

ORIGINAL ARTICLE

낙동강 백천 합류부 지점의 물환경측정망 대표성 검증

안정민 · 임태효 · 김성민 · 김신 · 김경훈 · 권현각 · 신동석 · 양득석*

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

Verification of Water Environment Network Representative at the Baekcheon Junction of the Nakdong River

Jung Min Ahn, Teo Hyo Im, Sung Min Kim, Shin Kim, Gyeong Hoon Kim,
Heon Gak Kwon, Dongseok Shin, Deuk Seok Yang*

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

Abstract

Multifunctional weirs constructed through the Four Major Rivers Restoration Project are operated as management water levels. The purpose of this study was to evaluate the effect of water level in the main stem on the tributary water level according to multifunctional weir operation, because the operation of multifunctional weirs for water level management influences the drainage of tributaries. In this study, water level pressure gauges were installed and spatial and temporal water quality was observed. The LOcally Weighted Scatterplot Smoothing (LOWESS) technique was applied to the Nakdong River and the Baekcheon Junction, both upstream of the Gangjeong-Goryeong weir, in order to analyze water quality trends. When considering the overall analysis and observations, it was found that the water quality forecasting point located at the Baekcheon estuary point should be transferred to the Dosung Bridge, which is located upstream of the Sunwon Bridge.

Key words : Water Level, Water Quality, LOWESS, Tributary drainage, Baekcheon

1. 서론

국토교통부에서는 4대강에 홍수통제소를 운영하고 있으며, 이곳에서는 수위를 관측하고 있다. 관측된 결과는 4대강 홍수통제소 및 국가수자원관리 종합정보 홈페이지에 제공하고 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, 실

시간으로 수위를 관측함으로써, 풍수해에 대비하기 위한 용도로 활용되고 있다. 물환경측정망은 환경부 고시 제2017-74호(2017.4.13.)에 운영계획이 수립되었으며(Ministry of Environment, 2017), 매년 운영계획이 보완·개정되어 수립되고 있다. 수질측정망은 수질오염총량제 및 수질예보제 운영 등 하천·호소 등 공공수역에 대한 수질현황 및 추세를 파악하고 주요 환경정책의 효과분석 및 정책수립을 위한 기초자료 확보를 위해 수행되고 있다. 특히 총량측정망은 오

Received 5 December, 2017; Revised 13 March, 2018;

Accepted 10 April, 2018

*Corresponding author: Deuk Suk Yang, National Institute of Environmental Research, Nakdong River Environment Research Center, Goryeong 40438, Korea
Phone: +82-54-950-9720
E-mail: yds7055@korea.kr

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.

염총량관리 시행지역의 수질현황 및 수질오염총량제 이행사항 평가, 단위유역의 수질·유량 등 수질오염 물질의 총량관리에 필요한 기초자료 확보를 위해 추진되고 있다.

4대강살리기사업을 통해 낙동강 본류에는 다기능보가 건설되었고, 건설된 다기능보는 관리수위로 운영되고 있다. 다기능보는 관리수위로 운영되고 있기 때문에 본류의 수위가 상승하게 되었고, 이로 인해 지류에서는 배수위 영향이 나타나고 있다. 본류와 지류가 합류되는 합류부에서는 배수위 영향으로 수위가 증가하더라도 수면경사가 완만해져 유속이 줄어들며, 배수영향을 받지 않는 수위보다 유량이 감소하는 특성이 나타난다. 본류의 역류로 인한 수리특성의 변화는 기존에 수립된 수위·유량 관계식의 신뢰성을 저하시키며, 또한, 기존에 설치되어 있는 수위측정망 및 물환경측정망 지점의 대표성에 문제를 야기하고 있다. 이럴 경우 구역별로 지정된 수질환경기준의 위반 사항을 찾아내기 위한 수질측정망의 목적을 달성할 수 없게 된다(Lettenmaire, 1979; Liebertrau, 1979). 수질측정망의 목적을 달성하기 위해서는 각각의 측정목적에 부합하는 측정지점의 선정기준이 필요하며, 수계를 대표하기 위해서는 장·단기적 수질 변화 경향 파악과, 측정된 수질자료가 대상 수체의 수질환경기준 위반여부, 빈도 및 지속시간 등을 파악할 수 있어야 된다.

기존에 국내에서 진행된 하천 합류부에서의 배수위 영향 관련 연구들은 수리·수문 분야에 집중된 연구들이 대다수였다. Kim et al.(2015)은 2개의 하천이 합류하는 하구역에서의 연결수로에 대해 통수능에 따른 홍수위저감효과를 분석하였고, Kim and Lee (2015)은 교각의 형태에 따른 2차원 모형을 이용한 배수위 흐름해석을 수행하였다. Kim et al.(2015)은 지류 합류부 배수영향을 받는 지점에서의 유량산정 방법을 HEC-RAS 모형을 이용하여 모의하였고, 자동유량측정 자료와 비교한 결과, 모의 결과의 신뢰성이 높은 것으로 판단한 바 있다. 본류 수위 변화에 따른 지류 배수위 영향으로 인한 물환경측정망 대표성에 대해서 검토한 기존 연구는 수행된 바 없으며, 현장 실측 자료를 바탕으로 다각도로 검토할 필요성이 있다. 최근 물관리 일원화에 대한 논쟁이 지속되고 있으며, 이

에 일환으로 수리·수문·수질 분야를 종합적으로 고려하기 위해 본 연구에서는 기존에 설치되어 있는 실시간 수위·수질 측정망에 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 강정고령보 상류에 위치해 있는 낙동강 본류와 백천을 대상으로 물환경측정망 대표성을 검증하였다. 도성교와 동암교에 압력식 수위계 설치 및 수위 관측, 시공간적 수질관측, LOcally Weigthed Scatter plot Smoother (LOWESS) 기법을 이용한 수질추세 분석을 통해 다기능보 운영에 따른 수리·수문 특성 및 거동을 분석하고 기존 모니터링 지점의 타당성을 평가하여 적정 신규 모니터링 지점 개소 및 위치 재선정을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다. 이러한 정보는 물관리 일원화와 더불어 물환경측정망 계획 고시 개정시 정보로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상유역

낙동강은 태백산 황지에서 발원하여 남해에 이르러까지 영남지역의 대부분과 강원도와 전라북도의 일부를 포함하여 유역면적 23,817 km², 유로연장 525 km로 우리나라 국토의 약 24%를 차지하는 제 2의 하천이다(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2009). 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. 낙동강수계를 대상으로 운영하고 있는 수위관측소는 118개, 자동수질측정망은 24개 지점이 있다. 백천은 Fig. 1에

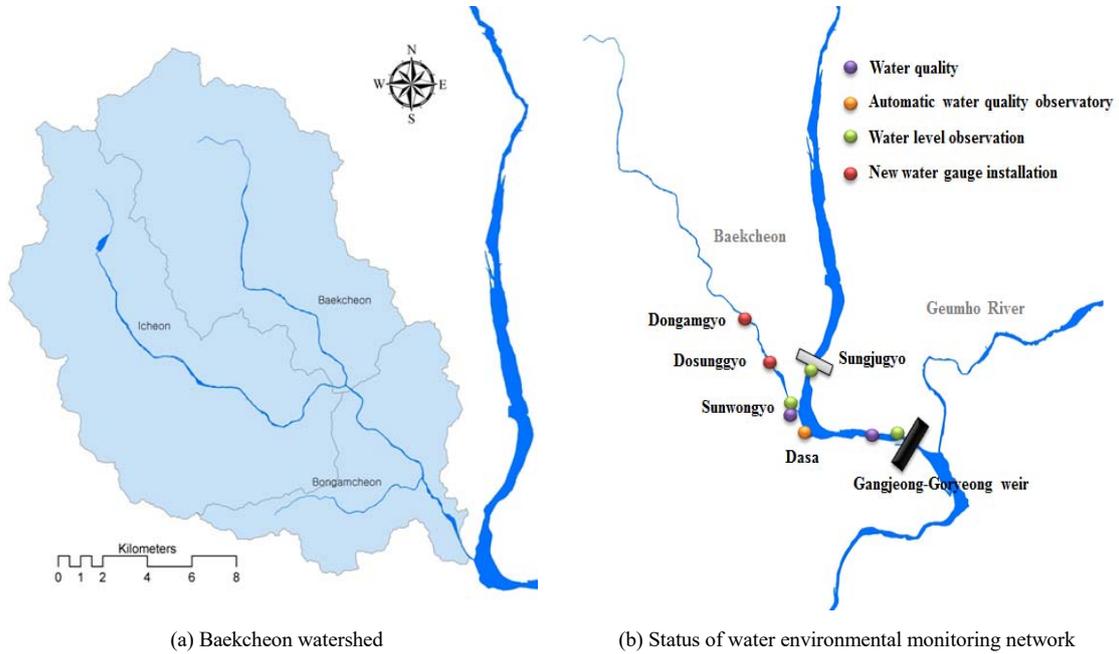


Fig. 1. Study Area.

도시된 바와 같이 지방하천으로 분류는 낙동강이고, 제 1지류이다(Gyeongsangbuk-do, 2013). 하천의 유로연장은 32 km, 하천연장은 28 km이다. 백천은 이천과 백천상류 그리고 봉암천이 합류하여 백천하류에 유입되고, 백천하류는 낙동강 우안에 합류한다.

낙동강물환경연구소에서는 백천하류 선원교 상류 2.3 km 지점에서 8일 간격으로 유량과 수질을 2004년부터 2015년까지 관측해 오고 있으며, 또한, 백천 상류, 이천, 그리고 봉암천 말단 지점에서 2014년부터 분기별로 유량과 수질을 관측해 오고 있다. 강정고령보 상류에는 대구광역시의 주요취수원인 매곡취수장이 위치해 있으며, 대구광역시의 주민들의 식수로 이용되고 있다. 또한, Daegu Regional Environmental Office(2013)에서 백천을 우선 관리대상 지류로 선정하였기에 연구 대상유역으로 선정하였다. 백천은 성주군을 관통하고 있으며, 성주군의 주요 농작물은 참외로서 이를 재배하기 위한 하우스가 위치해 있다. 낙동강 본류와 달리 오염원이 인접한 경우가 많고 상대적으로 유량이 부족하여 오염원에 의한 영향이 상당히 크게 나타난다. 오염원이 없는 하천의 수질은 아주

양호한 반면, 축사 등의 영향을 받는 하천은 수질이 매우 불량하게 나타나는 등 지류의 수질은 지역별 오염원 분포 여부에 따라 편차가 크다.

본 연구대상유역에 위치해 있는 수위·수질 관측소 현황은 Fig. 1과 같다. 백천(선원교) 지점은 수질예보지점으로서 국립환경과학원에서 운영하고 있는 수질예보시스템에서 주요 유입인자로 적용되고 있는 수질관측지점이다. 낙동강 본류에 합류하는 백천 말단부 지점에 수질예보지점인 백천(선원교) 지점이 위치해 있으며, 본 연구에서는 강정고령보의 관리수위 운영에 따른 배수위 영향을 파악하기 위해 Fig. 1(b)에 도시된 바와 같이 백천(선원교) 지점 상류에 위치해 있는 도성교와 동암교에 신규 압력식 수위계를 설치하였다.

2.2. 연구방법

본 연구 방법은 Fig. 2와 같이 Research method에 제시된 방법으로 현장 수위·수질 모니터링 계획을 수립하였다. 이를 토대로 낙동강수계 중장기 계획의 기초자료 확보 및 모니터링 지점의 대표성 검증, 하천

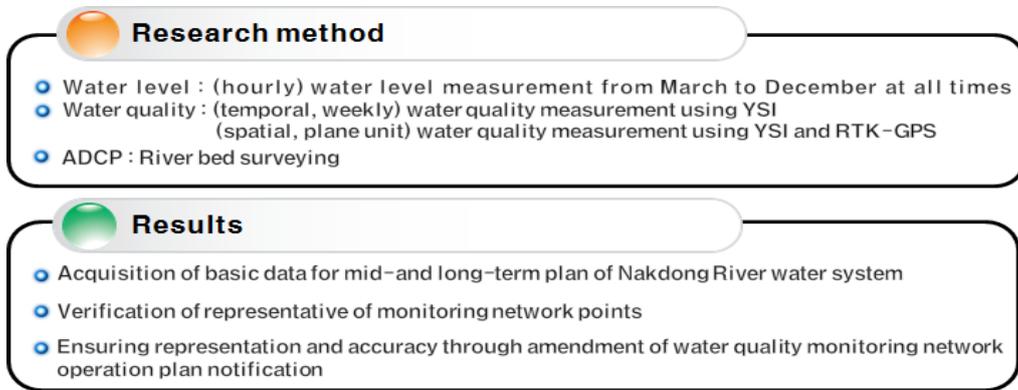


Fig. 2. Research method.

관리를 위한 모니터링 및 분석평가 가이드라인을 작성하고, 최종적으로는 물환경측정망 운영계획 고시 개정 등을 마련하여 측정망의 대표성과 정확성을 확보할 수 있는 연구결과를 얻고자 하였다.

2.2.1. 압력식 수위계 설치 및 수위 관측

수위를 관측하는 수위계는 기포식, 압력식, 레이더, 부자식 등 다양한 방식이 있으나, 본 연구에서는 압력식 수위계로 우리나라에서 많이 이용되고 있는 OTT Orpheus Mini를 채택하였다. Ministry of Agriculture and Forestry(2004)에서는 농업저수지 자동수위관측기 개발 연구를 통해 압력식 수위계의 적합성을 검증한 바 있다. OTT Orpheus Minisms는 1초 단위부터 24시간 단위로, 500,000개 이상의 데이터 측정값이 저장 가능하다. 정확도는 <math><0.05\%FS, \pm 0.5^{\circ}C</math>, 해상

도는 0.01%FS, 0.1°C 이다. 낙동강 본류에서 운영되고 있는 강정고령보의 관리수위 운영에 따라 지류에 미치는 배수위 영향을 측정하기 위해 Fig. 3에 도시된 바와 같이 도성교와 동암교에 압력식 수위계를 각각 1개 설치하였다. 측정항목은 수위와 수온, 측정시간단위는 10분으로 설정하고, 매주 월요일 저장된 데이터를 취득하였다.

2.2.2. 시간적 수위 · 수질관측 방법

백천 말단부 지점에 위치해 있는 선원교 지점은 물환경측정망에서 수질예보지점으로서 명칭은 백천이다. 단위유역의 말단지점에서 측정되고 있는 수질을 정확하게 평가하는 것은 단위유역 및 낙동강 본류의 수질을 관리하기 위해 매우 중요하다. 하지만, 강정고령보의 관리수위 운영에 따른 수위 상승으로 낙동강의



Fig. 3. Water level gauge installation.

물이 백천으로 역류하면 백천(선원교)지점의 수질이 백천을 대표하는 수질이 아닐 수 있기 때문에, Fig. 4와 같이 선원교, 도성교, 동암교, 성주대교 4지점을 선정하여 현장수질을 1주일 간격으로 측정하였다. 측정 항목은 현장수질측정기인 YSI를 이용하여, 전기전도도, 수온, DO, pH를 측정하였다. 이중 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. 물이 전류를 전달하는 정도를 결정하는 몇 가지 요인이 있다. 첫째는 이온의 농도 또는 수량, 두 번째는 이온의 이동성, 세 번째는 원자의 산화 상태, 네 번째는 물의 온도이다. 이온 농도가 증가함에 따라 전기전도도가 거의 선형적으로 증가하기 때문에 전기전도도 측정기를 이용하여 수체에서 이온 농도를 추정할 수 있다. 전기전도도의 경우, 증류수는 0 uS/cm에 가까우며, 빗물은 10~20 uS/cm, 수돗물은 100 uS/cm, 바닷물은 50,000 uS/cm 범위의 값을 가진다. 전기전도도는 하천에 따라서 다양한 값을 가질 수 있으며, 하천에서 10~1,000 uS/cm 사이의 값을 가진다(Davie, 2002). 전기전도도는 하천의 이온 농도를 효과적으로 측정하기 때문에 강우, 지하수 및 증발산에 따른 희석 및 농축의

효과를 파악하는데 유용하다(Kadlec and Wallace, 2009). 전기전도도를 통해 하천의 특성에 대해 많은 것을 알 수 있다. 예를 들어, 낮은 전기전도도의 하천은 일반적으로 높은 전기전도도의 하천보다 지하수 유입이 적다. 즉, 강수량이 지배적이다. 또한, 전기전도도는 유역의 기반암과 광물질 토양의 침식에 저항하는 정도도 표현할 수 있다. 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.

2.2.3. 공간적 수체혼합 관측

공간적으로 수질 관측 및 수리량을 조사하기 위해 YSI(Yellow Spring Instrument), ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler) 그리고 RTK(Real-Time Kinematic)-GPS를 이용하였다. YSI를 이용하여 전기전도도를 관측, ADCP를 이용하여 수리량 자료 조사, RTK-GPS를 이용하여 위치좌표를 취득하였다. 취득한 자료를 후처리하여 하천평면에 대한 수체혼합 조사 결과를 분석하였다.

2.2.4. 수질추세 분석방법

Yang et al.(2018)은 낙동강 남강 합류부 수위 및 수질 패턴 및 추세 분석을 위해 LOWESS 기법을 적용한 바 있다. 비모수적 평활(Smoothing)방법은 연구기간 중 추세 변동이 존재할 경우 회귀선의 형태를 직선으로 한정시키지 않고 자료의 적절한 경향을 반영할 수 있는 방법으로 사용함으로써 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(smooth)을 얻은 후 이 평활점들을 직선으로 연결한 것이다. 이는 1차 또는 2차 회귀모형에 대한 가정 없이 자료들을 회귀모형에 맞추므로 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



Fig. 4. Field water quality measuring points.



Fig. 5. Water body mixing observation.

폭을 결정한다(Kim, 2014). 가중값 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 수직까지의 최대거리를 d_i 라 하면 (x_k, y_k) 의 가중값 w_k 는 다음과 같이 계산된다.

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

LOWESS를 하기 위한 R의 함수는 $\text{lowess}(y \sim x, f)$ 와 같은 형식인데 여기서 f 는 자료크기 대비 평활기 너비(smooth span)의 비율이다. 이때 $x_i = x$ 이며 평활상수인 f 는 $0 < f < 1$ 의 범위를 가지며 기본값은 $1/3 \sim 2/3$ 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 멍멍한 곡선이 되고(과소적합, under-fitting), 반대로 f 를 작게 하면 회귀함수의 휨

정도가 큰 곡선이 된다(과다적합, over-fitting). 따라서 본 연구에서 사용된 평활 폭 f 값은 $1/2$ 로 주어 실행하였다(Cleveland and Devlin, 1988; Rodriguez-Murillo and Filella, 2015).

3. 결과 및 고찰

3.1. 시간적 수위수질관측 결과

낙동강(성주대교, 강정고령보), 백천(선원교, 도성교, 동암교)을 대상으로 낙동강물환경연구소에서 자체 설치한 목자판 및 압력식 수위계를 이용하여 수위를 실측하였고, 선원 수위국 목자판 및 낙동강홍수통제소의 수위자료를 활용하였다. 다항목현장측정기(YSI)를 활용하여 전기전도도(EC), 수온, DO, pH 4개 항목을 실측하였고, RTK-GPS로 수위계의 영점표고를 측량하였다. 2017년 3월 도성교의 목자판 수위는 1.16 m, 영점표고는 EL.18.44 m로 수위는 EL.19.6 m로 조사되었고, 동암교의 목자판 수위는 1.42 m, 영점표고는 EL.19.48 m로 수위는 EL.20.97 m로 나타났다. 낙동강홍수통제소에서 실시간으로 제공하고 있는 강정고령보의 수위는 EL.19.5 m, 선원교의 수위는 EL.19.5 m로 조사되었다. 2017년 6월 5일 진행된 강정고령보의 보 개방에 따른 상시배수로 보 수문 개방 후 낙동강 본류와 백천의 수위가 동시에 낮아지는 것을 확인할 수 있었으며, 선원교 지점의 경우 낙동강 본

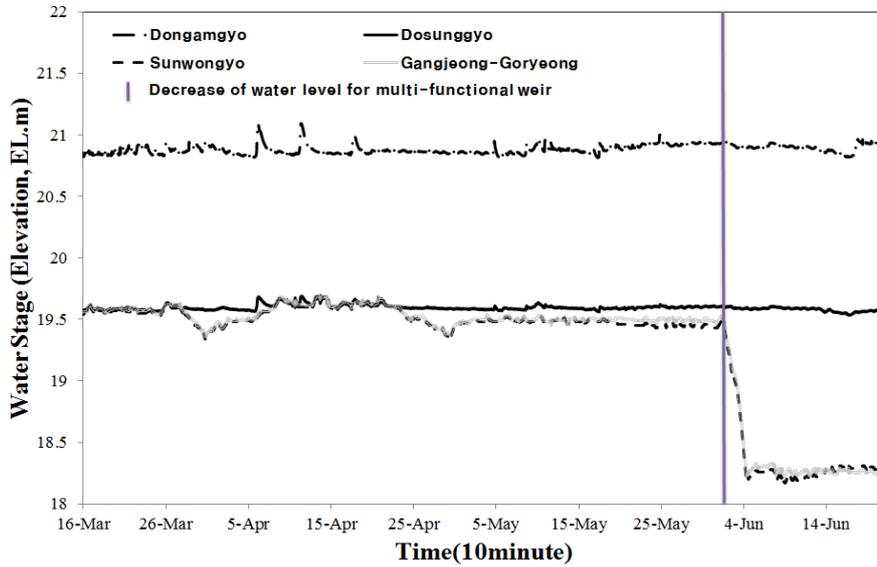


Fig. 6. Results of water level observation.

류에 의한 배수위의 영향을 받고 있다가 상시배수 후 본류의 영향이 상대적으로 미미하였으나 강정고령보의 수위가 일정하게 유지됨에 따라 다시 낙동강 본류와 혼합되어 배수위의 영향을 받고 있는 것으로 조사되었다. Fig. 6과 같이 도성교의 수위는 상시배수 전 강정고령보의 관리수위 운영에 따라 배수위 영향이 있었으나, 상시배수 후 배수위 영향은 없는 것으로 나타났다.

Fig. 7에 제시된 바와 같이 백천 말단에 위치한 백천(선원교)의 전기전도도 관측 값의 경우 낙동강 본류와 혼합되는 경향을 나타냈으며, 상시배수 후 일정시간 동안은 낙동강 본류의 영향을 받지 않았지만, 강정고령보 수위가 다시 일정한 수위를 유지하면서, 백천(선원교) 지점의 전기전도도 값은 낙동강본류의 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 8에 분석되어 있는 무차원 변동치를 보면 명확하게 알 수 있다. 도성교를 기준으로 관측된 전기전도도 결과를 기준으로 무차원화 한 것으로, 백천(선원교) 지점의 경우 변동치가 20%이상 발생하는 경우가 많았으며, 백천(선원교) 지점의 변동치 거동이 성주대교 지점 변동치와 거동이 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다. 특히, 8월 이후에는 변동치의 거동과 변동치의 값이 동일하게 나

타나는 것을 알 수 있다. 따라서, 백천(선원교)지점은 본래의 관리수위인 EL.19.5 m에서 1.25 m 저하된 수위로 운영하더라도 상시적으로 낙동강 본류의 역류로 인해서 낙동강과 백천의 수체가 혼합되고 있는 것으로 나타났으며, 수질측정 데이터에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 강정고령보의 관리수위인 EL.19.5 m에서, 본류가 지류 말단부에 위치한 측정망 지점에 미치는 연구를 진행하는 것이 목표였으나, 국가정책에 의해 EL.18.25 m로 수위가 저하된 상태에서의 영향을 평가하였다. 평가 결과를 토대로 EL.18.25 m에서도 본류가 지류로 역류하고 있는 것을 알 수 있었으며, 일반적으로 판단했을 때 강정고령보 관리수위인 EL.19.5 m에서는 더 큰 영향이 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서 취득된 자료는 Fig. 8에 제시되어 있는 무차원변동치 결과를 보더라도 성주대교와 선원교의 변동치는 5월 이전에도 거동이 동일한 것을 알 수 있다. 3월 중순부터 4월 초까지 전기전도도 값이 유사한 이유는 계절적인 변동치(낙동강(성주대교) : 175~403 uS/cm, 백천(선원교): 193~379 uS/cm)이며, 본 연구에서 제시한 방법을 이용한 측정망 대표성 평가를 위해서는 6개월 이상의 장기적인 관측데이터를 토대로

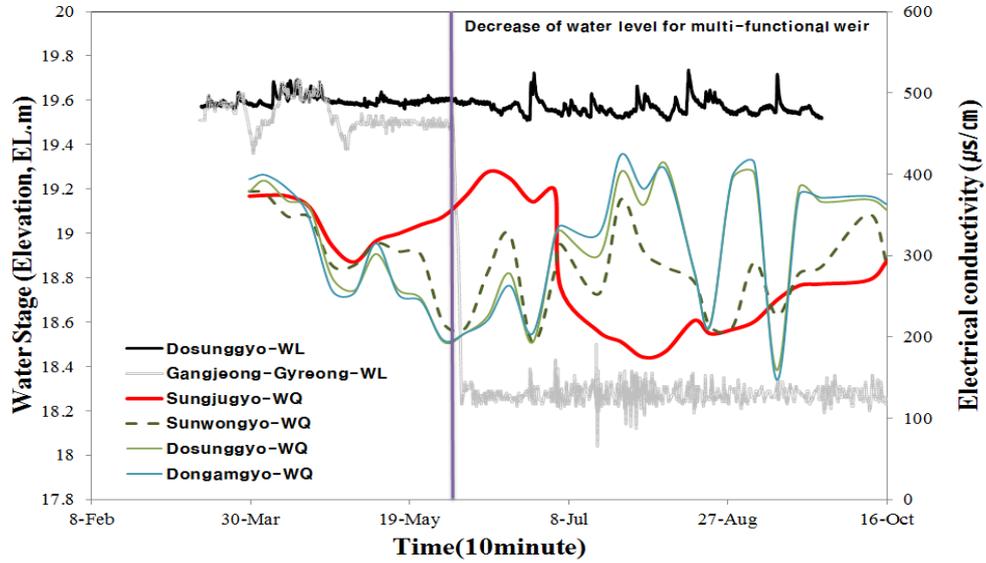


Fig. 7. Results water level and electrical conductivity observed on each point.

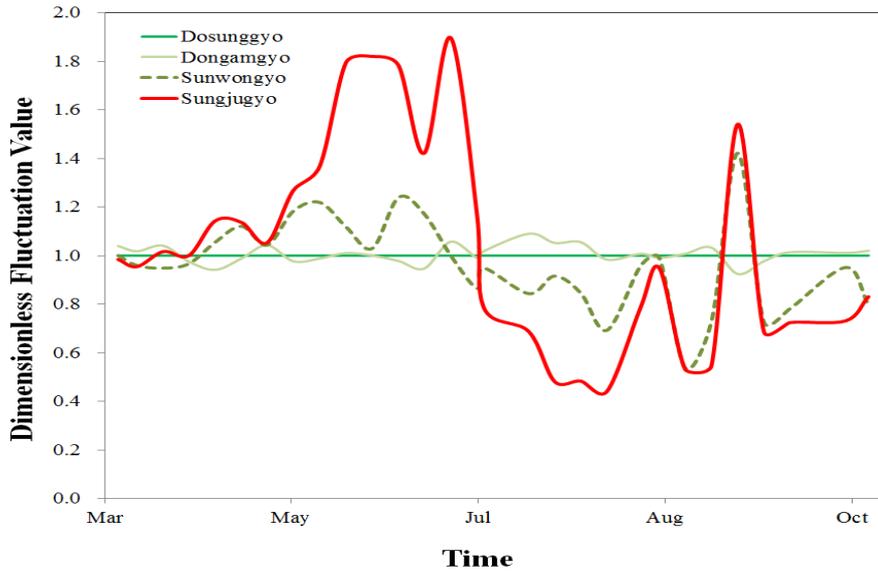


Fig. 8. Dimensionless fluctuation for electrical conductivity based on the Dosunggyo.

종합적으로 판단할 필요가 있다.

3.2. 공간적 수질 관측 결과

백천(선원교)의 경우 강정고령보의 관리수위 운영에 따라 분류수위의 배수위 영향으로 Fig. 9(a)과 같이

수위가 유지되어 왔다. 그러나 2017년 6월 5일에 진행된 강정고령보 보 개방에 따른 상시배수로 Fig. 9(b)와 같이 수위가 저하되었다. 기존 도성교는 흐름이 정체되어 있었으나 유수의 흐름이 발생되게 되었다. 하지만



Fig. 9. Water level change according to decrease of water for multi-functional weir.

도성교 직하류에는 배수위 영향이 지속되고 있다. Fig. 10과 같이 백천 합류부의 공간적 수질관측을 위해 RTK-GPS, YSI 그리고 ADCP 장비를 이용하여 합류부의 전기전도도를 측정하였다. Fig. 10에 도시된 바와 같이 수체혼합에 대한 결과를 취득하였다.

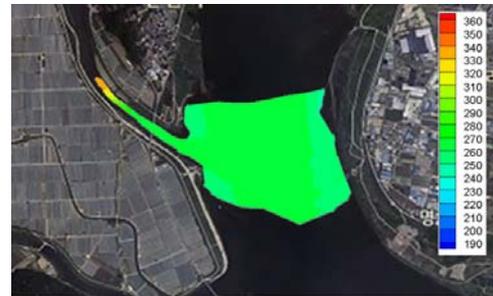
Fig. 10(a)와 같이 6월 5일 강정고령보의 보개방에 의한 상시개방 시에는 낙동강 본류의 수체가 흐름이 발생하고 수위가 저하되어 백천의 수체도 함께 낙동강 본류로 유입되는 것을 알 수 있었다. 하지만 상시개방 이후 강정고령보의 수위가 일정하게 유지되면서, 본류의 흐름 정체에 따라 Fig. 10(b)와 Fig. 10(c)와 같이 다시 낙동강 본류의 수체가 역류하면서 백천의 선원교 지점에 위치해 있는 수체와 혼합이 되는 것을 알 수 있다. 평수기 시에 지속적으로 낙동강 본류의 흐름이 백천에 영향을 주고 있는 것으로 판단된다.

3.3. 수위 정체에 따른 수질추세

Fig. 11과 같이 수질예보지점인 백천 지점에서 2004년부터 2017년까지 관측된 수질 관측 자료 (Water Environment Information System, 2017)를 LOWESS 기법으로 추세분석을 실시하였다. 강정고령보가 실제적으로 운영된 시기가 2012년 인 것을 감안할 때, 2012년 까지 관측결과는 일정하게 유지되다가 2012년을 기점으로 변동이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이를 통해 백천 수질측정망 지점은 본류 다기능보의 관리수위 운영에 따른 배수위 영향으로 인해 수체가 정체되어 낙동강 본류의 영향을 받는 것을 알 수 있다. 따라서, 시공간적 수위·수질 관측결과를 종합적으로 고려해볼 때, 본류에 의해 왜곡된 데이터가



(a) Gate opening of Gangjeong-Goryeong weir (Jun. 5)



(b) Maintain the water level of Gangjeong-Goryeong weir (Sep. 14)



(c) Maintain the water level of Gangjeong-Goryeong weir (Oct. 26)

Fig. 10. Results of electrical conductivity observed on the Baekcheon junction(unit : uS/cm).

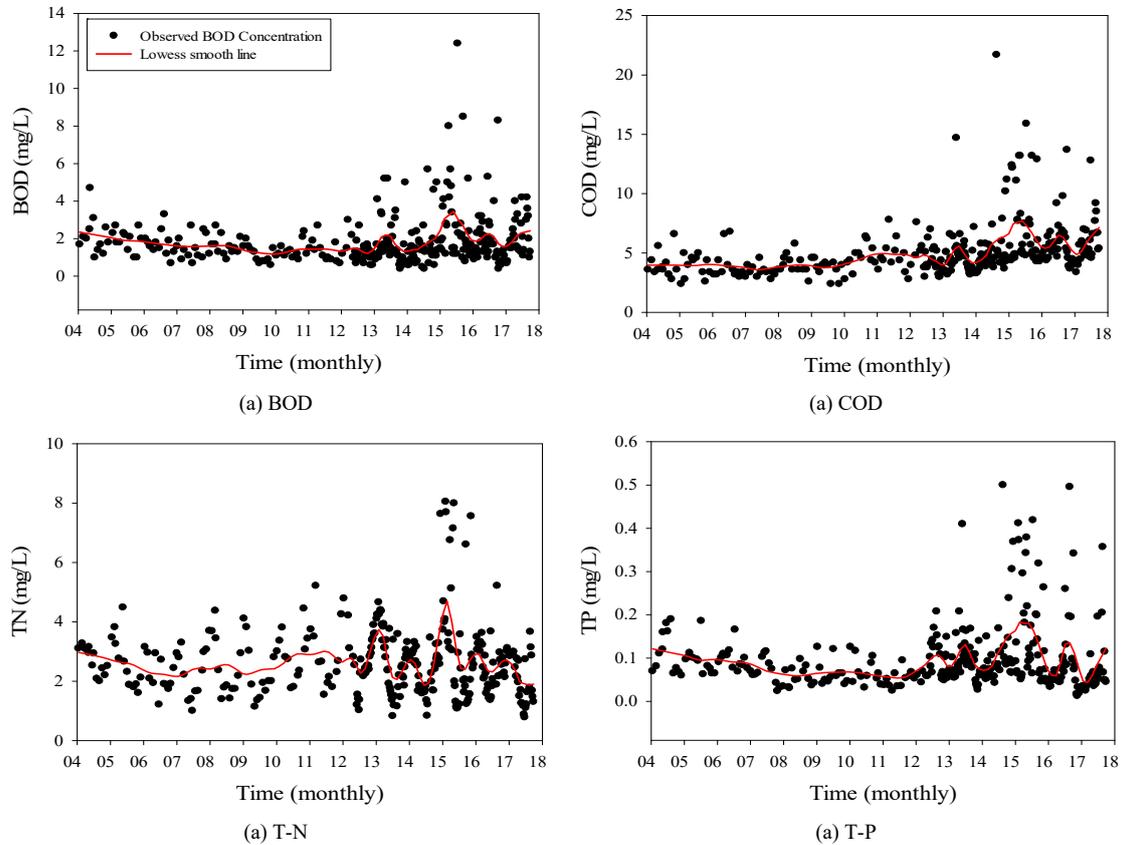


Fig. 11. Results of water quality analysis at the Baekcheon point.

발생한다면 본류의 영향을 최소화 시켜야 되기 때문에 백천(선원교) 지점에 위치해 있는 수질예보지점의 경우 지류의 대표성이 확보 될 수 있는 범위 내에서 상류로 이전하거나, 또는 수질측정망 지점을 상류에 신설하는 것을 고려할 필요가 있다고 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 본류에서 운영중인 다기능보 운영에 따른 수위가 지류 수위에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 강정고령보 상류에 위치해 있는 낙동강 본류와 백천을 대상으로 시공간적 수위·수질 관측, LOWESS 기법을 이용한 추세 분석을 통해 백천(선원교) 지점에 위치해 있는 수질예보지점에 대한 대표성을 검증하였다.

1) 백천 말단부 수위관측 지점인 선원지점의 경우, 지속적으로 강정고령보의 수위와 동일한 수위가 관측되었기 때문에 국토교통부에서 2017년 7월 21일에 상류에 위치해 있는 도성교로 지점을 이전하였다. 도성교의 경우, 강정고령보 보 개방에 따른 상시배수를 하지 않은 상황에서는 강정고령보의 수위 영향을 특정한 시기에 받았으나, 보 수위 저하 후에는 배수위 영향을 받지 않았다. 백천(선원교) 지점의 경우, 강정고령보의 수위가 일정하게 유지되면서 배수위 영향과 함께 수체의 역류가 지속적으로 발생하였다.

2) 백천(선원교) 지점의 경우 수질예보 지점으로서, 시공간적인 수질관측결과 상시적으로 낙동강 본류와 백천의 수체가 혼합되어 있는 것으로 나타났다. 또한 LOWESS 기법을 이용한 추세 분석에서 강정고령보 준공 이후 관리수위 운영을 시작한 2012년부터 수질

변화 추세가 달라진 것을 알 수 있었다. 이는 본류의 역류로 인한 영향으로 판단할 수 있으며, 이를 종합적으로 고려해 볼 때, 백천(선원교) 수질예보 지점은 선원교 상류에 위치해 있는 도성교로 이전하거나 상류 지점에 수질측정망 지점을 신설하는 것을 제안한다.

3) 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. 수질오염총량제 및 수질예보제 등 말단지점에서 수질을 정확하게 평가하는 것이 중요하기 때문에, 정책의 일환으로 추진중인 보개방에 따른 다기능보 관리수위 저하를 고려하여, 주요 지류하천들에 대한 추가적인 연구가 진행될 필요가 있다.

감사의 글

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원(과제번호 : NIER-2017-01-01-081)을 받아 수행하였습니다.

REFERENCE

- 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.
- Daegu Regional Environmental Office, 2013, Water quality management plan in the Nakdong and Waegwan watershed.
- Davie, T., 2002, *Fundamentals of hydrology*, 2nd Ed. Routledge.
- Gyeongsangbuk-do, 2013, Baekcheon river maintenance basic plan.
- 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.
- Kadlec, R. H., Wallace, S., 2009, *Treatment wetlands*, 2nd Ed. CRC Press.
- Kim, E. S., Lee, S. H., 2015, Hydraulic analysis using a two-dimensional model(II): Bridge backwater analysis, *Journal of the Korea Acedemia-Industrial Cooperation Society*, 16(8), 5716-5720.
- Kim, J., Kim, W., Kim, S. H., 2015, Discharge estimation at monitoring station affected by backwater effects in a junction, 2015 proceeding of Korea Water Resources Association, 393.
- Kim, S. Y., Kim, H. J., Yoon, K. S., 2015, Analysis of flood control effect by applying the connecting channel in estuary area including the confluence of two rivers, *Journal of Korea Water Resources Association*, 48(12), 1065-1075.
- Lettenmaier, D. P., 1979, Dimensionality problems in water quality network design, *Water Resource Research*, 15(6), 1692-1700.
- Liebetrau, A. M., 1979, Water quality sampling: Some statistical consideration, *Water Resource Research*, 15(6), 1717-1725.
- Ministry of Agriculture and Forestry, 2004, Development of reservoir water level monitoring system.
- Ministry of Environment, 2017, Water environmental monitoring network operation plan.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2009, Nakdonggang river maintenance basic plan.
- 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.
- Water Environment Information System, 2017, www.water.nier.go.kr
- Yang, D. S., Im, T. H., Lee, I., Jung, K. Y., Kim, G., Kwon, H. G., Yoo, J., Ahn, J. M., 2018, Pattern and trend of water level and water quality on the Namgang junction in the Nakdong River using hourly measuring time series data, *J. Environ. Sci. Int*, 27(1).