계를 보였고 나머지 2개 지점에서 각각 0.35, 0.19로 약하거나 상관관계가 없는 것으로 분석되었다. DO는 6개 지점에서 0.79~0.91로 매우 높은 상관관계를 보였고 1개 지점에서 -0.04로 상관관계가 없는 것으로 분석되었다. 또한 지점별로는 신암-상주2가 0.64 (pH)~0.99(WT)로 가장 높은 상관관계를 가지는 것으로 나타났고 감천-감천2에서 -0.04(DO)~0.33 (WT)로 가장 약하거나 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 감천의 경우 자동측정기기의 오류 및 채수 불량 등으로 인한 다수의 결측자료로 낮은 상관관계를 보인 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 낙동강 수계의 자동측정망과 수질 측정망 위치가 동일한 7개 지점을 대상으로 2013년 1월부터 2018년 12월까지 약 6년간 지점 간 추세분석을 통해 장기 수질(TOC, TN, TP, WT, pH, EC, DO) 변화 양상을 비교하였다. 자동측정망과 수질측정망 동일 지점에서의 각 항목간 Mann-Kendall test 분석 결과 TOC 항목은 4개 지점, TN 항목은 2개 지점, TP 항목은 3개 지점, WT 항목은 7개 지점, pH 항목은 2개 지점, EC 항목은 5개 지점 그리고 DO 항목은 6개 지점에서 동일한 추세경향을 나타내는 것으로 분석되었다. 신암과 상주2 지점과 남강과 남강4 지점에서 대부분의 항목에서 동일한 경향을 보였다. TOC의 경우 적포-창녕 지점에서는 증가추세와 감소추세가

동시에 나타났다. 그리고 WT 항목과 DO 항목에서는 모든 지점이 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 특히, 신암-상주2, 도개-산곡, 적포-창녕 지점에서 과반수이상의 항목에서 동일하지 않는 추세를 보이는 것으로 분석되었다. 상·하류의 지형적 특성이나 측정방법에 따른 차이인지에 대한 여부는 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 LOWESS 경향분석 결과 TOC 항목과 pH 항목에서 수질측정망과 자동측정망 일부가 서로 다른 수질추세를 보이는 것으로 분석되었고 수질측정망 데이터가 자동측정망 데이터보다 다소 높게 나타나는 지점이 많았다. 동일한 위치라도 관측망에 따라 일치하지 않는 분석 결과를 나타내는 것은 관측망이 설치되어 있는 하천의 지형(직선 및 만곡의 여부 등), 시료채수의 위치 및 방법 등의 영향이 크게 작용한 것으로 판단된다. 그리고 항목간 지점별 수질 상관관계를 분석하기 위하여 r값을 산정한 결과 WT, DO, EC 항목에서 각각 7개, 6개, 5개 지점에서 매우 높은 상관관계를 가지는 것으로 나타났고 TOC와 pH는 각각 7개, 5개 지점에서 약하거나 보통의 상관관계를 보여 7개 항목 중 상관성이 떨어지는 것으로 분석되었다. 상·하류와 같은 지역적 특성에 따른 차이는 나타나지 않았으며 TOC, TN, TP 항목이 다른 항목에 비해 약하거나 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 이는 기기측정과 시험 분석 방법에 따른 차이로 판단된다. 현재 자동관측망의 설치 및 운영의 주요 목적은 하천에서의 수질오염사고를 사전 예방하기 위한 감시이다. 그러나 본 연구의 결과를 참고하여 수질자료의 신뢰성을 개선한다면 수질 측정망이 가지고 있는 한계(측정 주기, 연속성 부재, 수질오염 이벤트 반영 미흡 등)를 보완하여 수질 평가 및 수질관리에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

사사

본 논문은 환경부의 제원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2019-01-01-078).

References

- Chen Y & Han D. 2018. Water quality monitoring in smart city: A pilot project, *Journal of Automation in Construction*, Elsevier, 89: 307-316.
- Cho HK & Kim SM. 2018. Water quality correlation analysis between sewage treated water and the adjacent downstream water in Nakdong River basin, *Journal of Korean Society on Water Environment*, Korean Society on Water Environment, 34(2): 202-209. [Korean Literature]
- Cleveland WS & Devlin SJ. 1988. Locally weighted regression: An approach to regression analysis by local fitting, *Journal of the American Statistician Association*, American Statistician Association, 83: 596-610.
- Hassan SHA, Gurung A, Kang WC, Shin BS, Rahimnejad M, Jeon BH, Kim JR, Oh SE. 2019. Real-time monitoring of water quality of stream water using sulfur-oxidizing bacteria as bio-indicator, *Journal of Chemosphere*, Elsevier, 223: 58-63.
- Hirsch RM, Slack JR, Smith RA. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data, *Water Resources Research*, National Institute of Environmental Research, 18(1): 107-121.
- Hirsch RM & Slack JR. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence, *Water Resources Research*, National Institute of Environmental Research, 20(6): 727-732.
- Jacoby WG. 2000. Loess: a nonparametric, graphical tool for depicting relationships between variables, *Electoral Studies*, 19: 577-613.
- Jung KY, Lee IJ, Lee KL, Cheon SU, Hong JY, Ahn JM. 2016. Long-term trend analysis and exploratory data analysis of Geumho River based on seasonal Mann-Kendall test, *Journal of Environmental Science International*, Environmental Science International, 25(2): 217-229. [Korean Literature]
- Kang D, So YH, Park K, Kim I, Kim BW. 2019. Analysis of TOC efficiency and correlation between DO, BOD, COD and influence factors using long-term observation data in the main stream of Nakdong River, *Journal of Environmental Science International*, Environmental Science International, 28(5): 465-474. [Korean Literature]
- Kendall MG. 1975. Rank correlation methods, Charles Griffin, London
- Kim JH. 2001. Non-parametric trend analysis of stream quality in Nakdong River, Master's Thesis, Ewha Womans University, Seoul, Korea [Korean Literature]
- Kim JH & Park SS. 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*, Korea Society on Water Quality, 20(1): 63-71. [Korean Literature]
- Kim JT. 2014. Lowess and outlier analysis of biological oxygen demand on Nakdong main stream river, *Journal of Korean Data & Information Science Society*, Korean Data & Information Science Society, 25(1): 119-130. [Korean Literature]
- Kim MA, Lee S, Mun H, Cho HS, Lee JK, Kim K. 2017. A nonparametric trend tests using TMDL data in the Nakdong River, *Journal of Korean Society on Water Environment*, Korean Society on Water Environment, 33(1): 40-50. [Korean Literature]

- Lee CY & Ryu BS. 2013. Prediction of water quality at the inlet of Saemangeum bay by using non-point sources runoff simulation in the Mankyong River Watershed, Journal of the Korean Society of Water and Wastewater, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, 27(6): 761-770. [Korean Literature]
- Mann H. 1945. Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, The Econometric Society, 13(3): 245-259.
- Ministry of Environment (MOE). 2012. Development of Data Open System of Automatic Water Quality Monitoring Networks and the Study of Real-time Monitoring technique, 11-1480523-001376-01, Ministry of Environment, 7-30. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). 2018a. Water Quality Monitoring Program, 11-1480000-001481-14, Ministry of Environment, 3-15. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). 2018b. Water Environment Information System (WEIS), http://water.nier.go.kr/publicFront/waterInfo/measure02.jsp?menuIdx=2_4_2 (accessed Mar. 2018).
- Nam TK. 2012. Trend analysis of water qualities of the Daejeon 3 major streams based on Mann-Kendall Test, Master's Thesis, Hanbat University, Daejeon, Korea, [Korean Literature]
- Oh JS, Kim BS, Kim HS, Seoh BH. 2004. Trend detection of serially correlated hydrologic series, *Journal of Korean Wetlands Society*, Korean Wetlands Society, 6: 35-43. [Korean Literature]
- Park JH. 2012. A study on evaluating uncertainty values of the fundamental measurements in Nakdong River National Water Quality Auto-measurement System, Master's Thesis, Kyungpook National University, Daegu, Korea, 1-6. [Korean Literature]
- Park H & Cha E. 2013. A study on the influence of water quality on the upper stream of Hap-Chun lake, *Journal of Korea Society Environment Engineering*, Korea Society Environment Engineering, 35(2): 94-100. [Korean Literature]
- Tew KS, Leu MY, Wang JT, Chang CM, Chen CC, Meng PJ. 2014. A continuous, real-time water quality monitoring system for the coral reef ecosystems of Nanwan Bay, Southern Taiwan, *Journal of Marine Pollution Bulletin*, Elsevier, 85, 641-647.
- Water Environment Information System. Available online: <http://water.nier.go.kr/waterData> (accessed on 8 April 2019)
- Yun JH, Hwang S, Kim DH, Kim SM. 2015. Trend analysis of monthly water quality data in Nakdong River based on seasonal Mann-Kendall Test, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Korean Society of Agricultural Engineers, 57(6): 153-162. [Korean Literature]