

ORIGINAL ARTICLE

낙동강 남강 합류부 수위와 수질 패턴 및 추세

양득석 · 임태효 · 이인정 · 정강영 · 김경훈 · 권현각 · 유제철¹⁾ · 안정민*

국립환경과학원 낙동강물환경연구소, ¹⁾금오공과대학교 환경공학과

Patterns and Trends of Water Level and Water Quality at the Namgang Junction in the Nakdong River Based on Hourly Measurement Time Series Data

Deuk Seok Yang, Teo Hyo Im, In Jung Lee, Kang Young Jung, Gyeong Hoon Kim, Heon Gak Kwon, Je-Chul Yoo¹⁾, Jung Min Ahn*

National Institute of Environmental Research, Nakdong River Environment Research Center, Goryeong 40438, Korea

¹⁾Department of Environment Engineering, Kumoh National of Technology, Gumi 39177, Korea

Abstract

As part of the Four Major Rivers Restoration Project, multifunctional weirs have been constructed in the rivers and operated for river-level management. As the weirs play a role in draining water from tributaries, the aim of this study was to determine the influence of the weirs on the water level of the Nam River, which is one of the Nakdong River's tributaries. Self-organizing maps (SOMs) and a locally weighted scatterplot smoothing (LOWESS) technique were applied to analyze the patterns and trends of water level and quality of the Nakdong River, considering the operation of the Changnyeong-Haman weir, which is located where the Nam River flows into the Nakdong River. The software program HEC-RAS was used to find the boundary points where the water is well drained. Per the study results at the monitoring points ranging between the junction of the two rivers and 17.5 km upstream toward the Nam River, the multifunctional weir influenced the water level at the Geoyrong and Daesan observation stations on the Nam River and the water quality based on automatic monitoring at the Chilseo station on the Nakdong River was affected strongly by the Nakdong River and partly by the Nam River.

Key words : Water Level, Water Quality, LOWESS, Self-organizing maps, HEC-RAS

1. 서론

4대강살리기사업을 통해 낙동강 본류에는 다기능

보가 건설되었고, 건설된 다기능보는 관리수위로 운영되고 있다. 다기능보는 관리수위로 운영되고 있기 때문에 본류의 수위가 상승하게 되었고, 이로 인해

Received 16 November, 2017; Revised 2 February, 2018;

Accepted 5 February, 2018

*Corresponding author: Jung Min Ahn, National Institute of Environmental Research, Nakdong River Environment Research Center, Goryeong 40438, Korea
Phone: +82-54-950-9780
E-mail: ahnjm80@gmail.com

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지류에서는 배수위 영향이 나타나고 있다. 낙동강 본류의 수위 변화가 지류에 영향을 미치게 되고, 기존에 설치되어 있는 수위 및 자동수질측정망 지점의 대표성에 문제를 야기 시키고 있다. 수위관측소는 하천의 수위를 관측하는 곳으로 하천 개수 계획의 수립, 검토, 공사시공 및 유지, 관리상의 중요한 지점에 설치되어 있고, 특히 홍수기시 큰 빈도유량이 발생하였을 때, 실시간으로 수위를 관측함으로써, 풍수해에 대비하기 위한 용도로 활용되고 있다. 수질자동관측소는 수질예보제 운영 지원 등 일반측정망의 보완적 기능을 담당하고 있으며, 특히 수질오염사고 시 신속한 대응조치를 위한 수질감시경보 체계로 운영되고 있다. 최근 물관리 일원화에 대한 논쟁이 지속되고 있으며, 이에 일환으로 본 연구에서는 기존에 설치되어 있는 실시간 수리·수질 관측망에 대한 대표성을 검증하고자 한다.

본류에 위치해 있는 다기능보의 관리수위 운영과 이에 따른 수위상승은 본류 및 지류에 위치해 있는 기존 관측소들에 영향을 미칠 수 있기 때문에 본 연구에서는 경향분석과 패턴분석을 통해 배수위에 따른 영향을 분석하였다. 경향을 분석하는 기법 중 많은 연구자들이 이용하고 있는 기법은 Seasonal Mann-Kendall 기법이다. 그러나 이 방법은 선형 경향을 기본 가정으로 하고 있기 때문에 연구 대상 기간 동안 경향성이 변할 경우에는 이를 적절히 반영할 수 없다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 특정회귀모형을 가정하지 않고 이동 직선에 대한 데이터 점들을 통해 회귀모형을 적합 시키는 방법으로 기간 내 변화하는 경향성을 파악할 수 있는 LOWESS (LOcally WEighted Scatter polt Smoother) 경향 분석이 사용되고 있다(Hirsch et al., 1982; Cleveland and Devlin, 1988; Clow and Mast, 1999; Paul and Linfield, 2002). Seasonal Mann-Kendall 검정법은 일반적으로 모수적 경향 분석에 사용되는 선형회귀분석과는 달리 계절에 따른 변화를 고려할 수 있으며 정규분포를 띠지 않는 자료에 대해서도 불확실성이 적어 경향성을 분석할 수 있는 장점이 있다.

이와 관련한 국내 연구로는 Kim et al.(2014)이 금강수계 총량관리 단위유역의 수질변화를 분석하고자 Seasonal Mann-Kendall 검정법과 LOWESS (LOcally

Weighted Scatter plot Smoother) 분석법을 적용하였으며, Jung et al.(2016)도 금호강 본류에서 BOD의 장기 경향 분석을 위해 같은 방법을 연구에 활용하였다. 국외에서는 Rodriguez-Murillo and Filella(2015)가 스위스 호수에서의 유기 탄소 농도의 시간적 변화를 분석하기 위하여 LOWESS 분석법을 활용하였으며, Haiming et al.(2015)는 미국 펜실베이니아의 기후 및 수문학의 장기 추세연구에서 LOWESS 분석법을 적용하는 등 지금까지 세계 여러 연구자들에 의해 많은 분야에서 적용되었다. Kim et al.(2010)은 패턴분류를 위한 위락시설지역의 비점오염원 유출특성분석을 수행하기 위해 SOM (Self-Organizing Maps) 이론을 도입하여, 측정된 유출량 및 수질자료에 대한 패턴분류를 수행하여 분할구역별 자료의 특성분석을 통해 초기장우 특성이 구분되어 짐을 확인하였다. Paik et al.(2011)은 연안으로 유입되는 하천의 유량과 수질의 관계를 분석하기 위해 SOM을 이용한 하천 유량과 수질의 패턴분석에 관한 연구를 진행한 바 있다. Kim et al.(2012)는 금강수계에 있는 6개 호소 수질의 장기변동 추세를 분석하였다. Wu et al.(2011)은 Sanya Bay를 대상으로 SOM을 적용하여 연안의 수질에 대한 공간적 패턴에 대해 분석하여 인간 활동에 의해 야기되는 영향에 대해 연구하였다.

본 연구에서는 창녕함안보 상류에 위치해 있는 낙동강 본류와 남강을 대상으로 SOM 기법과 LOWESS 기법을 이용하여 수위 및 수질에 대한 패턴 및 추세를 분석하고, 시간적 환경인자들의 영향에 대하여 분석하고자 하였다. 또한, 1차원 수리모형인 HEC-RAS를 이용하여 최대배수영향 경계지점을 분석하여 본류 수위가 지류 수위에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. 대상유역

낙동강은 태백산 황지에서 발원하여 남해에 이르기까지 영남지역의 대부분과 강원도와 전라북도의 일부를 포함하여 유역면적 23,817 km², 유로연장 525 km로 우리나라 국토의 약 24%를 차지하는 제 2의 하천이다. 또한 유역 내 안동, 구미, 대구, 부산 등 우리나라 주요 도시를 비롯하여 각종 산업이 발달해 있으며,

유역에 생활하고 있는 1,300 여만 명의 식수원인 각종 생·공업용수(21.6%), 농업용수(51.0%) 및 하천유지용수(27.4%) 등으로 활용되고 있다. 취·정수장 현황으로는 18개의 취수장과 21개의 정수장이 있으며 이중 고도정수처리 시설 13개, 일반정수처리 4개, 강변여과시설 4개로 구성된다.

하천 수질을 효율적으로 관리하기 위해서는 수위·수질인자들이 장기간에 걸쳐 시간에 따라 어떻게 변화하였는가를 이해하는 것이 필요하다. 낙동강수계

를 대상으로 운영하고 있는 수위관측소는 118개, 자동수질측정망은 24개 지점이 있다. 본 연구대상유역에 위치해 있는 수위·수질 관측소 현황은 Fig. 1과 Table 1과 같다.

2.2. 연구방법

관측된 수위·수질 자료는 계절별로 심한 변이가 존재하기에 적절한 통계 기법을 적용하여 분석하는 것이 매우 중요하다. 일반적으로 대부분의 월별 수위·수질자료는 계절의 변화에 따른 주기성을 가지고 변화하기 때문에 주기성을 포함하는 추이가 있는지를 분석해야한다. 패턴 분석은 SOM 기법, 추세는 LOWESS 기법을 이용하였고, 최대 배수경계 영향지점 분석은 HEC-RAS모형을 이용하였다.

2.2.1. SOM (Self-Organizing Maps)

1984년 핀란드의 전기공학자 T. Kohonen에 의해 개발된 자기조직화 지도(Self-organizing maps)는 비지도 학습(Unsupervised Learning) 신경망 모델의 한 종류이다. 인공뉴런에 기초를 둔 SOM 기법은 비선형적인 관계 분석, 수학적 지식이 없는 관계, 쉽고 빠른 자료의 업데이트, 다중변수에 대한 통합 등의 장점을 가지고 있다(Hong et al., 2001). 이러한 장점 때문에 SOM 기법은 광범위한 자료의 처리와 불규칙한 자료

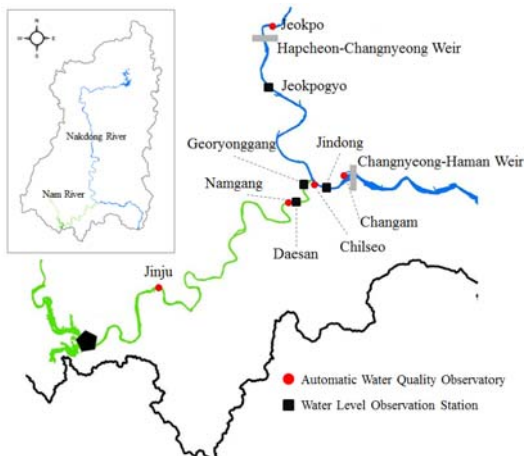


Fig. 1. Study area.

Table 1. Status of water level observation station and automatic water quality observatory

Group	Station	M/T	Measurement period	Materials
Automatic water quality observatory	Jeokpo	Main	Feb. 2013~	Water temperature, conductivity, DO, pH, TOC, biological monitoring, VOCs, TN,TP, Chl-a, turbidity
	Chilseo	Main	Apr. 2013~	Water temperature, conductivity, DO, pH, TOC, Biological monitoring, VOCs, Chl-a
	Cheongam	Main	Feb. 2013~	Water temperature, conductivity, DO, pH, TOC, biological monitoring, VOCs, TN,TP, Chl-a, Turbidity
	Namgang	Tribu.	Apr. 2013~	Water temperature, conductivity, DO, pH, TOC, TN,TP, Chl-a
	Jinju	Tribu.	Nov. 2012~	Water temperature, conductivity, DO, pH, TOC, biological monitoring, VOCs, Chl-a
Water level observation station	Jeokpogyo	Main	Jun. 1980~	Hourly/daily observation water (water resources management information system, www.wamis.go.kr, Nakdong River flood control office)
	Jindong	Main	Aug. 1921~	
	Georyonggang	Tribu.	Jul. 1917~	
	Daesan	Tribu.	Jan. 2015~	
	Jeongam	Tribu.	Aug. 1922~	

처리, 다중변수파라미터의 정보 해석, 인자간의 반응성 규명, 시각적인 이미지 효과 등의 이유로 다양한 분야에서 이용되고 있다(Lu et al., 2002).

SOM 기법은 구조적으로 2개의 층(입력 : 자료를 입력받는 곳, 출력: 계산된 자료결과를 보여주는 곳)으로 구성되며, 각 층은 뉴런 (node)이라는 계산단위체로 구성된다. 입력층(본 연구에서는 수질자료)과 출력층(결과를 제시하는 곳)은 연결강도(weight, 가중치)라는 계산 값으로 연결된다. 이 연결강도는 모든 주어진 자료에 대하여 반복적인 계산과정을 거쳐 조절되게 되는데 이 과정을 학습과정이라 한다. 따라서, 학습과정은 주어진 자료를 SOM에 반복 입력하여 입력 층과 출력 층 사이의 연결강도가 입력 자료의 정보 특성을 반영하도록 하는 과정이다.

SOM은 원하는 출력 값이 주어지지 않더라도 데이터 상호간의 처리과정을 통해 자동적으로 Cluster를 구별 짓는 특징이 있다. 데이터 사이의 상호관계는 유클리디안 거리로부터 결정된다(Som Toolbox Team, 2000). 이러한 특징은 원하는 출력 값을 설정해주는 지도학습과는 완전히 다른 차원의 신경망을 구성한다. 이러한 측면에서 SOM은 더욱 인간의 두뇌 학습 방법과 더 비슷하고 가장 지능이 높다고 할 수 있다.

SOM은 기본적으로 세 가지의 뉴런시스템 모델을 근간으로 이루어져 있다(Kohonen, 2002). SOM은 계산단위체인 노드(또는 뉴런)로 구성된 입력 층과 출력 층의 두 층으로 구성되어 있으며, 입력된 자료를 받아 반복된 계산과정을 거쳐 입력 자료를 최적화하고 자료의 차이성에 기인하여 분류하는 학습의 과정을 거치게 된다. 학습은 사전에 조사된 자료를 대상 인공신경망에 반복 입력하여 입력 층과 출력 층 사이의 연결 계수(conductivity weight)가 입력 자료의 정보 특성을 반영할 수 있도록 하는 것으로 최적으로 효율적인 시각화를 위한 이차원격자에 N개의 출력 뉴런으로 나타나게 된다. 출력 층은 가로와 세로 방향에 대한 최적의 배열을 위해 육각형의 격자를 사용하였다(Kohonen, 2002). 선택된 출력 뉴런의 수 결정은 규정화된 원칙은 없으나 이 연구에서는 40개의 격자(N=8×5)를 사용하였다. SOM 분석은 Matlab 환경에서 이루어졌으며, SOM toolbox (<http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox>)에서 제공하는 함수와 인자들

을 이용하였다.

2.2.2. LOWESS

(LOcally Weighted Scatter plot Smoother)

비모수적 평활 (Smoothing) 방법은 연구기간 중 추세 변동이 존재할 경우 회귀선의 형태를 직선으로 한정시키지 않고 자료의 적절한 경향을 반영 할 수 있는 방법으로서 단조 증감만을 나타내는 선형추세에 대한 단점을 보완할 수 있다. LOWESS는 전 구간이 아닌 x 에 대한 일정한 수직 구간 (Span 또는 Window)을 정해 거리 및 영향력을 조절한 후 각 값에 대해 이동 직선 (Moving line)을 구하고 이로부터 y 의 평활점 (Smoother)을 얻은 후 이 평활점들을 직선으로 연결한 것이다. 이는 1차 또는 2차 회귀모형에 대한 가정 없이 자료들을 회귀모형에 맞춤으로 유용한 경향 분석법이다. 이동선(x_i, y_i)를 계산하는 방법으로 $x = x_i$ 중심으로 $n \times f$ 에 가장 가까운 정수만큼의 데이터를 포함하도록 수직띠 (window)의 폭을 결정한다(Kim, 2014). 가중 값 함수는 $x = x_i$ 에 대하여 대칭이며 중앙에서 멀어질수록 매끄러운 형태로 감소한다.

$$T(u) = (1 - |u|/3)^3, |u| < 1 = 0, |u| \geq 1 \quad (1)$$

따라서, x_i 로부터 수직띠 까지의 최대거리를 d_i 라 하면 (x_k, y_k)의 가중 값 w_k 는 다음과 같이 계산된다.

$$w_k = T(x_k - x_i / d) \quad (2)$$

LOWESS를 분석하기 위한 R의 함수는 lowess ($y \sim x, f$)와 같은 형식인데 여기서 f 는 자료크기 대비 평활기 너비(smoother span)의 비율이다. 이때 $x_i = x$ 이며 평활상수인 f 는 $0 < f < 1$ 의 범위를 가지며 기본 값은 $1/3 \sim 2/3$ 이며 f 가 크면 x 에 대한 구간의 크기가 커지며 더 많은 수의 데이터가 \hat{y}_i 의 추정치에 영향을 준다. 더불어 적절한 f 의 선택은 주관적 일 수 있다(Helsel and Hirsch, 2002). 따라서 관측 자료의 적합정도를 세밀하게 관찰하여 적절한 f 값을 찾아야 한다. 보통 f 는 평활상수로서 $1/3 < f < 2/3$ 이 추천되는데 디폴트값은 $2/3$ 이다. 평활기 너비 f 를 크게 하면 회귀함수가 직선에 가까운 밋밋한 곡선이 되고(과소

Table 2. Roughness

River	River station	n#1	n#2	n#3
Nakdong	249-203	0.023	0.02	0.023
	202-174	0.023	0.023	0.023
Nam	53.459-53.236	0.025	0.025	0.025
	53-0	0.023	0.023	0.023

적합, under-fitting), 반대로 f 를 작게 하면 회귀함수의 흰 정도가 큰 곡선이 된다(과다적합, over-fitting). 따라서 본 연구에서 사용된 평활 폭 f 값은 1/2로 주어 실행하였다(Cleveland and Devlin, 1988; Rodriguez-Murillo and Filella, 2015).

2.2.3. 1차원 수리모델링

James and Burges(1982), Kibler(1982), Huber (1985; 1986) 그리고 Li et al.(1989)은 수치모의를 수행하기 위해 지켜야 할 원칙으로, 목적을 명확히 하고 가장 간단한 모형을 선별하여 관심 있는 항목만 적절한 시간규모 이상으로 예측하라고 한 바 있다. 수치모의를 위한 매개변수는 낙동강(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2009)과 남강(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2008) 하천정비기본계획에 제시되어 있는 조도계수를 적용하였다. Table 2와 같이 조도계수의 신뢰성을 확인하기 위해 부정류흐름해석을 수행할 수 있는 HEC-RAS 모형을 이용하여 부정류 흐름해석을 수행하였다.

하천흐름을 부정류로 해석할 경우와 정상류로 해석할 경우, 수치모의 결과에 큰 차이가 발생한다. 정상

류의 경우 시간에 따른 흐름 변화를 고려하지 않았기 때문에 흐름전이가 반영되지 않아, 부정류에 비해 상대적으로 침투 유량에서 큰 값을 도출한다. 따라서, 하천제방설계의 안전 측에서 본다면 문제가 없지만, 설계비용 및 하천의 효율적 운영측면에서는 문제점이 발생할 수 있다. Woo(2002)와 ASCE(1996)에서는 하천 수위가 시간에 대해 급격하게 변화하거나, 하상 경사가 매우 완만하여 배수위 효과가 강하게 나타날 경우 하천 내 흐름을 부정류로 해석할 것을 권고한 바 있다.

하천단면은 낙동강 및 남강 하천기본계획(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2008; Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2009)에 제시되어 있는 지형단면을 적용하였다. 1차원 하도 추적 시, 시계열 강우, 수위, 유량과 같은 상류경계조건은 수리모형의 안정화를 위해 time step은 1분, 상류에서 유입되는 최소유량을 낙동강의 경우 남강 합류전 구간은 133.28 m³/sec, 남강합류 후 구간은 150 m³/sec, 남강은 57.82 m³/sec로 적용하였으며, 최소유량 이하의 유량은 최소유량으로 대체하였다. 모의기간은

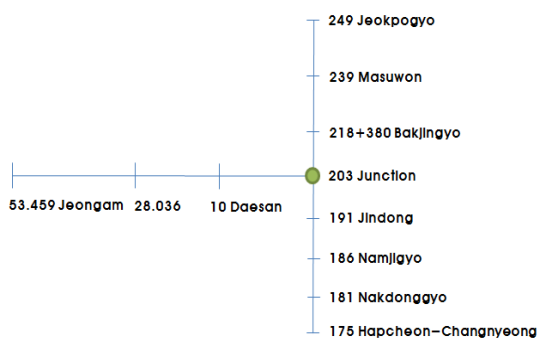


Fig. 2. HEC-RAS schematic.

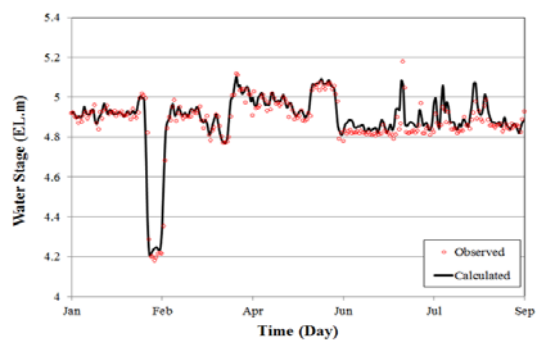


Fig. 3. Results of water level on the Daesan station calculated by the HEC-RAS model.

Table 3. Comparison result of observed and analyzed water level

Performance rating	Model efficiency interpretation	N_t^a	NSEC
Very good	SD > 3.2 RMSE	> 2.2	> 0.90
Good	SD = 2.2 RMSE - 3.2 RMSE	1.2 - 2.2	0.80 - 0.90
Acceptable	SD = 1.2 RMSE - 2.2 RMSE	0.7 - 1.2	0.65 - 0.80
Unsatisfactory	SD < 1.7 RMSE	> 0.7	< 0.65

2017년 1월 1일부터 2017년 10월 31일이며, 수치모의 결과는 Fig. 3과 같다. Ritter and Munoz(2013)은 식(3)~(6)을 이용하여 모형의 정확도를 평가할 수 있는 방법을 제시하였다. HEC-RAS로 모의된 결과와 관측 값과의 비교 분석을 위하여 식(3)~(6)을 이용하여 계산한 결과, RMSE는 0.1, NSEC는 0.8, SD는 0.14, N_t 는 1.43으로 계산되었다. 따라서, Ritter and Munoz(2013)가 제시한 Table 3의 “Performance Rating”에서 “Good”에 해당되어 모형의 매개변수 보정은 신뢰할 수준인 것으로 판단된다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{model,i} - X_{obs,i})^2}{n}} \quad (3)$$

$$NSEC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{model,i} - X_{obs,i})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs})^2} \quad (4)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs})^2}{n}} \quad (5)$$

$$N_t = \frac{SD}{RMSE} - 1 \quad (6)$$

3. 결과 및 고찰

Fig. 4~7과 같이 모니터링 결과를 바탕으로 SOM을 이용한 월별 관측 수위와 수질의 패턴 분석과 LOWESS을 이용한 수위와 수질의 추세 분석을 수행하였다. 수위자료는 국토교통부에서 운영하고 있는 낙동강홍수통제소의 국가수위관측소 자료를 이용하였고, 수질자료는 환경부에서 운영하고 있는 국가수질자동측정망의 전기전도도 관측 자료를 활용하였다.

전기전도도는 물질에서 전류가 잘 흐르는 정도를 나타내는 물리량으로, 비저항의 역수다. 전도율과 유사한 값이나, 크기 변수인 전도율과 달리 세기 변수이다. 즉, 물체의 크기나 모양에 관계없는, 물질 고유의 성질이다. 전기전도도의 경우, 빗물은 10~20 uS/cm, 수돗물은 100 uS/cm, 바닷물은 50,000 uS/cm 범위의 값을 가진다. 특정 매질의 고유성을 판단하는 근거로는 안정동위원소 분석 등 다양한 기법이 있을 수 있지만, 본 연구에서는 하천의 고유성을 판단하는 매질로 수질측정망에서 운영 중인 전기전도도를 활용하였다. 전기전도도는 손쉽게 측정할 수 있는 수질측정 항목이기 때문에, 연구의 확장성을 고려했을 때 가장 적합하다고 판단하였다.

관측된 월별 전기전도도 자료를 관측소별로 시계열로 정리하고, SOM에서 data loading이 가능한 형태의 파일로 변환한 후 SOM을 구동하였다. 학습율 감소인자는 0.2로 최종 학습률은 0.18, 학습회수는 1,000회이다. 선택된 자료의 정규화 과정을 거친 후 SOM 훈련을 위해 지도크기를 결정하는데 기존의 연구에서는 지도를 구성하는 단위구조의 총 수(M)의 결정은 Garcia et al.(2003)에 의해 연구 보고된 식인 $M = 5\sqrt{N}$ 식을 이용하였다. 여기서 M은 지도를 구성하는 단위구조(unit)의 총 수이며, N은 훈련 자료의 수이다. SOM 패턴분석을 통해 도출된 SOFM(Self Organizing Feature Maps)는 Fig. 4와 Fig. 5와 같다. Fig. 4와 Fig. 5에서 빨강색은 수위 및 농도가 높은 값을, 파란색은 수위 및 농도가 작은 값을 나타낸다. 그림의 Labels의 숫자는 각 월을 나타낸다. 수위를 해석하는 방법에 대해 예를 들어 설명하면 Fig. 4의 Labels에서 좌측하단에 7, 8, 9월이 위치해 있고, 수위는 7, 8, 9월에서 가장 높은 값을 나타냈다. 일반적으로 우리나라는 여름철에 강우가 집중되어 있기 때문에, 7~9월이

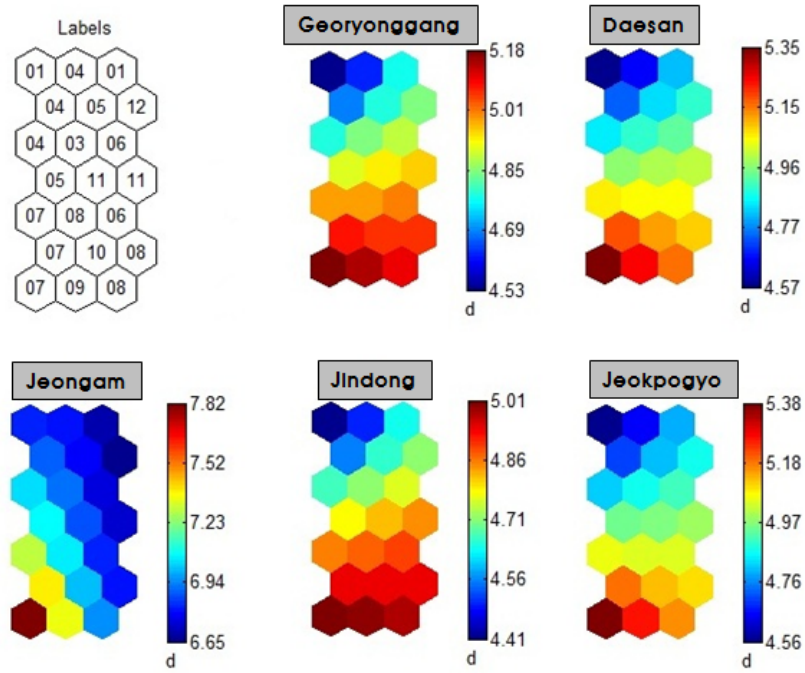


Fig. 4. Results of monthly pattern analysis for water level observation station using SOM.

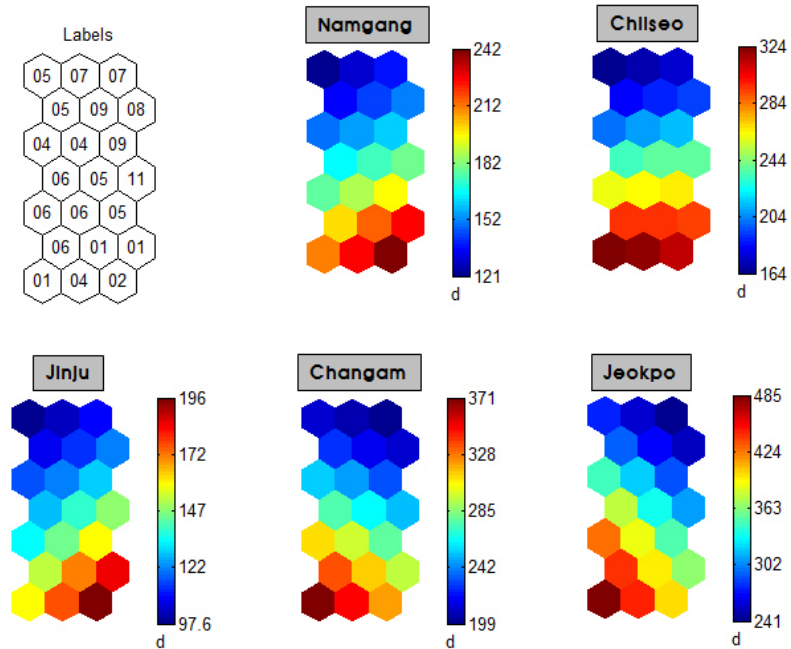


Fig. 5. Results of monthly pattern analysis for automatic water quality observatory using SOM.

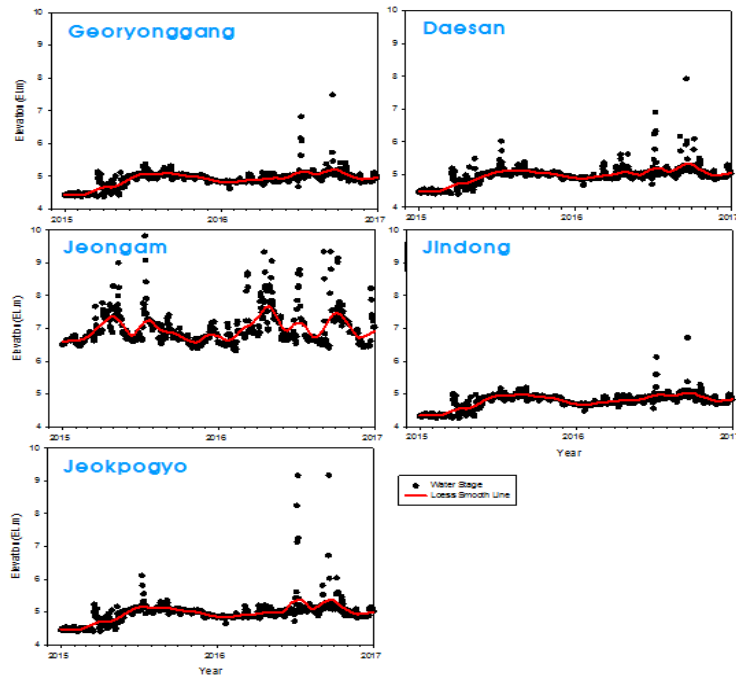


Fig. 6. Results of trend analysis for water level observation station using LOWESS.

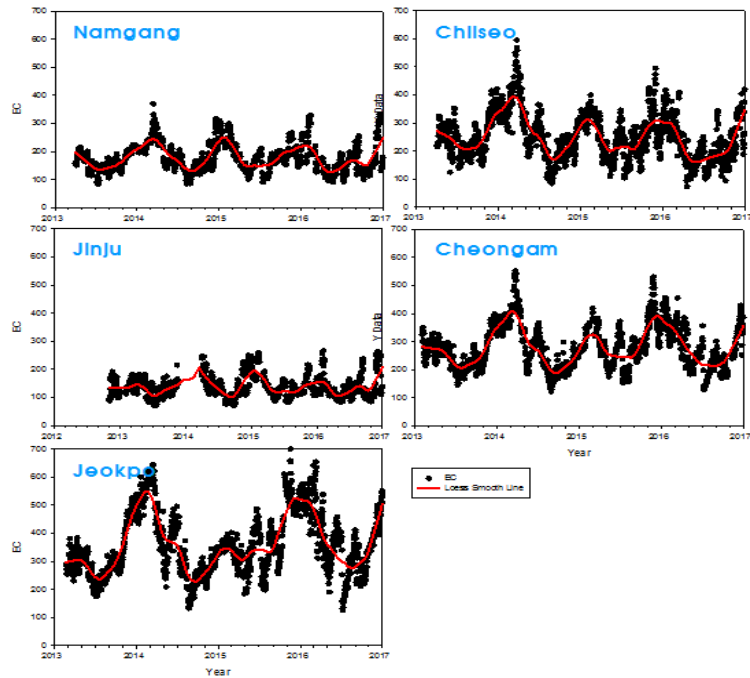


Fig. 7. Results of trend analysis for automatic water quality observatory using LOWESS.

홍수기이며 큰 수위가 발생하는 것을 감안했을 때 분석이 제대로 이루어진 것을 알 수 있다.

낙동강 본류의 진동과 적포교, 남강의 거룡강, 대산, 정암 수위표에서 관측된 2015년부터 2016년 2년간 수위자료를 이용하여, Fig. 4와 Fig. 6에 제시된 바와 같이, SOM과 LOWESS 기법으로 패턴과 추세를 분석하였다. SOM과 LOWESS 분석 결과, 낙동강 본류의 진동과 적포교, 남강의 거룡강과 대산은 동일한 패턴과 추세를 나타냈다. 수위의 범위도, SOM 분석에서 진동은 최소 EL. 4.41 m, 최대 EL. 5.01 m 범위, 적포교는 최소 EL. 4.56 m, 최대 EL. 5.38 m 범위, 거룡강은 최소 EL. 4.53 m, 최대 EL. 5.18 m 범위, 대산은 최소 EL. 4.57 m, 최대 EL. 5.35 m 범위로 큰 차이가 발생하지 않았다. Fig. 6에 도시된 바와 같이 거룡강과 대산 수위 관측지점은 낙동강 본류에서 관측된 진동과 적포교 수위와 같은 추세가 나타나는 것을 알 수 있으며, 이는 남강의 수위가 배수위 영향을 받는 것을 알 수 있다. 거룡강과 대산 수위관측소는 두 지점의 수위 관측 목적에 따라 존치하거나, 수위관측이나 유량측정에 문제가 있다면 상류로 지점 변경을 하거나, 남강으로 유입되는 지류로 이전이 필요할 수 있을 것으로 판단된다.

낙동강과 남강이 합류하는 지점 인근에 위치해 있는 자동측정망의 전기전도도 관측데이터를 이용하여 Fig. 5와 Fig. 7과 같이 SOM 및 LOWESS 기법으로 패턴과 추세를 분석하였다. 자동측정망은 낙동강 본류의 적포, 칠서, 청암 관측소, 남강의 진주, 남강 측정소 지점 자료를 2014년 4월 1일부터 2016년 12월 31일까지 일평균 자료를 이용하였다. SOM을 이용한 패턴 분석결과, 전기전도도 분석 범위가 남강 측정소는 121~242 uS/cm, 칠서 측정소는 164~324 uS/cm, 진주 측정소는 97.6~196 uS/cm, 청암측정소는 199~371 uS/cm, 적포 측정소는 241~485 uS/cm로 나타났다. 전기전도도 최대 값은, 적포 측정소에서 485 uS/cm, 남강 측정소 242 uS/cm로 나타났다. 수체가 혼합되어 칠서 측정소에서 324 uS/cm로 낮아졌다. 남강에서 운영 중인 남강과 진주측정소의 패턴 분석결과, 오른쪽 아래(1~2월)가 붉고 왼쪽 위(5~7월)가 파란 패턴을 나타냈다. 반면 낙동강 본류에 위치해 있는 청암과 적포 측정소는 왼쪽 아래(1월, 4월, 6월)가

붉게 나타났으며, 오른쪽 위(7~8월)가 파랗게 나타났다. 칠서 측정소의 경우, 낙동강과 남강의 주요 패턴이 함께 나타났다. 추세의 경우에는 Fig. 7과 같이 정성적인 분석의 결과로서, 칠서와 청암 측정소는 분포와 거동은 유사하였지만 최고치와 최저치는 남강의 수체 혼합 영향을 받아 대체적으로 값의 크기가 작아지는 형태로 나타났다.

종합적인 분석결과, 남강과 진주 측정소는 서로 같은 패턴을, 적포와 청암 측정소는 서로 같은 패턴을, 칠서 측정소의 경우 낙동강과 남강이 혼합되는 패턴을 나타낸 것을 알 수 있다. 칠서 자동측정망의 경우, 본류의 수질오염사고 시 신속한 대응조치를 위한 수질감시경보 체계 운영의 목적으로 설치 운영되고 있다. 하지만 칠서 자동측정망 지점에서 낙동강 본류와 남강의 수체가 혼합되는 것으로 패턴이 나타났기 때문에, 남강의 영향을 받는 것으로 확인되었다. 적포 측정소와 칠서 측정소 사이는 31 km 구간으로 두 측정소 사이에 자동 측정소가 없기 때문에, 칠서 측정소를 이전하거나 두 측정소 사이에 새로운 측정소를 추가하는 것을 제안한다.

Fig. 8과 Fig. 9는 HEC-RAS 모형을 이용한 최대 배수영향 경계지점을 분석한 결과이다. 낙동강과 남강의 하상지형, 2017년 1월부터 10월까지 유량 그리고 수위 등 수리 데이터를 적용하여 배수영향을 분석하였다. 남강하천정비기본계획 상의 단면 번호 No.23번까지 배수 영향이 강하게 나타났고, No.24번부터 영향이 다소 작아졌다. 백곡교가 위치해 있는 No.28.036 단면에서 배수위 영향이 미미하게 나타났고 No.34번 단면부터 배수영향이 나타나지 않았다. 이 결과를 토대로 낙동강 본류가 지류에 미치는 최대 배수영향 경계지점을 나타내면 Fig. 9와 같이 남강 상류로 17.5 km 범위까지 배수영향이 발생하는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 본류에서 운영 중인 다기능보 운영에 따른 수위가 지류 수위에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 창녕함안보 상류에 위치해 있는 낙동강 본류와 남강을 대상으로 SOM 기법과 LOWESS 기법을

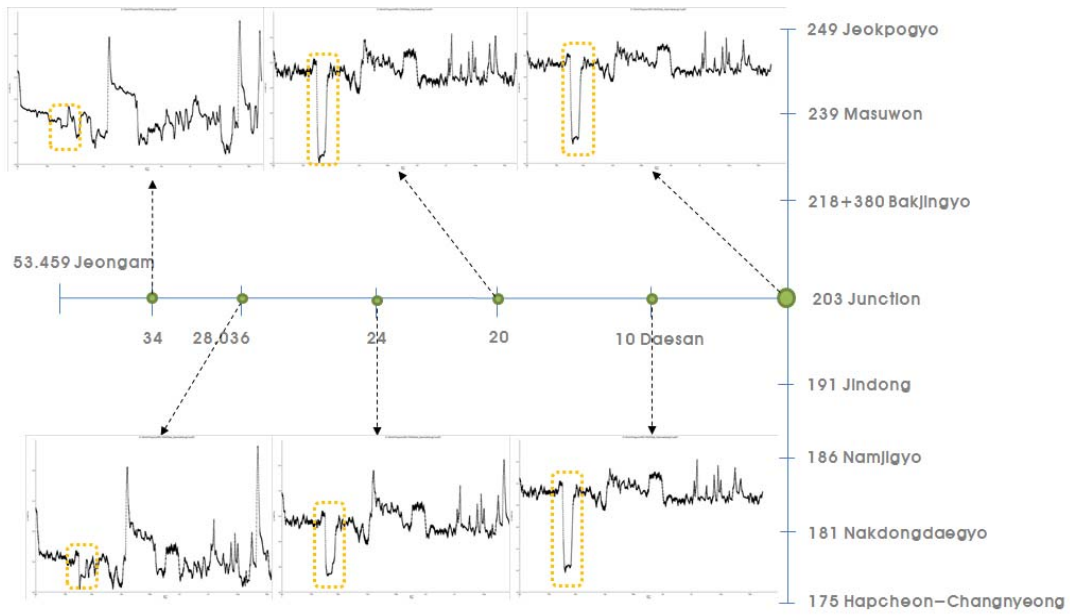


Fig. 8. Maximum drainage impact point analyzed by the HEC-RAS model.

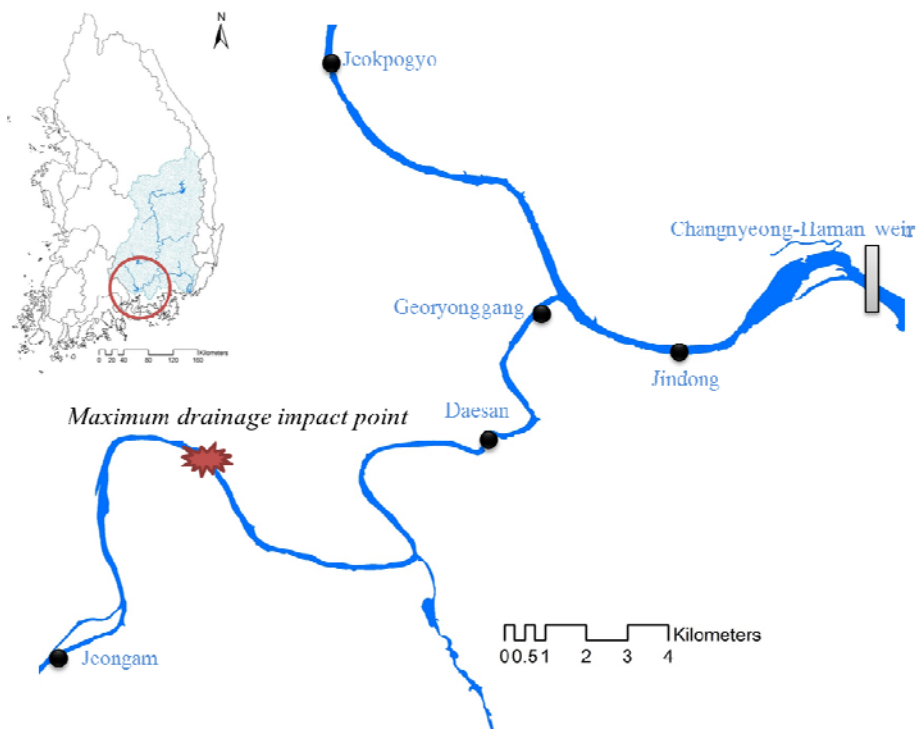


Fig. 9. Maximum drainage impact point.

이용하여 수위 및 수질에 대한 패턴 및 추세를 분석하고, 1차원 수리모형인 HEC-RAS 모형을 이용하여 최대 배수영향 경계지점을 분석하였다. 이러한 정보는 물관리 일원화와 더불어 하천의 수위·수질관리에 기초적인 정보로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

1) 본류에 위치해 있는 진동과 적포교 수위관측소 관측수위와 남강에 위치해 있는 거룡강과 대산 수위관측소 관측수위의 경우, 추세와 패턴이 함께 나타나는 것을 볼 때, 남강에 위치해 있는 거룡강과 대산 수위관측소는 본류에 위치해 있는 다기능보의 관리수위에 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 따라서, 남강에 위치해 있는 수위관측소의 경우 수위관측이나 유량측정에 문제가 있다면, 상류로 지점을 변경하거나 남강 유입지류로 이전을 검토할 필요가 있다.

2) 추세와 패턴 분석결과, 칠서 수질자동측정소의 경우 낙동강의 특성을 강하게 나타내지만, 남강의 특성이 함께 나타나는 것을 알 수 있었다. 물환경측정망의 목적에 따라 세부측정위치는 해당 구간 중 횡단면에서의 수질이 동일한 즉, 완전 혼합이 이루어지는 지점이어야 된다. 수질자동측정소의 운영 목적을 고려할 때, 적포와 칠서 수질자동측정소 구간 사이에 추가적으로 수질자동측정소를 추가하거나, 칠서 수질자동측정소를 이전할 것을 제안한다.

3) HEC-RAS 모형을 이용한 최대배수영향 경계지점을 분석한 결과, 낙동강과 남강이 합류하는 지점으로부터 남강 상류로 17.5 km 범위까지 배수영향이 발생하는 것을 알 수 있었으며, 향후 다기능보 관리수위별 지류에 미치는 배수영향 분석을 통해, 국가적으로 추진하고 있는 다기능보의 상시배수 및 보 개방 모니터링을 수행하는데 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

4) 수질오염총량제의 경우 말단지점에서의 수질을 정확하게 평가하는 것이 중요하고, 다기능보의 관리수위운영은 지류 말단부 지점에 배수위 영향을 미치고 있기 때문에 본류의 물이 역류할 경우 낙동강 수질의 영향을 받아 지류 말단부 지점의 수질이 지류의 수질을 대표하는 것이 아닐 수 있다. 따라서, 향후 압력식 수위계를 이용한 실제 수위관측을 통해 본 연구를 뒷받침할 수 있는 배수영향을 파악해야 되며, 본류 다기능보 운영을 통한 지류 말단부 지점의 배수위 영향

에 대한 기존 수질 측정망의 대표성에 관한 연구가 진행될 필요가 있다.

REFERENCE

- ASCE, 1996, River hydraulics, Technical Engineering And Design Guide As Adepted From Us Army Corps Of Engineers, ASCE, New York, 18.
- Cleveland, W. S., Devlin, S. J., 1988, Locally weighted regression: An Approach to regression analysis by local fitting, Journal of the American Statistician Association, 83, 596-610.
- Clow, D. W., Mast, M. A., 1999, Long-term trends in stream water precipitation chemistry at five headwater basins in the northeastern Unites States, Water Resources Research, 35(2), 541-554.
- Garcia, H. L., Gonzalez, I. M., 2003, Self-organizing map and clustering for wastewater treatment monitoring, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 17, 215-225.
- Helsel, D. R., Hirsch, R. M., 2002, Statistical methods in water resources techniques of water-resources investigations book 4, Chapter A3, U.S. Geological Survey, 226-230, 329-335.
- Hirsch, R. M., Slack, J. R., Smith, R. A., 1982, Techniques of trend analysis for monthly water quality data, Water Resources Research, 18(1), 107-121.
- Hong, Y. S., Rosen, M. R., 2001, Intelligent characterisation and diagnosis of the groundwater quality in an urban fractured-rock aquifer using an artificial neural network, Urban Water, 3, 193-204.
- Huber, W. C., 1985, Deterministic modeling of urban runoff quality, in: Urban runoff pollution, Torno, H. C., Marsalek, J., Desbordes, M. eds., NATO ASI Series, Series G: Ecological Sciences, Springer-Verlag, New York, NY, 10, 167-242.
- Huber, W. C., 1986, Modeling urban runoff quality: State of the art, Proceedings of Conference on Urban Runoff Quality, Impact and Quality Enhancement Technology, Urbonas, B., Roesner, L. A. eds., Engineering Foundation, ASCE, New York, NY, 34-48.
- James, L. D., Burges, S. J., 1982, Selection, calibration, and testing of hydrologic models. in: Hydrologic modeling of small watersheds, Haan, C. T., Johnson, H. P., Brakensiek, D. L. eds., Monograph, Chapter 11,

- American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. (5), 435-472.
- Jung, K. Y., Lee, I. J., Lee, K. L., Cheon, S. U., Hong, J. Y., Ahn, J. M., 2016, Long-term trend analysis and exploratory data analysis of Geumho River based on seasonal mann-kendall test, *Journal of Environmental Science International*, 25(2), 217-229.
- Kibler, D. F., 1982, Urban storm water hydrology, American Geophysical Union, Water Resources Monograph, 7, Washington, DC.
- Kim, E. J., Kim, Y. S., Rhew, D. H., Ryu, J. C., Park, B. K., 2014, A Study on the water quality changes of TMDL unit watershed in Guem River Basin using a nonparametric trend analysis, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 30(2), 148-158.
- Kim, E. S., Yoon, J. H., Lee, J. W., Choi, H. I., 2012, Analysis of long-term trends in lake water quality observations, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 12(1), 231-238.
- Kim, J. T., 2014, Lowess and outlier analysis of biological oxygen demand on Nakdong main stream river, *Journal of Korean Data & Information Science Society*, 25(1), 119-130.
- Kim, Y. G., Jin, Y. H., Park, S. C., Kim, J. M., 2010, Analysis of non-point source pollution discharge characteristics in leisure facilities areas for pattern classification, *Journal of Korean Water Resources Association*, 43(12), 1029-1038.
- Kohonen, T., 2002, Self-organizing maps. Springer, Berlin, Germany.
- Li, W., Merrill, D. E., Haith, D. A., 1989, Loading Functions for Pesticide Runoff, *J. WPCF*, 62(1), 16-26.
- Lu, H., Bryant, R. B., Buda, A. R., Collick, A. S., Folmar, G. J., Kleinman, P. J. A., 2015, Long-term trends in climate and hydrology in an agricultural, headwater watershed of central Pennsylvania, *Journal of Hydrology: Regional Studies* 4, 713-731.
- Lu, R. S., Lo, S. L., 2002, Diagnosing reservoir water quality using self-organizing maps and fuzzy theory, *Water Research.*, 36, 2265-2274.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport., 2008, The basic plan of stream-improvement for Nam river-Natoinal rivers, Sejong, Korea.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport., 2009, The basic plan of stream-improvement for Nakdong river-Natoinal rivers, Sejong, Korea.
- Paik, B. C., Kim, C. K., Kim, T. R., 2011, A Study on the pattern analysis of correlation between the river flow and water quality using a SOM technique, *Journal of Korea Society of Urban Environment*, 11(2), 153-160.
- Paul, M. B., Linfield, C. B., 2002, Statistics for environmental engineers, second edition, Lewis publishers.
- Ritter, A., Munoz-Carpena, R., 2013, Performance evaluation of hydrological models: statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments, *Journal of Hydrology*
- Rodriguez-Murillo, J. C., Filella, M., 2015, Temporal evolution of organic carbon concentrations in Swiss lakes: trends of allochthonous and autochthonous organic carbon, *Science of the Total Environment*, 520, 13-22.
- SOM Toolbox Team, 2000, SOM toolbox for Matlab 5, Helsinki University.
- Woo, H., 2002, River hydraulics, Cheong moon gak.
- Wu, M. L., Zhang, Y. Y., Dong, J. D., Wang, Y. S., Cai, C. H., 2011, Identification of coastal water quality by self-organizing map in Sanya Bay, South China Sea, *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 14(3), 291-297.