

ORIGINAL ARTICLE

## 실시간 수질지수(RTWQI)를 활용한 남한강 주요 지류의 수질평가 적용성 검토

조용철 · 최현미 · 이보미 · 신동석\* · 김상훈 · 유순주

국립환경과학원 한강물환경연구소

### Review of the Applicability of Water Quality Assessment in the Major Tributaries of the Namhan River using the Real-Time Water Quality Index (RTWQI)

Yong-Chul Cho, Hyeon-Mi Choi, Bomi Lee, Dongseok Shin\*, Sang-hun Kim, Soonju Yu

*Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Yangpyeong 12585, Korea*

#### Abstract

Concern about water quality and pollution was heightened as contaminants flowed into the Namhan River downstream of the Chungju Dam. Thus, this study calculated the Real-Time Water Quality Index (RTWQI) using monthly average water quality monitoring data for major tributaries that require water quality control, which were obtained between 2010 and 2019. To review the applicability of the RTWQI for water quality assessment in the major tributaries of the Namhan River, it was compared with the living environment standard river. The calculated RTWQI result indicated that Bokhacheon, with 59 points, was in the “fair” grade, and this stream was identified as a tributary that preferentially requires water quality improvement as it showed a decreasing (-) tendency of RTWQI. A comparison between RTWQI and the living environment standard of T-P showed that the categories of “completely coincident” and “different by one grade” accounted for 45% of the total, and the water quality of major tributaries was assessed as low. Therefore, the RTWQI, which applies comprehensive water quality parameters and has higher reliability than assessing a single water quality parameter, was determined to be efficient for water quality assessment of the major tributaries of the Namhan River.

**Key words** : RTWQI, Tributaries, Namhan River, Living environmental standard

#### 1. 서론

최근 기후변화에 따른 가뭄으로 본류로 유입되는 지류의 수량이 부족하고, 오염물질 유입량 증가로 수질이 악화되고 있다(Lee et al., 2018). 지류는 본류에 비해 수

질오염사고나 농업화학물질 등의 오염원 유입에 매우 취약하여 본류 수질에 직접적인 영향을 미칠 수 있다(Shrestha and Kazama, 2007). 본류의 수질관리를 위해서는 우선으로 지류의 수질개선이 선행되어야 한다(Min, 2011). 미국의 환경보호국(Environmental Protection

Received 5 January, 2021; Revised 3 March, 2021;

Accepted 29 March, 2021

\*Corresponding author: Dongseok Shin, Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Yangpyeong 12585, Korea

Phone : +82-31-770-7235

E-mail : sds8488@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.

Agency, EPA)과 지질조사국(United States Geological Survey, USGS)에서는 지류의 수질 모니터링 자료를 축적하고, 관리하는 통합적인 유역관리체계 시스템을 갖추고 있다(Kwon, 2013).

우리나라의 유역관리체계는 대부분 4대강 분류 중심의 환경계획, 하천의 이수 및 치수 등으로 지류에 대한 조사 및 연구가 미흡한 실정이다(Jung et al., 2016). 최근에 유역관리체계 및 수질개선을 위해 분류에서 지류 중심으로 변화하는 인식이 증가하고 있다(Jung et al., 2013). 그 예로 환경부의 “뚝물 살리기 마스터플랜”에서는 지류·지천의 수질관리를 “뚝물 살리기”로 명칭하고 도랑 살리기 사업, 통합 집중형 오염하천 개선 사업 등의 세부 사업을 추진하고 있다(Im and Son, 2016). 이는 분류의 수질관리만으로 전체 수계의 수질개선 효과에 한계가 있음을 의미하며, 환경부의 오염총량관리제도(Total Pollutant Load Management System, TPLMS) 시행과 연계될 수 있다(Son et al., 2013; Kim et al., 2014).

현재 우리나라는 하천·호소 등 공공수역에 생활환경 기준을 적용하여 수질의 등급을 평가하고 수질을 관리하고 있다(Lee et al., 2020). 그러나 생활환경 기준은 하천의 오염 상태를 등급별로 제공하나 종합적인 수질상태를 평가하는데 있어서는 제약이 있다(Choi et al., 1997). 하천·호소 등 공공수역에 대한 수질현황 및 추세파악을 파악하기 위해서는 종합적 수질지표의 적용성이 필요하다고 판단된다. 종합적 수질지표 중에 하나인 수질지수(Water Quality Index, WQI)는 다양한 수질항목의 자료를 점수(등급)로 산정하여 현재의 수질상태를 종합적으로 평가할 수 있다(Jung and Park, 2005). 그리고 하천의 오염 상태를 쉽게 파악할 수 있으며 수질관리정책의 효과를 비교하는데 활용되고 있다(Gitau et al. 2016).

최근에 국내에서도 하천·호소 등 공공수역의 수질평가를 위한 조사연구에서도 다양한 WQI를 활용한 연구가 증가하고 있다. Lim et al.(2010)은 CCME WQI(Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index)를 활용하여 대청호의 수질과 Chl-a와의 상관관계를 분석하였다. Lee et al.(2020)은 NSFWQI(National Sanitation Foundation Water Quality Index)와 군집분석을 활용하여 서울시 주요 하천의 수질을 평가하였다. 그러나 우리나라 하천의 경우 캐나다, 미국처럼 규모가 크지 않고, 하상계수가 크기 때

문에 각각의 하천에 적용이 가능한 WQI보다는 4대강 수계 및 지류에 적용할 수 있는 WQI를 개발하여야 한다(NIER, 2009). 이에 환경부에서는 국내 하천에 적합한 수질평가지수 산정방법으로 실시간 수질지수(Real-Time Water Quality Index, RTWQI)를 개발하였다. RTWQI는 기준항목 선정 및 지수 산정방식이 용이한 캐나다의 CCME WQI 산정방법과 지역의 특성을 고려한 미국의 선정기준을 참고한 종합 수질지표이다(NIER, 2009). RTWQI는 국외(미국, 캐나다, 호주, 뉴질랜드 등)의 WQI와 달리 실시간으로 해당 하천의 수질 상태를 국민들에게 신속하게 제공하는 장점이 있다(Park et al., 2018; Yu et al., 2020). 그러나 RTWQI는 하천·호소 등 공공수역의 수질 및 수생태계의 실태를 파악하기 위해 운영하는 국가수질자동측정망이 있는 본류 및 주요 지점에만 제공하는 제한이 있어 지류·지천에는 적용할 수 없었다.

본 연구는 남한강 하류 유역의 주요 유입 지류를 선정하여 RTWQI를 산정하고, 하천 생활환경 기준과 비교 검토하여 지류 수질평가에 관한 RTWQI의 적용성을 파악하였다. 이를 통해 향후 국가수질자동측정망이 없는 하천과 소유역 지류·지천에도 RTWQI를 산정하여 제공할 수 있으며, 유역의 수질관리 방안 마련에 필요한 자료를 확보할 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사 지점

본 연구에서는 남한강 하류 유역의 수질오염 문제가 우려되어 중점 관리가 필요한 주요 지류를 연구 대상으로 하였다(Cho et al., 2019). 주요 지류는 섬강, 청미천, 양화천, 복하천 등이며, 수질 모니터링 지점은 각 하천의 말단 지점으로 Fig. 1과 같다. 주요 지류의 수질모니터링 지점은 현재 환경부의 TPLMS에 따른 총량 측정망 지점과 동일하다. 섬강의 유역면적은 1,490 km<sup>2</sup>이며, 토지이용은 산림 비율이 74%로 전형적인 산지 유역의 특성을 보였다. 청미천, 양화천 및 복하천의 유역면적은 각각 595 km<sup>2</sup>, 182 km<sup>2</sup>, 310 km<sup>2</sup>이며, 농경지 비율이 각각 34.9%, 47.2%, 37.9%로 전형적인 농촌 유역의 특성을 보였다(Lee et al., 2018). 청미천, 양화천 및 복하천은 전체 토지이용 중 산림 비율에 비해 상대적으로 농경지



Fig. 1. Water quality monitoring sites in the major tributaries of Namhan River.

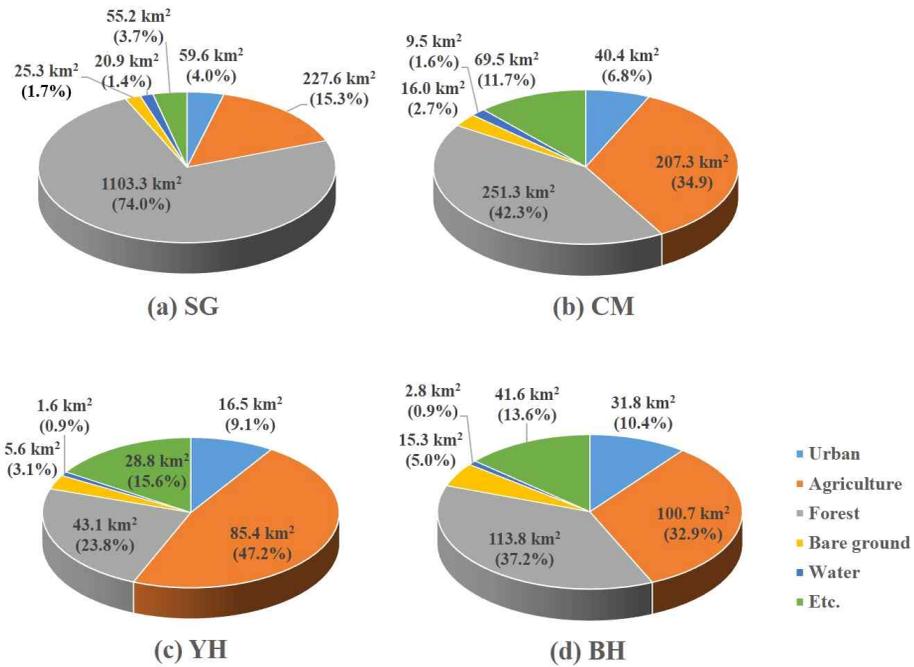


Fig. 2. Land coverage of major tributaries. (a) SG, (b) CM, (c) YH, (d) BH.

**Table 1.** Living environment standards of river

| Grade         | pH      | BOD<br>(mg/L) | COD<br>(mg/L) | TOC<br>(mg/L) | SS<br>(mg/L) | DO<br>(mg/L) | T-P<br>(mg/L) | TC<br>(cfu/100mL) | FC<br>(cfu/100mL) |
|---------------|---------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Very good     | 6.5~8.5 | ≤1            | ≤2            | ≤2            | ≤25          | ≥7.5         | ≤0.02         | ≤50               | ≤10               |
| Good          | 6.5~8.5 | ≤2            | ≤4            | ≤3            | ≤25          | ≥5.0         | ≤0.04         | ≤500              | ≤100              |
| Somewhat good | 6.5~8.5 | ≤3            | ≤5            | ≤4            | ≤25          | ≥5.0         | ≤0.1          | ≤1,000            | ≤200              |
| Fair          | 6.5~8.5 | ≤5            | ≤7            | ≤5            | ≤25          | ≥5.0         | ≤0.2          | ≤5,000            | ≤1,000            |
| Somewhat poor | 6.0~8.5 | ≤8            | ≤9            | ≤6            | ≤100         | ≥2.0         | ≤0.3          | *                 | *                 |
| Poor          | 6.0~8.5 | ≤10           | ≤11           | ≤8            | *            | ≥2.0         | ≤0.5          | *                 | *                 |
| Very poor     | *       | 10>           | 11>           | 8>            | *            | ≤2.0         | 0.5>          | *                 | *                 |

**Table 2.** Standard values by water quality parameters to calculate RTWQI

| Parameter | Unit  | Water quality reference range   |
|-----------|-------|---|
| WT        | ℃     | (Monthly average for 10 years - 10℃) ≤ WT<br>≤ (Monthly average for 10 years + 10℃)   |
| pH        | -     | 6.5 ≤ pH ≤ 9.0  |
| EC        | uS/cm | EC ≤ 200 uS/cm  |
| DO        | mg/L  | 0.8 × DO (Saturation concentration at present water temperature) ≤ DO<br>≤ 1.3 × DO (Saturation concentration at present water temperature) |
| TOC       | mg/L  | TOC ≤ 3.0 mg/L  |
| T-N       | mg/L  | T-N ≤ 3.0 mg/L  |
| T-P       | mg/L  | T-P ≤ 0.1 mg/L  |
| SS        | mg/L  | SS ≤ 25.0 mg/L (Living environment standard of river, Good (II) grade)  |

비율이 높은 것으로 나타났다(Fig. 2).

## 2.2. 조사 항목 및 방법

연구기간은 2010년 1월부터 2019년 12월까지 10년간이며, 평균 8일 간격으로 시료 채취를 실시하였다. 시료의 채취 방법, 시료의 보존은 수질오염공정시험기준에 의거하여 준수하였다. 수질측정은 현장에서 다항목 수질 측정기기(YSI 660 XML, SonTek, USA)를 사용하여 수온, pH, 전기전도도(EC), 용존산소(DO) 등을 직접 측정하였다. 실험실 분석 항목인 생물화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총질소(T-N), 총인(T-P), 총유기탄소(TOC), 총대장균군(TC), 분원성대장균군(FC) 등은 환경부 물환경정보시스템의 수질측정망 월평균 자료를 활용하였다(<http://water.nier.go.kr>).

## 2.3. 하천 생활환경 기준

환경부는 2007년 환경기준 제2조(환경정책기본법 시행령)에 관련하여 하천 및 호소 등의 생활환경 기준을 마련하였다. 기존의 수질등급체계의 수치형 등급(I, II, III 등) 명칭을 서술형 등급(“매우 좋음”, “좋음”, “약간 좋음” 등) 명칭으로 전환하였으며, 수질등급을 5단계에서 7단계로 세분화하였다(NIER, 2006). 하천 생활환경 기준은 pH, BOD, COD, TOC, SS, DO, T-P, TC, FC 등의 총 9개 수질항목으로 관리하며, 각 수질항목에 대한 등급 구분을 Table 1에 나타내었다.

## 2.4. 실시간 수질지수(RTWQI) 선정

환경부에서는 RTWQI를 활용하여 국내 하천의 수질을 공간적으로 평가하고 실시간수질정보시스템을 통해 실시간 수질현황을 쉽게 이해할 수 있도록 자료를 제공

Table 3. RTWQI categorization schema

| RTWQI value | Rating    | Description   |
|-------------|-----------|---|
| 80-100      | Excellent | Water quality is protected with a virtual absence of threat or impairment; conditions very close to natural or pristine levels.           |
| 60-79       | Good      | Water quality is protected with only a minor degree of threat or impairment; conditions rarely depart from natural or desirable levels.   |
| 40-59       | Fair      | Water quality is usually protected but occasionally threatened or impaired; conditions sometimes depart from natural or desirable levels. |
| 20-39       | Marginal  | Water quality is frequently threatened or impaired; conditions often depart from natural or desirable levels.                             |
| 0-19        | Poor      | Water quality is almost always threatened or impaired; conditions usually depart from natural or desirable levels.                        |

하고 있다(http://www.koreawqi.go.kr). 본 연구에서 활용한 RTWQI는 캐나다의 CCME WQI 산정 방식을 국내 환경에 맞게 수정한 것으로 종합 수질지표이다. RTWQI 산정에 사용하는 수질항목은 수온, pH, EC, DO, TOC, T-N, T-P, 탁도 등이다. 본 연구에서는 입자성 물질의 영향을 파악하기 위해 탁도 항목을 제외하고 SS 항목을 추가하여 RTWQI를 산정하였다. RTWQI에 대한 수질항목별 지수 범위 기준은 Table 2과 같다.

RTWQI는  $F_1$  (scope),  $F_2$  (frequency),  $F_3$  (amplitude) 등의 3개 인자를 이용하여 아래의 식(1)과 같이 산정된다.

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

여기서,  $F_1$  (scope)은 기준치를 위반하는 수질항목의 개수를 전체 측정되고 있는 수질자료 개수로 나누어 산정한 비율이다.  $F_2$  (frequency)는 수질항목별 측정주기 동안 기준치를 위반한 항목들의 총 횟수를 총 측정 횟수로 나누어 산정한 비율이다(Kim et al., 2018).  $F_3$  (amplitude)는 각 수질지표별로 기준치를 위반한 정도를 분율화한 인자의 합으로 계산한 값이다. 식(1)에 따라 산정된 RTWQI는 자수범위에 따라 총 5개의 등급으로 구분된다(Table 3).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 주요 지류의 수질평가

연구 대상 주요 지류의 월평균 자료를 이용한 이화학

적 수질항목의 평균값과 표준편차를 산정하여 Table 4에 나타내었다. 그리고 주요 지류의 수질평가를 하천 생활환경 기준에 적용하여 수질등급을 Table 5에 정리하였다. pH는 주요 지류에서 평균 6.5~8.5 범위로 생활환경 기준 “매우 좋음(Ia)” 등급으로 나타났다. 유기물질을 평가하는 지표인 BOD, COD, TOC는 주요 지류에서 생활환경 기준 “보통(III)” 등급 이상의 수질을 나타냈다. SS는 섬강과 청미천에서 생활환경 기준 “매우 좋음(Ia)” 등급으로 나타났으나, 양화천과 복하천은 각각 평균 32.2 mg/L, 평균 26.2 mg/L로 생활환경 기준 “약간 나쁨(IV)” 등급을 나타냈다. DO는 주요 지류에서 평균 7.5 mg/L 이상으로 생활환경 기준 “매우 좋음(Ia)” 등급을 나타냈다. 인간 활동에 의한 분뇨폐수, 화학비료, 공장폐수 등의 오염 지표로 사용되는 T-P은 주요 지류에서 평균 0.200 mg/L 이하로 생활환경 기준 “보통(III)” 등급 이상의 수질 상태를 나타냈다. TC와 FC은 섬강에서 생활환경 기준 “보통(III)” 등급으로 나타났으며, 청미천과 양화천에서는 생활환경 기준 “보통(III)” 등급 이하의 수질 상태를 나타냈다. 복하천은 물환경정보시스템에서 TC, FC 자료를 제공 받지 못하여 본 연구에 활용하지 못하였다. 이러한 이유는 본 연구의 복하천 지점은 환경부의 총량 측정망 지점으로 물환경측정망 운영 지침에 따라 수질 측정망 지점과 달리 TC와 FC을 조사하지 않기 때문이다.

또한 연구 대상 주요 지류의 계절별 변동 특성을 파악하여 Fig. 3에 나타내었다. 본 연구에서는 계절을 3~5월(봄), 6~8월(여름), 9~11월(가을), 12~2월(겨울)로 구분하였다. 주요 지류의 pH 항목은 평균 7.7~8.2 범위로

**Table 4.** Statistical summary of the physicochemical water quality parameters (Mean±Standard Deviation)

| Parameter | Unit      | SG           | CM            | YH           | BH          |
|-----------|-----------|--------------|---------------|--------------|-------------|
| WT        | °C        | 14.4±9.2     | 14.0±9.3      | 15.3±9.1     | 17.5±8.7    |
| pH        | -         | 8.0±0.3      | 8.0±0.3       | 7.9±0.3      | 7.8±0.3     |
| EC        | uS/cm     | 266±84       | 308±63        | 316±71       | 726±258     |
| DO        | mg/L      | 11.8±1.9     | 11.6±2.1      | 11.8±2.3     | 10.8±2.0    |
| BOD       | mg/L      | 1.6±0.7      | 2.8±1.9       | 2.1±1.1      | 3.7±1.6     |
| COD       | mg/L      | 4.8±1.3      | 6.7±2.7       | 6.1±2.1      | 6.6±2.3     |
| SS        | mg/L      | 9.7±30.9     | 17.0±21.3     | 32.2±62.8    | 26.2±67.9   |
| T-N       | mg/L      | 3.533±1.468  | 3.945±1.481   | 4.486±1.749  | 7.920±2.317 |
| T-P       | mg/L      | 0.079±0.048  | 0.120±0.066   | 0.178±0.099  | 0.170±0.058 |
| TOC       | mg/L      | 2.9±1.0      | 3.9±1.6       | 3.8±1.5      | 3.9±1.5     |
| TC        | cfu/100mL | 4,424±14,482 | 10,089±48,981 | 9,697±24,687 | -           |
| FC        | cfu/100mL | 885±2,465    | 1,789±7,997   | 1,591±3,657  | -           |

- No data

**Table 5.** Living environment standards of major tributaries

| Tributaries   | Code | pH | BOD (mg/L) | COD mg/L | TOC (mg/L) | SS (mg/L) | DO (mg/L) | T-P (mg/L) | TC (cfu/100mL) | FC |
|---------------|------|----|------------|----------|------------|-----------|-----------|------------|----------------|----|
| Seomgang      | SG   | Ia | Ib         | II       | Ib         | Ia        | Ia        | II         | III            | *  |
| Cheongmicheon | CM   | Ia | II         | III      | II         | Ia        | Ia        | III        | *              | *  |
| Yanghwacheon  | YH   | Ia | II         | III      | II         | IV        | Ia        | III        | *              | *  |
| Bokhacheon    | BH   | Ia | III        | III      | II         | IV        | Ia        | III        | -              | -  |

\* No standard

- No data

약염기성의 수질을 나타냈으며, 계절별 변동 특성이 뚜렷하게 나타나지 않았다. BOD 항목은 평균 0.9~5.4 mg/L 범위로 봄에 농도가 높고, 가을에 농도가 낮은 특징을 보였다. COD와 TOC 항목은 각각 평균 3.6~10.5 mg/L, 평균 2.2~6.2 mg/L 범위로 여름에 농도가 높고, 겨울에 농도가 낮은 특징을 보였다. SS 항목은 평균 1.7~111.4 mg/L 범위로 계절별 변동이 크게 나타났으며, 특히 여름에 농도가 가장 높고, 가을에 농도가 낮은 특징을 보였다. DO 항목은 평균 8.2~14.9 mg/L의 범위로 겨울에 농도가 가장 높고, 여름에 농도가 낮은 전형적인 계절적 변화 특성을 보였다. T-P 항목은 평균 0.044~0.283 mg/L 범위로 여름에 농도가 높고, 가을에 농도가 낮은 특징을 보였다. TC와 FC 항목은 여름에 농도가 가장 높고, 봄에 농도가 낮은 특징을 보였다.

### 3.2. RTWQI 평가

연구 기간(2010~2019년) 동안 연구 대상 주요 지류의 평균 RTWQI를 산정하여 Table 6에 나타내었다. RTWQI 산정 결과 산림 비율이 상대적으로 큰 섬강은 평균 80으로 “Excellent” 등급에 해당되어 오염물질이 거의 없는 청정수질의 상태로 항상 친수활동에 적합한 것으로 나타났다. 또한 산림 비율에 비해 농경지 비율이 상대적으로 큰 청미천과 양화천은 각각 평균 72, 63으로 “Good” 등급에 해당되어 비교적 양호한 수질을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 복하천은 평균 59로 “Fair” 등급에 해당되어 대체로 양호한 수질이나 오염물질이 유입되어 친수활동에 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다. 복하천의 RTWQI가 “Fair” 등급으로 나타난 이유는 Fig. 4와 같이 EC, T-N 항목에서 다른 지류에 비

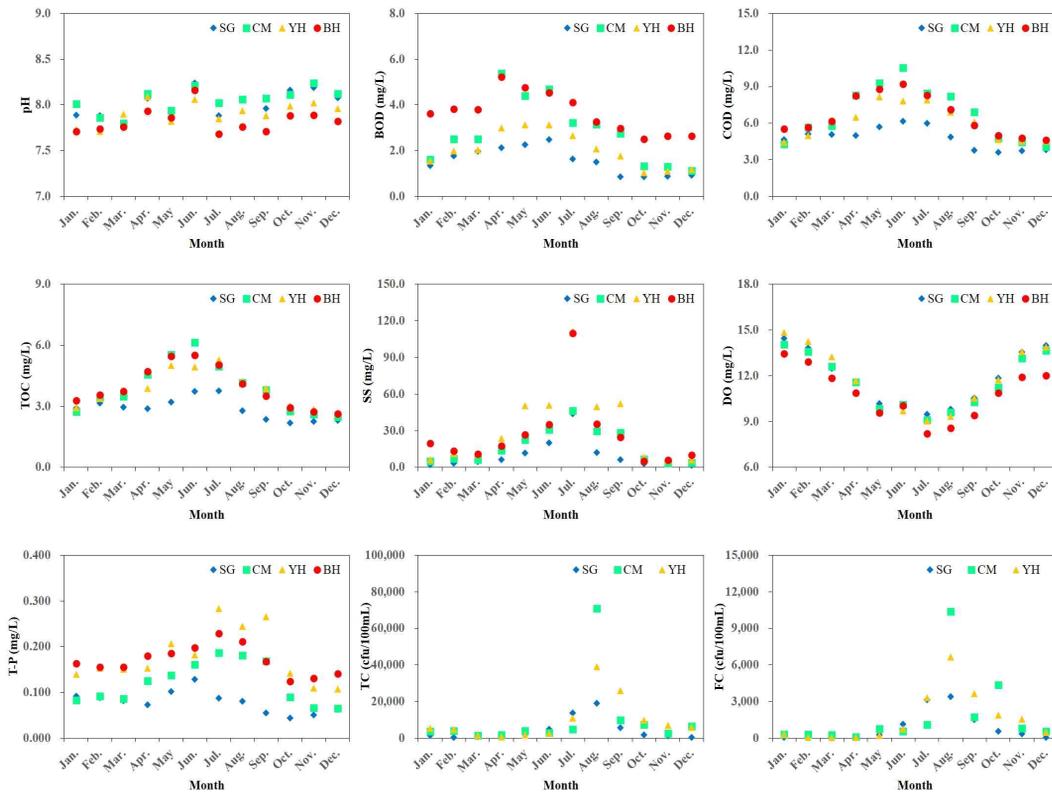


Fig. 3. Living environment standard monthly variation characteristics of major tributaries.

해상대적으로 높은 농도를 나타냈기 때문이다. 그리고 북한천의 생활환경 기준(BOD, T-P)이 “보통(III)” 등급에 해당되어 RTWQI 산정에 결정하는 3개 인자( $F_1, F_2, F_3$ )의 값을 증가시켜 RTWQI 값이 낮게 나타난 것으로 판단된다(Park et al., 2018). Lim et al.(2010)은 항목별 수질농도가 증가함에 따라 WQI는 감소하며, 이는 수질이 악화됨을 입증한다고 보고하였다.

그리고 주요 지류의 RTWQI 계절별 변동 특성을 Fig. 5에 나타내었다. 겨울에 우리나라의 대부분 하천은 수량이 적고, 오염물질 유입량이 적은 경우 상대적으로 하천 수질을 악화시킬 수 있는 계절적 수질특성이 있다. 그러나 본 연구에서는 RTWQI의 계절별 특성 결과 봄은 70(57~84), 여름은 61(49~80), 가을은 76(66~89), 겨울은 66(62~70)으로 모두 “Good” 등급에 해당되어 계절별 변동이 큰 차이는 보이지 않았다. 주요 지류의 계절별 RTWQI 결과에서는 가을에 “Good” 등급이 많았으며,

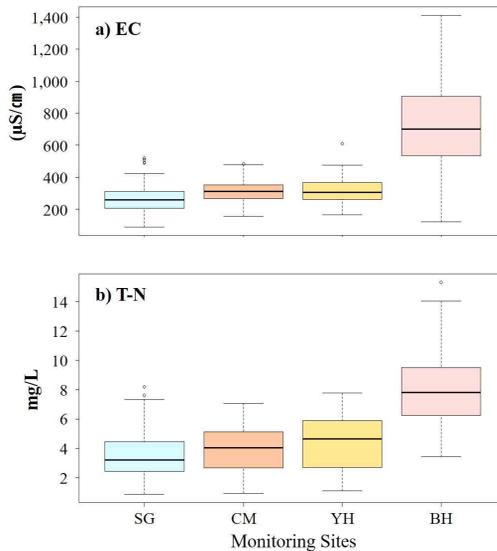
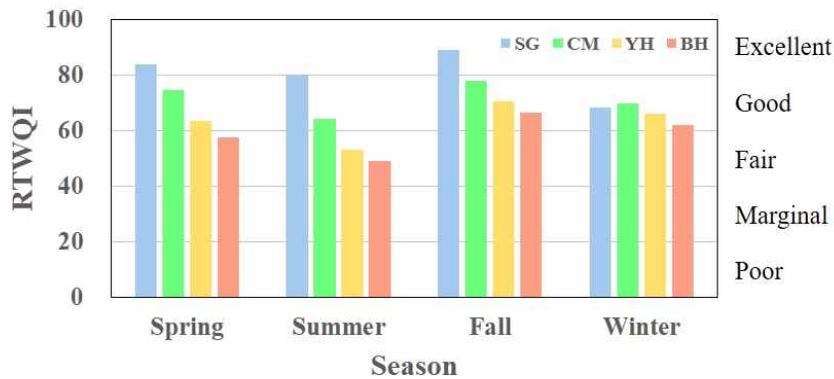


Fig. 4. Box plot of water quality parameter of monitoring sites. (a) EC, (b) T-N

**Table 6.** Result of the calculated mean RTWQI of the major tributaries

| Tributaries   | Code | $F_1$ | $F_2$ | nse  | $F_3$ | RTWQI | Rating    |
|---------------|------|-------|-------|------|-------|-------|-----------|
| Seomgang      | SG   | 30.00 | 2.50  | 0.32 | 13.26 | 80    | Excellent |
| Cheongmicheon | CM   | 43.59 | 3.63  | 0.76 | 30.97 | 72    | Good      |
| Yanghwacheon  | YH   | 48.85 | 4.07  | 1.41 | 37.69 | 63    | Good      |
| Bokhacheon    | BH   | 53.23 | 4.44  | 1.40 | 46.79 | 59    | Fair      |

**Fig. 5.** The characteristics of seasonal Variation for RTWQI.

여름에 “Fair” 등급이 집중되어 나타났다. 섬강은 봄부터 가을까지 RTWQI “Excellent” 등급을 보이다가 겨울에 “Good” 등급의 수질상태를 나타냈다. 청미천은 봄부터 겨울까지 RTWQI “Good” 등급의 수질상태를 나타내어 계절별 큰 차이는 보이지 않았다. 양화천은 봄, 가을 및 겨울에 RTWQI “Good” 등급에 해당되었으나 여름은 RTWQI 평균 53으로 “Fair” 등급의 수질상태를 나타냈다. 북하천은 가을부터 겨울까지 RTWQI “Good” 등급을 보이다가 봄부터 여름까지 RTWQI “Fair” 등급에 해당하는 수질상태를 나타냈다. Lee et al. (2020)은 상대적으로 WQI가 낮은 하천은 우선적으로 현장조사 및 수질오염을 악화시키는 원인을 찾아야 하며, 오염부하량 저감을 위한 고도처리 시설 개선, 소관역별 유역 중심의 물환경체계를 구축하는 등 체계적이고 효과적인 하천 수질관리가 필요하다고 판단하였다.

### 3.3. RTWQI 추이 및 변동계수 분석

연구 대상 주요 지류의 RTWQI 추이를 파악하고자 연구 기간(2010~2019년) 동안 월평균 RTWQI를 산정하여 Fig. 6에 나타내었다. 주요 지류의 RTWQI 추이 분

석 결과 북하천을 제외한 3개 지류(섬강, 청미천, 양화천)에서 증가(+) 하는 경향으로 나타났다. 특히 청미천은 2010~2016년에 비해 최근 3년(2017~2019년)에서 RTWQI의 변동이 적게 나타났다. 청미천의 최근(2017~2019년) 평균 강수량은 과거(2010~2016년)의 평균 강수량 10.111 mm 보다 높게 나타나 비점오염원의 감소 보다 TPLMS에 따른 효과로 판단되어 향후 이에 따른 추가분석을 수행하여 제시할 것이다. Fig. 6과 같이 주요 지류에서 여름에 “Fair” 등급의 빈도가 높았는데 이는 강우 시 비점오염원 등의 영향을 크게 받는 지류의 특성으로 인해 월별, 계절별 변화 정도가 상대적으로 크게 나타났다. 이를 통해 향후 지류의 수질관리는 비점오염원에 유발되는 분원성 오염 저감대책 등을 포함하는 지류별 특성에 맞는 수질관리가 필요하다고 판단된다(Shin et al., 2018).

그리고 RTWQI와 생활환경 기준(BOD, COD, TOC 및 T-P)의 월평균 변화 정도를 고려하기 위해 CV (Coefficient of Variation)를 산정하여 Fig. 7에 나타내었다. CV는 측정 단위와 평균값이 서로 다른 자료의 변화 정도를 비교 분석할 수 있다(Im and Son, 2016; Shin

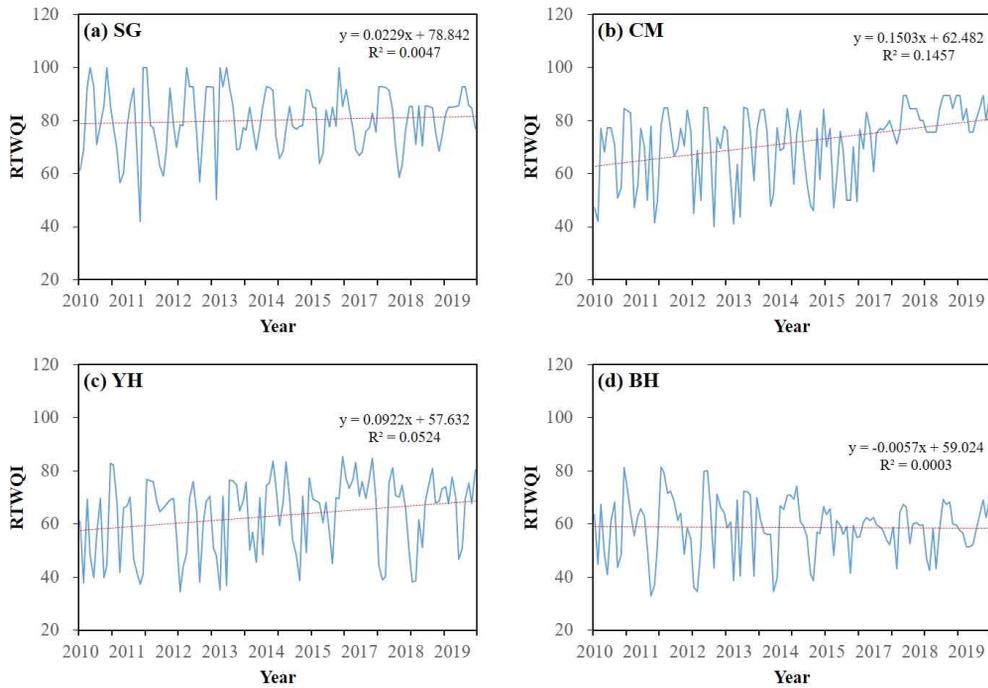


Fig. 6. The trends of variation for RTWQI of major tributaries. (a) SG, (b) CM, (c) YH, (d) BH

et al., 2018). CV 분석 결과 주요 지류의 RTWQI는 25% 이하로 나타났다. BOD, COD, TOC 및 T-P의 CV는 각각 평균 53%, 35%, 38%, 51%로 RTWQI에 비해 상대적으로 높게 나타나 RTWQI의 변화 정도가 작은 것을 알 수 있었다. Shin et al.(2018)은 CV가 낮은 WQI는 다양한 수질항목을 평가에 반영하므로 단일 지표(BOD,

T-P)로 수질을 평가할 때 수질의 상태를 저평가 또는 고 평가되는 단점을 극복할 수 있다고 하였다.

### 3.4. RTWQI와 생활환경 기준의 상관분석

RTWQI와 생활환경 기준 수질항목의 상관성을 파악하기 위하여 상관분석을 수행하였다. 상관분석에 사용한 수질 인자는 측정 단위가 상이하여 표준점수(standard score)인 Z-score로 변환하는 정규화를 진행하여 Table 7에 나타내었다. 지류별로 살펴보면 섬강은 RTWQI와 TOC 사이에 통계적으로 유의한 수준의 높은 음(-)의 상관성( $r=-0.504, p<0.01$ )이 있었다. 청미천은 RTWQI와 SS 사이에 통계적으로 유의한 수준의 높은 음(-)의 상관성( $r=-0.548, p<0.01$ )이 있었다. 양화천과 복하천은 RTWQI와 COD 사이에 통계적으로 유의한 수준의 높은 음(-)의 상관성 각각  $r=-0.714 (p<0.01)$ ,  $r=-0.638 (p<0.01)$ 로 나타났다. Seo and Choi (2014)의 연구에서도 RTWQI는 TOC, COD, SS와 높은 상관성( $p<0.01$ )이 있었으며, TC, FC와는 상관성이 매우 낮은 것으로 보고하였다. 따라서 본 연구 대상의 주요 지류에서 산정된

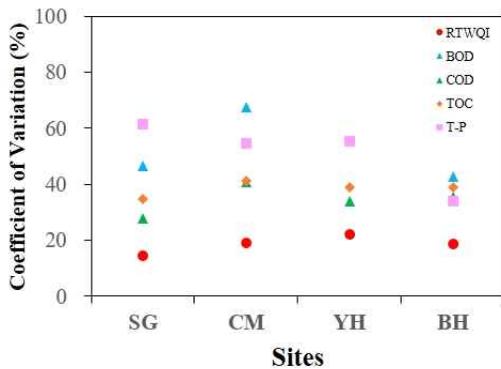


Fig. 7. The coefficient of variation for RTWQI, BOD, COD, TOC and T-P.

**Table 7.** Correlation coefficients between water quality parameters of living environment stands and RTWQI

| Parameter | SG-RTWQI | CM-RTWQI | YH-RTWQI | BH-RTWQI |
|-----------|----------|----------|----------|----------|
| RTWQI-pH  | 0.031    | 0.080    | 0.323**  | 0.047    |
| RTWQI-BOD | -0.301** | -0.288** | -0.618** | -0.513** |
| RTWQI-COD | -0.455** | -0.315** | -0.714** | -0.638** |
| RTWQI-TOC | -0.504** | -0.492** | -0.677** | -0.636** |
| RTWQI-SS  | -0.306** | -0.548** | -0.574** | -0.449** |
| RTWQI-DO  | -0.397** | -0.231** | -0.483** | -0.393** |
| RTWQI-T-P | -0.436** | -0.465** | -0.145   | -0.184*  |
| RTWQI-TC  | 0.004    | -0.213*  | -0.321** | -        |
| RTWQI-FC  | 0.028    | -0.165   | -0.314** | -        |

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

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed)

- No data

**Table 8.** Comparison of grade between RTWQI and living environment standard (BOD, T-P) of major tributaries

| Major tributaries | Difference of grade   |         |         |         |         |
|-------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|
|                   | Completely coincident | 1 grade | 2 grade | 3 grade | 4 grade |
| BOD Rate (%)      | 35.8                  | 43.3    | 17.1    | 3.8     | 0.0     |
| T-P Rate (%)      | 16.5                  | 28.5    | 50.2    | 4.8     | 0.0     |

RTWQI는 TOC, COD 및 SS의 영향을 받으며 유기오염물질 발생에 따른 수질 변화를 잘 반영하고 있음을 알 수 있었다. 그리고 지수항목이 많을수록 WQI의 안정성이 향상된다고 보고 하였지만 RTWQI 산정에 포함되지 않는 TC, FC은 RTWQI와 상관성이 낮아 향후 지수항목 검토에 있어서 지수항목으로 적절하지 못한 것으로 판단된다.

### 3.5. RTWQI와 생활환경 기준의 비교

하천의 수질을 종합적으로 평가할 수 있는 수질지표인 RTWQI와 환경부의 TPLMS 관리 대상 물질인 BOD, T-P 항목을 생활환경 기준에 적용하여 비교 검토하였다(Table 8). 주요 지류에서 산정한 RTWQI는 BOD 생활환경 기준 비교 결과 완전 일치 35.8%, 1등급 차이 43.3%, 2등급 차이 17.1%, 3등급 차이 3.8%로 나타났다. 그러나 T-P 생활환경 기준 비교 결과 완전 일치 16.5%, 1등급 차이 28.5%, 2등급 차이 50.2%, 3등급 차이 4.8%로 나타났다. 본 연구를 통하여 남한강 하류 유

역 주요 지류에서 산정한 RTWQI는 BOD 생활환경 기준을 반영하면서 하천의 수질 특성을 구분해 주는 기능이 있는 것으로 나타났다. 그러나 RTWQI와 T-P 생활환경 기준 비교 결과 주요 지류의 수질 특성을 다르게 평가 되는 것을 알 수 있었다. Kal et al.(2017)의 연구에 따르면 단일 항목으로 수질을 평가하는 하천 생활환경 기준(BOD, T-P)에 비해 수질에 미치는 영향들을 고려하여 수질을 종합적으로 평가할 수 있는 RTWQI가 지류의 수질을 잘 반영하고 있다고 보고하였다. 또한, Shin et al.(2018)의 연구에서는 본류에 비해 환경용량이 상대적으로 적은 지류는 특정 항목(BOD, T-P)만을 기준으로 수질평가를 수행할 경우 수질정보를 정확히 제공하지 못할 수 있어 지류의 종합적인 수질평가를 위해서는 RTWQI가 적용될 수 있을 것으로 판단하였다. 현재의 RTWQI는 국내의 하천 수질에 맞춰 항목별 지수범위 기준이 마련되어 있으나, 이화학적 항목(수온, pH, 전기전도도, DO, TOC, T-N, T-P, 탁도)만으로 구성되어 있는 한계점이 있어 유역 특성을 고려한 수질 항목의 다양성 및

항목별 지수범위 기준 보완이 필요하다고 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 남한강 하류로 유입되는 주요 지류(섬강, 청미천, 양화천, 복하천)를 대상으로 오염원 관리 및 수질의 상태를 파악하기 위하여 2010년 1월부터 2019년 12월까지의 실시간 수질지수(RTWQI)를 산정하여 수질 특성을 평가하였다. 그리고 RTWQI와 하천 생활환경 기준(BOD, T-P)과 비교 분석을 통해 남한강 하류 주요 지류 수질평가에 관한 RTWQI의 적용성을 검토하였다. 본 연구에서 도출된 주요 결론 및 고찰은 다음과 같다.

남한강 하류 주요 지류의 BOD 생활환경 기준 결과 섬강은 “좋음”(Ib) 등급, 청미천, 양화천은 “약간 좋음”(II) 등급, 복하천은 “보통”(III) 등급으로 나타났다. 그리고 T-P 생활환경 기준 결과 섬강은 “약간 좋음”(II) 등급, 청미천, 양화천 및 복하천은 “보통”(III) 등급으로 나타났다. 특히 복하천은 다른 지류에 비해 상대적으로 EC, T-N 항목에서 높은 농도를 나타냈다. 이는 전형적인 농촌하천인 복하천의 주요 오염원이 축산단지 및 농경지 등 비점오염원이 산재되어 있기 때문으로 판단된다. 그리고 주요 지류의 계절별 변화 특성 결과 봄에 BOD의 농도가 높았고 T-P는 여름에 농도가 높은 특성을 보였다.

주요 지류의 RTWQI를 산정한 결과 섬강은 80으로 “Excellent” 등급, 청미천, 양화천은 각각 72, 63으로 “Good” 등급, 복하천은 59로 “Fair” 등급을 나타냈다. 주요 지류의 수질상태를 RTWQI 등급으로 평가할 때 섬강, 청미천, 양화천은 “Good” 등급 이상으로 비교적 양호한 수질을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 복하천은 “Fair” 등급으로 대체로 양호한 수질을 유지하며 시급한 수질오염은 유발되지 않으나 오염물질이 유입되어 친수활동에 영향을 미칠 수 있어 수질개선 방안이 필요하다고 판단된다. 복하천의 수질개선 방안으로 가축 분뇨 관리강화, 환경기초처리시설의 확충 및 기존의 공공하수처리시설의 고도처리 시설 도입 등의 필요하다고 판단된다. 주요 지류의 RTWQI 계절별 변화 특성 결과 가을(76), 봄(70), 가을(66), 여름(61) 순으로 RTWQI의 점수가 높았으며, RTWQI “Good” 등급 이상의 수질상태를 나타내어 계절별로 큰 차이는 나타나지 않았다.

하천의 수질을 종합적으로 평가할 수 있는 수질 지표인 RTWQI와 현재 우리나라에서 수질평가 기준으로 사용되고 있는 하천 생활환경 기준과의 비교 결과 RTWQI는 BOD 생활환경 기준의 수질 특성을 반영하면서 주요 지류의 수질평가 적용이 가능한 것으로 나타났다. 그러나 RTWQI와 T-P 생활환경기준과의 비교 결과 주요 지류의 수질 특성을 다르게 평가되는 것을 알 수 있었다. 이는 남한강 하류의 주요 지류는 T-P 생활환경 기준 “보통” 등급 이하의 수질 상태를 나타냈으며, RTWQI 산정에 기여하는 T-P 항목이 지수 범위 기준을 초과하는 위반 횟수가 많았기 때문으로 판단된다. 그리고 RTWQI는 TOC, SS 항목과 매우 높은 상관성( $p < 0.01$ )이 있었으며, BOD, COD, TOC 및 T-P 항목에 비해 변동계수(CV)의 변화 정도가 작은 것으로 나타나 수질의 상태를 저평가 또는 고평가되는 단점을 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구를 통하여 남한강 하류로 유입되는 주요 지류의 RTWQI를 산정하여 수질특성을 파악할 수 있었다. 그리고 효율적인 주요 지류의 수질평가를 위해서는 RTWQI를 활용한 수질평가가 신뢰성이 높았으며, 단일 수질지표로 평가하는 단점을 보완할 수 있을 것으로 판단되었다. 향후 RTWQI 및 한국형 WQI 모델 개발을 위해서는 수계 및 유역의 특성을 고려한 수질 항목의 다양성 및 항목별 지수범위 기준 보완에 대한 구체적인 연구가 필요하다고 판단된다.

#### 감사의 글

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원 한강물환경연구소의 지원을 받아 수행 하였습니다(NIER-2021-01-01-134).

#### REFERENCES

- Cho, Y. C., Park, M. J., Shin, K. Y., Choi, H. M., Kim, S. H., Yu, S. J., 2019, A Study on grade classification for improvement of water quality and water quality characteristics in the Han river watershed tributaries, J. Environ. Impact Assess., 28(3), 215-230.
- Choi, D. Y., Shin, E. S., 1997, Development and Application of water quality index to river water quality management, J. Korean Soc. Water Environ., 13(4),

- 415-425.
- Gitau, M. W., Chen, J., Ma, Z., 2016, Water quality indices as tools for decision making and management, *Water Re-sour. Manage.*, 30(8), 2591-2610.
- Im, T. H., Son, Y. G., 2016, Water quality analysis in Nakdong river tributaries, *J. Environ. Sci. Int.*, 25(12), 1661-1671.
- Jung, K. Y., Ahn, J. M., Kim, K. S., Lee, I. J., Yang, D. S., 2016, Evaluation of water quality characteristics and water quality improvement grade classification of Geumho river tributaries, *J. Environ. Sci. Int.*, 25(6), 767-787.
- Jung, S. J., Kim, K. S., Seo, D. J., Kim, J. H., Lim, B. J., 2013, Evaluation of water quality characteristics and grade classification of Yeongsan river tributaries, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 29(4), 504-513.
- Jung, S. W., Park, J. H., 2005, Application of korean water quality index for the assessment of river water quality in the basin of Daecheong lake, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 21(5), 470-476.
- Kal, B. S., Park, J. B., Kim, S. H., Im, T. H., 2017, Assessment of tributary water quality using integrated water quality index, *J. Wetlands Research.*, 19(3), 311-317.
- Kim, J. I., Choi, J. W., An, K. G., 2014, Spatial and temporal variations of water quality in an urban Miho stream and some influences of the tributaries on the water quality, *J. Environ. Sci. Int.*, 23(3), 433-445.
- Kim, Y. J., Gal, B. S., Park, J. B., Kim, S. H., Im, T. H., 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.
- Kwon, T. H., 2013, A Study of consideration of flowing-in branches's effect on the water quality for improvement of the water quality in of Keumho river, Master's Thesis, Yeungnam University, Gyeongsangbuk-do, Korea.
- Lee, J. H., Ha, H. J., Lee, M. H., Lee, M. K., Kim, T. H., Cha, Y. K., Koo, J. Y., 2020, Assessment of water quality of major tributaries in Seoul using water quality index and cluster analysis, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 42(10), 452-462.
- Lee, S. R., Shin, J. Y., Lee, G. J., Sung, Y. S., Kim, K. S., Lim, K. J., Kim, J. G., 2018, Analysis of water pollutant load characteristics and its contributions during dry season: Focusing on major streams inflow into South-Han river of chungju-dam downstream, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 40(6), 247-257.
- Lim, B. J., Hong, J. Y., Yean, I. S., 2010, Application of Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) in Daecheong Reservoir using Automatic Water Quality Monitoring Data, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 26(5), 796-801.
- Min, K. S., 2011, Watershed management and restoration tributaries, *J. Korean Water Resour. Assoc.*, 44(3), 18-23.
- Ministry of Environment (ME), 2020, Water Environment Information System (WEIS), <http://water.nier.go.kr> (accessed Oct. 2020).
- Nam, W. K., Choi, I. W., Kim, Y. Y., Lim, H. S., Kim, M. J., Lim, C. K., Kim, S. H., Kim, T. H., 2017, A Plan to improve Bokha stream quality using water quality and pollution source analysis. *J. Korean Soc. Environ. Analysis.*, 20(3), 174-182.
- National Institute of Environmental Research (NIER), 2006, Development of water quality evaluation method and evaluation index, National Institute of Environmental Research, 13-18.
- National Institute of Environmental Research (NIER), 2009, Evaluation of water quality data from automated water quality monitoring network using water quality index (II), National Institute of Environmental Research, 1-115.
- Park, J. B., Kal, B. S., Kim, S. H., 2018, Long-term trend analysis of major tributaries of Nakdong river using water quality index, *J. Wetlands Research.*, 20(3), 201-209.
- Park, K. D., Kang, D. H., So, Y. H., Kim, I. K., 2019, Temporal-spatial variations of water quality level and water quality index on the living environmental standards in the west Nakdong river. *J. Environ. Sci. Int.*, 28(12), 1071-1083.
- Seo, I. W., Choi, S. Y., 2014, Development of river recreation index model by synthesis of water quality parameters, *J. Korean Soc. Civil Eng.*, 34(5), 1395-1408.
- Shin, S. H., Im, T. H., Kim, S. H., Shin, D. S., Kwon, H. G., 2018, Consideration in applying korean-comprehensive water quality index (K-CWQI) to assessment of water quality in the major tributaries of Gumho-river basin, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 18(2), 455-465.
- Shrestha, S., Kazama, F., 2007, Assessment of surface water

quality using multivariate statistical techniques: A Case study of the Fuji river basin, Japan, *Environmental Modelling & Software*, 22, 464-475.

Son, H. J., Seo, C. D., Yeom, H. S., Song, M. J., Kim, K. A., 2013, Detection characteristics of blood lipid lower agents (BLLAs) in the Nakdong river basin, *J. Environ. Sci. Int.*, 22(12), 1615-1624.

Yu, J. H., Lee, H. S., Lim, B. R., Kang, J. H., Ahn, T. U., Shin, H. S., 2020, Analysis of pollution characteristics in the mainstream and its tributaries of Gongneung stream using water quality index and pollution load data, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 36(2), 125-136.

---

• Expert Researcher. Yong-Chul Cho  
Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research  
yc800222@korea.kr

---

• Expert Researcher. Hyeon-Mi Choi  
Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research  
choihmi@korea.kr

• Expert Researcher. Bo-Mi Lee  
Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research  
kree28@korea.kr

• Senior Researcher. Dong-Seok Shin  
Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research  
sds8488@korea.kr

• Senior Researcher. Sang-Hun Kim  
Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research  
haemy@korea.kr

• Director. Soon-Ju Yu  
Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research  
ysu1221@korea.kr