

ORIGINAL ARTICLE

## 낙동강 주요 지류에서 생활환경 기준 수질 성분의 수질등급 및 회귀분석

강동환 · 소윤환 · 박경덕<sup>1)</sup> · 김일규<sup>2)\*</sup> · 김병우<sup>3)</sup>

부경대학교 환경연구소, <sup>1)</sup>부경대학교 마린융합디자인협동과정, <sup>2)</sup>부경대학교 환경공학과, <sup>3)</sup>한국수자원공사 K-water연구원 물순환연구소

### Water Quality Level of the Living Environmental Standards and Regression Analysis in the Major Tributaries of the Nakdong River

Dong-hwan Kang, Yoon-hwan So, Kyeong-deok Park<sup>1)</sup>, Il-kyu Kim<sup>2)\*</sup>, Byung-woo Kim<sup>3)</sup>

*Environmental Research Institute, Pukyong National University, Busan 48547, Korea*

<sup>1)</sup>*Interdisciplinary Program of Marine Convergence Design, Pukyong National University, Busan 48513, Korea*

<sup>2)</sup>*Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea*

<sup>3)</sup>*Water Resources Research Center, K-water Research Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 34045, Korea*

#### Abstract

In this study, the water quality components (pH, BOD, COD, TOC, SS, DO, TP) and the water quality, observed for 10 years (2008~2017) in the five tributaries of the Nakdong River with the highest flow rates, were analyzed. Monthly levels of the water quality components were estimated and regression functions were used to quantitatively explain the changes in the BOD and COD components, with respect to the TOC components. The results of analyzing the water quality levels in terms of the living environmental standards show that the lowest water quality was observed midstream (ST-3) and the highest water quality was observed upstream (ST-1 and ST-2). The regression function was estimated to be a linear function in all five tributaries, and the goodness of fit of the function was high upstream (ST-2), midstream (ST-3), and downstream (ST-4). According to the regression analysis using the observation data from 2008~2017, we found that the consumption of dissolved oxygen increased with an increase in organic matter in the major tributaries of the Nakdong River.

**Key words** : Nakdong river, Major tributaries, Water quality level, Regression analysis

#### 1. 서론

최근 국내 하천의 수질 관리는 4대강 권역(한강권역, 금강권역, 낙동강권역, 영산강-섬진강권역)에만 국한되

기보다는 4대강 권역의 상류와 중류 지역에 해당하는 지류와 지천에 대한 수질 관리의 중요성이 높아지고 있다. 환경부에서는 ‘ waterfront 살리기 마스터플랜’에서 지류와 지천의 수질관리를 ‘ waterfront 살리기’로 명칭하고 이에 대한 세부

Received 12 December, 2018; Revised 25 January, 2019;

Accepted 14 February, 2019

\*Corresponding author: Il-kyu Kim, Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 48547, Korea

Phone : +82-51-629-6528

E-mail : kimilky523@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.

사업을 추진하고 있다(Im and Son, 2016).

최근에 4대강 권역에서 수행된 지류와 지천 관련 연구로는 한강 수계의 14개 주요 지류하천에서 관측된 수질 자료를 이용하여 다변량통계분석기법을 통한 오염 요인과 유역오염원을 종합적으로 평가(Kim and Lee, 2011), 금강 수계의 18개 지류에서 하천유량과 수질 모니터링 자료를 이용하여 오염물질의 정량적인 분석을 통한 수환경 관리방안 제시(Lim et al., 2010), 금강 수계의 42개 하천에서 수질 및 유량 모니터링 자료에 의한 오염원 그룹별 배출부하량 산정 및 수질개선이 필요한 하천 유역의 선정(Cho et al., 2012), 영산강 수계 지류와 지천 중 66개 지점에서 수질자료의 통계 분석을 통한 영산강 하천의 등급화 수행(Jung et al., 2013), 낙동강 수계의 38개 지류에서 유량과 수질 자료를 이용하여 상관성 분석을 통한 기준 유량과 기준수질농도를 지정하여 우선관리 지점 선정 연구(Na et al., 2015), 낙동강 지류 348개 하천의 총 670개 지점에서 2010년 7월부터 2011년 1월까지 7개월 동안 TOC와 COD를 측정하여 낙동강 수계의 유기물 분포 현황을 제시하고 상관관계 및 회귀분석을 통해 유기물 지표의 전환과 난분해성 유기물 관리의 기초자료 제공(Kim et al., 2013), 낙동강 수계의 중점관리 하천 35개 지류와 지천의 수질 및 유량을 모니터링하고 수질오염농도, 발생부하량, 계절별 오염특성과 수질항목 간 상관관계 및 다중회귀분석을 통한 지류중심의 오염특성을 확인한 연구(Na et al., 2016), 낙동강 지류와 지천 195개 지점에서 2015년도에 관측된 자료를 이용하여 수질농도 및 오염부하량 등의 수질현황 분석(Im and Son, 2016), 낙동강 유역에서 중점관리지류·지천으로 관리되고 있는 38개 지류·지천에 대한 하천의 유역 특성, 오염원 특성 및 오염부하량 인자들을 추출한 다변량통계분석을 수행하여 하천의 합리적인 관리 정책 수립을 위한 지류와 지천의 유형화(Kim et al., 2018) 등이 수행되었다.

기존에 수행된 선행 연구들은 4대강 권역에 해당하는 지류와 지천의 합리적인 관리를 위한 유량과 수질 농도를 이용한 오염부하량 산정, 중점관리대상 지역 선정, 오염원 파악 등을 연구하기 위해 다양한 통계분석기법을 적용하였다. 대부분의 연구들은 국지적인 지역(불특정 중권역, 일부 모니터링 선정 지점 등)에서 관측된 5년 이하 기간 동안의 수질과 유량의 통계적인 연/계절 평균값을 이용하여 수행되었다. 이러한 연구들을 보완하기 위

해서는 4대강 권역을 대표할 수 있는 지류와 지천을 선정하고 대표적인 지류에서 관측된 수질 자료의 월평균값을 이용한 계절 변동과 오염 현황 분석이 필요하며, 또한 기후 조건을 고려할 수 있는 10년 정도의 연속적인 관측 자료를 이용해야 한다.

본 연구에서는 낙동강 상류, 중류, 하류의 주요 지류인 내성천, 위천, 금호강, 남강, 밀양강에서 낙동강 본류에 합류하기 이전의 최종 관측 지점에서 10년(2008~2017년) 동안 관측된 생활환경 기준 수질성분(pH, BOD, COD, TOC, SS, DO, T-P)을 5개 지류별로 기술통계 분석하고, 지류별 10년 동안 생활환경 기준 수질 성분의 월평균 값을 산정하여 계절별 변동 특성을 분석하였다. 또한 생활환경 기준의 수질등급을 적용하여 7개 성분에 대한 5개 지류의 월별 수질등급 변동을 파악하고, 회귀분석을 통해 수질성분 사이의 상관성과 유기물 항목 사이의 특성 분석을 수행하였다.

## 2. 연구 방법

낙동강은 태백산 황지에서 발원하여 남해에서 바다로 흘러 들어가는 우리나라 제 2의 하천으로 유역 면적은 23,817 km<sup>2</sup>, 유로 연장은 525 km 정도이며, 낙동강 권역에 포함되는 국가 및 지방 하천은 약 1,200여 개 정도이고 소하천은 약 7,000여 개 정도이다(Na et al., 2016). 본 연구에서는 낙동강으로 유입되는 지류와 지천 중 유량이 가장 많은 대표적인 5개 지류(상류부의 내성천과 위천, 중류부의 금호강, 하류부의 남강과 밀양강)에서 2008~2017년 동안 관측된 생활환경 기준 수질 성분을 정리하고 분석하였다. 내성천에는 14개, 위천에는 7개, 금호강에는 15개, 남강에는 14개, 밀양강에는 15개의 관측소가 운영되고 있으며, 본 연구에서는 각각의 지류에 해당하는 관측소 중 낙동강 본류에 가장 근접한 최하류부의 관측소 자료를 이용하였다. 본 연구에서는 내성천 3-1 관측소(ST-1), 위천 6 관측소(ST-2), 금호강 6 관측소(ST-3), 남강 4-1 관측소(ST-4), 밀양강 3 관측소(ST-5)가 선정되었다(Fig. 1). 5개 관측소에서 2008~2017년 동안 관측된 생활환경 기준 수질 성분(pH, BOD, COD, TOC, SS, DO, T-P) 자료의 월평균값을 산정하고 수질 성분의 관측소별 box-whisker plots를 작성하였으며, 또한 7개 성분에 대한 월별 수질등급을 산정하고 5개 관측소별

수질성분 사이의 회귀분석을 통해 상관성을 파악하였고 또한 유기물 항목 사이의 특성을 분석하였다.

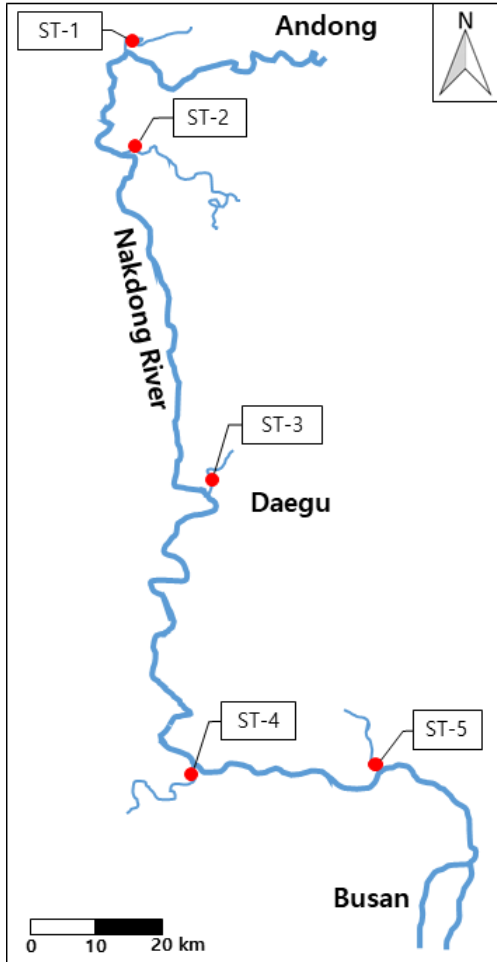


Fig. 1. Major tributaries of the Nakdong river and station points.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 낙동강 주요 지류에서 생활환경 기준 수질 성분의 월 변동 분석

내성천(ST-1), 위천(ST-2), 금호강(ST-3), 남강(ST-4), 밀양강(ST-5)에서 관측된 생활환경 기준 수질성분의 10년(2008~2017년) 동안 월별 평균(성분별 120개)을 구하여 box-whisker plots을 작성하였다(Fig. 2).

pH 성분의 중앙값은 5개 지류 모두에서 6.5~8.5(매우 좋음)의 범위로 나타났으며, pH 8.5 이상의 높은 값들도 5개 지류 모두에서 나타났다. BOD 성분의 중앙값은 5개 지류 모두에서 5 mg/L 이하(보통)로 나타났으며, 내성천과 밀양강에서 8 mg/L 이상의 이상치가 나타났다. COD 성분의 중앙값은 5개 지류에서 7 mg/L 이하(보통)로 나타났으며, 금호강과 밀양강에서 11 mg/L 초과하는 값이 나타났다. TOC 성분의 중앙값은 금호강을 제외한 4개 지류에서 4 mg/L 이하(약간 좋음)로 나타났으며, 금호강과 밀양강에서 8 mg/L 초과하는 값이 나타났다. SS 성분의 중앙값은 5개 지류 모두 25 mg/L 이하(매우 좋음)로서 낮았으며, 내성천에서 100 mg/L 초과하는 이상치가 나타났다. DO 성분의 중앙값은 5개 지류에서 7.5 mg/L 이상(매우 좋음)으로 나타났으며, 내성천과 밀양강에서 5 mg/L 이하의 낮은 이상치가 나타났다. T-P 성분의 중앙값은 금호강을 제외한 4개 지류 모두에서 0.1 mg/L 이하(약간 좋음)의 값을 보였으며, 금호강에서는 0.5 mg/L 이상의 높은 이상치가 나타났다. 생활환경 기준 수질성분 중 BOD, COD, TOC, T-P 성분에 의한 오염도는 금호강에서 가장 높은 것으로 판단되며, 다른 성분들은 5개 지류에서 유사하게 나타났다.

내성천(ST-1), 위천(ST-2), 금호강(ST-3), 남강(ST-4), 밀양강(ST-5)에서 관측된 생활환경 기준 수질성분에 대한 10년(2008~2017년) 동안의 자료(성분별 480여개)를 월별로 평균하여 구한 값을 Table 1에 정리하였다. 내성천에서 pH 성분은 7.5~8.1의 범위로 나타났으며, 6월에 가장 높고 1월에 가장 낮았다. BOD 성분은 1.5~2.2 mg/L의 범위로 나타났으며, 5월에 가장 높고 9월과 10월에 가장 낮았다. COD 성분은 2.0~5.2 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월에 가장 높고 1월에 가장 낮았다. TOC 성분은 1.5~4.0 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월에 가장 높고 12월에 가장 낮았다. SS 성분은 3.7~21.9 mg/L의 범위로 나타났으며, 5월과 8월에 가장 높고 10월에 가장 낮았다. DO 성분은 7.7~13.1 mg/L의 범위로 나타났으며, 1월과 2월에 가장 높고 8월에 가장 낮았다. T-P 성분은 0.05~0.15 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월에 가장 높고 1월, 3월, 11월, 12월에 가장 낮았다. 내성천에서 pH, BOD, COD, TOC, SS, T-P 성분은 여름에 높고 겨울에 낮게 나타났으며, DO 성분은 겨울에 높고 여름에 낮은 경향을 보였다.

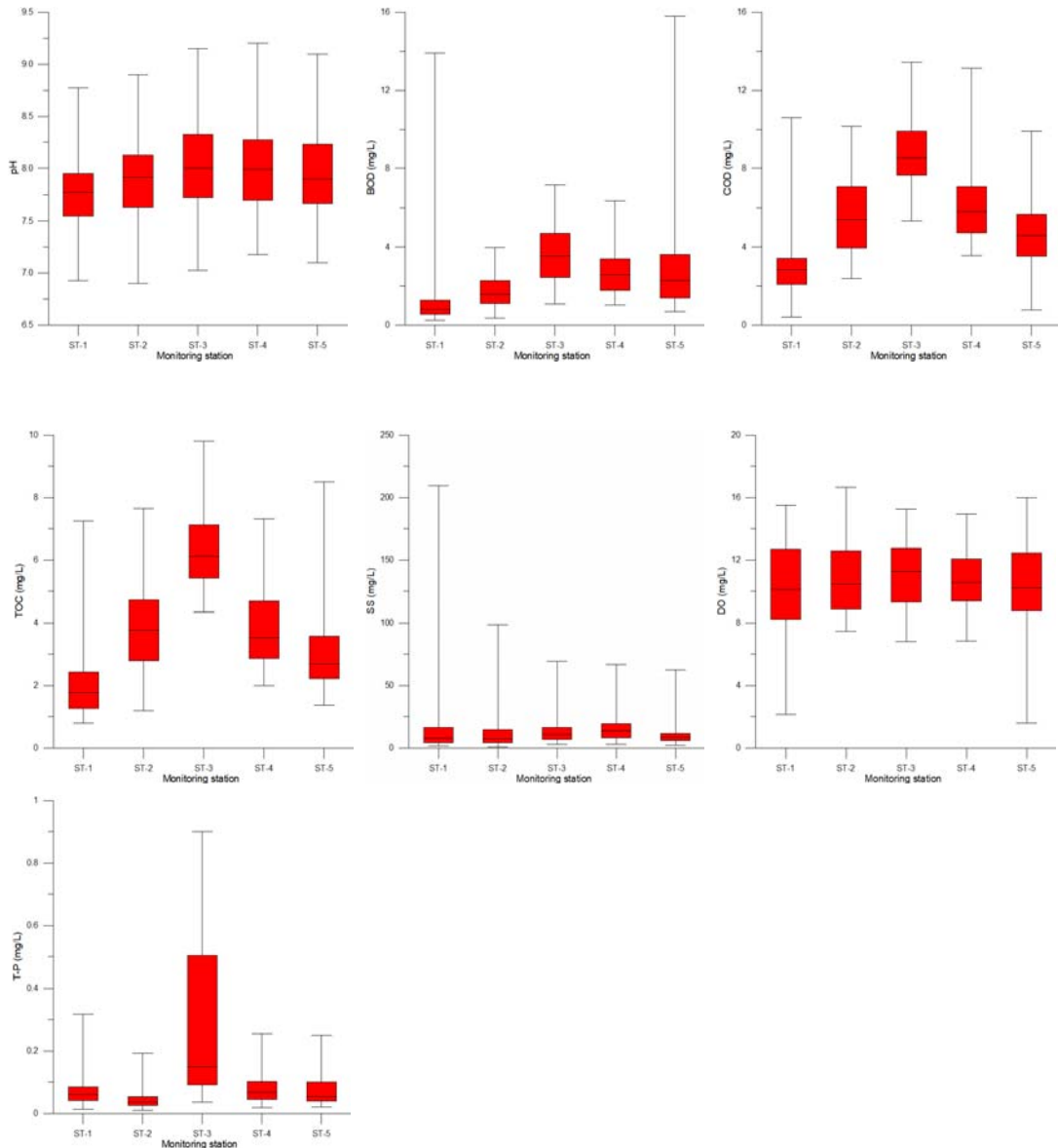


Fig. 2. Box-whisker plots of water quality components.

위천에서 pH 성분은 7.6~8.2의 범위로 나타났으며, 10월에 가장 높고 1월에 가장 낮았다. BOD 성분은 1.0~2.6 mg/L의 범위로 나타났으며, 5월에 가장 높고 1월에 가장 낮았다. COD 성분은 3.8~7.5 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월과 8월에 가장 높고 1월에 가장 낮았다. TOC 성분은 2.6~5.4 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월

에 가장 높고 1월에 가장 낮았다. SS 성분은 5.1~33.8 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월에 가장 높고 1월에 가장 낮았다. DO 성분은 8.2~14.5 mg/L의 범위로 나타났으며, 1월에 가장 높고 7월에 가장 낮았다. T-P 성분은 0.02~0.09 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월과 8월에 가장 높고 1월과 12월에 가장 낮았다. 위천에서 pH, BOD,

**Table 1.** Monthly average value of water quality components

| Station | Month | pH  | BOD | COD  | TOC | SS   | DO   | T-P  |
|---------|-------|-----|-----|------|-----|------|------|------|
| ST-1    | Jan   | 7.5 | 2.0 | 2.0  | 1.6 | 6.2  | 13.1 | 0.05 |
|         | Feb   | 7.6 | 2.1 | 2.9  | 2.1 | 16.3 | 13.1 | 0.07 |
|         | Mar   | 7.7 | 1.9 | 2.6  | 1.7 | 10.9 | 11.7 | 0.05 |
|         | Apr   | 7.7 | 1.8 | 2.8  | 2.0 | 13.6 | 10.2 | 0.06 |
|         | May   | 7.9 | 2.2 | 3.8  | 2.7 | 21.9 | 9.3  | 0.07 |
|         | Jun   | 8.1 | 1.8 | 3.3  | 2.5 | 11.3 | 8.2  | 0.06 |
|         | Jul   | 7.8 | 1.9 | 5.2  | 4.0 | 71.2 | 7.9  | 0.15 |
|         | Aug   | 7.8 | 1.6 | 3.5  | 2.7 | 21.9 | 7.7  | 0.10 |
|         | Sep   | 7.8 | 1.5 | 2.9  | 2.2 | 14.9 | 8.1  | 0.08 |
|         | Oct   | 7.8 | 1.5 | 2.1  | 1.5 | 3.7  | 9.2  | 0.06 |
|         | Nov   | 7.8 | 1.8 | 2.5  | 1.7 | 8.5  | 10.6 | 0.05 |
|         | Dec   | 7.7 | 1.6 | 2.1  | 1.5 | 5.4  | 12.5 | 0.05 |
| ST-2    | Jan   | 7.6 | 1.0 | 3.8  | 2.6 | 5.1  | 14.5 | 0.02 |
|         | Feb   | 7.9 | 1.5 | 4.4  | 2.9 | 7.6  | 14.3 | 0.03 |
|         | Mar   | 7.9 | 1.7 | 4.8  | 3.2 | 8.3  | 12.3 | 0.03 |
|         | Apr   | 8.0 | 1.7 | 5.1  | 3.5 | 11.1 | 10.8 | 0.03 |
|         | May   | 7.9 | 2.6 | 7.3  | 5.0 | 25.5 | 9.2  | 0.06 |
|         | Jun   | 8.0 | 2.1 | 7.3  | 5.2 | 12.0 | 8.9  | 0.05 |
|         | Jul   | 7.8 | 2.0 | 7.5  | 5.4 | 33.8 | 8.2  | 0.09 |
|         | Aug   | 7.9 | 2.0 | 7.5  | 5.2 | 25.9 | 8.5  | 0.09 |
|         | Sep   | 8.0 | 1.8 | 6.0  | 4.1 | 14.0 | 9.2  | 0.05 |
|         | Oct   | 8.2 | 1.4 | 4.6  | 3.1 | 6.0  | 10.0 | 0.03 |
|         | Nov   | 7.9 | 1.4 | 4.2  | 2.9 | 5.6  | 11.3 | 0.03 |
|         | Dec   | 7.7 | 1.3 | 4.1  | 2.7 | 7.0  | 12.9 | 0.02 |
| ST-3    | Jan   | 7.7 | 2.3 | 7.8  | 5.8 | 6.0  | 13.6 | 0.38 |
|         | Feb   | 7.8 | 3.7 | 9.2  | 6.4 | 12.0 | 13.4 | 0.33 |
|         | Mar   | 8.0 | 4.7 | 9.9  | 6.6 | 15.0 | 12.6 | 0.33 |
|         | Apr   | 8.0 | 4.5 | 9.5  | 6.6 | 13.6 | 11.1 | 0.30 |
|         | May   | 8.2 | 4.6 | 9.8  | 7.0 | 15.7 | 10.1 | 0.31 |
|         | Jun   | 8.5 | 5.0 | 10.9 | 7.8 | 20.0 | 10.4 | 0.31 |
|         | Jul   | 8.2 | 4.1 | 9.0  | 6.5 | 18.0 | 9.3  | 0.24 |
|         | Aug   | 8.0 | 3.8 | 9.1  | 6.5 | 27.2 | 8.6  | 0.28 |
|         | Sep   | 8.1 | 3.2 | 8.2  | 6.0 | 12.6 | 9.6  | 0.25 |
|         | Oct   | 8.2 | 2.7 | 7.6  | 5.6 | 10.2 | 10.3 | 0.27 |
|         | Nov   | 7.9 | 2.6 | 7.6  | 5.4 | 7.1  | 11.3 | 0.29 |
|         | Dec   | 7.8 | 2.1 | 7.2  | 5.3 | 6.4  | 12.9 | 0.27 |
| ST-4    | Jan   | 7.8 | 2.3 | 5.2  | 3.3 | 7.5  | 13.6 | 0.07 |
|         | Feb   | 7.7 | 2.6 | 5.7  | 3.4 | 11.3 | 13.1 | 0.08 |
|         | Mar   | 7.9 | 3.2 | 6.4  | 3.6 | 14.0 | 11.9 | 0.08 |
|         | Apr   | 7.9 | 2.9 | 5.6  | 3.3 | 13.8 | 10.7 | 0.07 |
|         | May   | 8.1 | 2.9 | 5.7  | 3.4 | 17.8 | 9.8  | 0.07 |
|         | Jun   | 8.4 | 3.8 | 7.2  | 4.5 | 17.6 | 9.1  | 0.09 |
|         | Jul   | 7.9 | 2.8 | 7.1  | 4.7 | 30.4 | 8.7  | 0.10 |
|         | Aug   | 8.2 | 3.1 | 7.0  | 4.3 | 24.5 | 8.9  | 0.10 |
|         | Sep   | 8.3 | 2.7 | 6.7  | 4.2 | 23.0 | 9.5  | 0.08 |
|         | Oct   | 8.2 | 2.5 | 6.2  | 3.9 | 15.1 | 10.1 | 0.07 |
|         | Nov   | 7.9 | 1.9 | 5.2  | 3.1 | 8.7  | 11.1 | 0.06 |
|         | Dec   | 7.9 | 2.0 | 5.2  | 3.1 | 7.6  | 13.1 | 0.05 |

|      |     |     |     |     |     |      |      |      |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| ST-5 | Jan | 7.8 | 2.9 | 3.4 | 2.2 | 6.1  | 12.9 | 0.09 |
|      | Feb | 7.9 | 4.0 | 5.2 | 3.3 | 9.8  | 13.1 | 0.09 |
|      | Mar | 8.0 | 4.0 | 5.3 | 3.2 | 11.9 | 12.1 | 0.08 |
|      | Apr | 7.9 | 3.3 | 4.6 | 2.9 | 8.6  | 10.0 | 0.07 |
|      | May | 8.1 | 3.4 | 4.9 | 3.1 | 10.0 | 8.8  | 0.07 |
|      | Jun | 8.3 | 3.9 | 5.9 | 4.2 | 12.4 | 8.9  | 0.09 |
|      | Jul | 7.9 | 3.2 | 5.5 | 4.2 | 20.1 | 8.2  | 0.07 |
|      | Aug | 7.8 | 2.7 | 4.9 | 3.3 | 13.6 | 7.9  | 0.07 |
|      | Sep | 8.1 | 2.8 | 4.7 | 3.2 | 8.4  | 8.7  | 0.07 |
|      | Oct | 8.1 | 2.6 | 4.1 | 2.7 | 7.2  | 9.3  | 0.06 |
|      | Nov | 8.1 | 2.6 | 4.0 | 2.5 | 6.0  | 10.7 | 0.08 |
|      | Dec | 7.8 | 2.8 | 3.5 | 2.2 | 4.9  | 12.0 | 0.08 |

COD, TOC, SS, T-P 성분은 여름에 높고 겨울에 낮게 나타났으며, DO 성분은 겨울에 높고 여름에 낮은 경향을 보였다.

금호강에서 pH 성분은 7.7~8.5의 범위로 나타났으며, 7월에 가장 높고 1월에 가장 낮았다. BOD 성분은 2.1~5.0 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월에 가장 높고 12월에 가장 낮았다. COD 성분은 7.2~10.9 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월에 가장 높고 12월에 가장 낮았다. TOC 성분은 5.3~7.8 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월에 가장 높고 12월에 가장 낮았다. SS 성분은 6.0~27.2 mg/L의 범위로 나타났으며, 8월에 가장 높고 1월에 가장 낮았다. DO 성분은 8.6~13.6 mg/L의 범위로 나타났으며, 1월에 가장 높고 8월에 가장 낮았다. T-P 성분은 0.24~0.38 mg/L의 범위로 나타났으며, 1월에 가장 높고 7월에 가장 낮았다. 금호강에서 pH, BOD, COD, TOC, SS 성분은 여름에 높고 겨울에 낮게 나타났으며, DO와 T-P 성분은 겨울에 높고 여름에 낮은 경향을 보였다.

남강에서 pH 성분은 7.7~8.4의 범위로 나타났으며, 6월에 가장 높고 2월에 가장 낮았다. BOD 성분은 1.9~3.8 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월에 가장 높고 11월에 가장 낮았다. COD 성분은 5.2~7.2 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월에 가장 높고 1월, 11월, 12월에 가장 낮았다. TOC 성분은 3.1~4.7 mg/L의 범위로 나타났으며, 8월에 가장 높고 11월과 12월에 가장 낮았다. SS 성분은 7.5~30.4 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월에 가장 높고 1월에 가장 낮았다. DO 성분은 8.7~13.6 mg/L의 범위로 나타났으며, 1월에 가장 높고 7월에 가장 낮았다. T-P 성분은 0.05~0.10 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월과 8월에 가장 높고 12월에 가장 낮았다. 남강에서

pH, BOD, COD, TOC, SS, T-P 성분은 여름에 높고 겨울에 낮게 나타났으며, DO 성분은 겨울에 높고 여름에 낮은 경향을 보였다.

밀양강에서 pH 성분은 7.8~8.3의 범위로 나타났으며, 6월에 가장 높고 1월, 8월, 12월에 가장 낮았다. BOD 성분은 2.6~4.0 mg/L의 범위로 나타났으며, 2월과 3월에 가장 높고 10월과 11월에 가장 낮았다. COD 성분은 3.4~5.9 mg/L의 범위로 나타났으며, 6월에 가장 높고 1월에 가장 낮았다. TOC 성분은 2.2~4.2 mg/L의 범위로 나타났으며, 6월과 7월에 가장 높고 1월과 12월에 가장 낮았다. SS 성분은 4.9~20.1 mg/L의 범위로 나타났으며, 7월에 가장 높고 12월에 가장 낮았다. DO 성분은 7.9~13.1 mg/L의 범위로 나타났으며, 2월에 가장 높고 8월에 가장 낮았다. T-P 성분은 0.06~0.09 mg/L의 범위로 나타났으며, 1월, 2월, 6월에 가장 높고 10월에 가장 낮았다. 밀양강에서 COD, TOC, SS 성분은 여름에 높고 겨울에 낮게 나타났으며, DO 성분은 겨울에 높고 여름에 낮은 경향을 보였다.

### 3.2. 생활환경 기준 수질 성분별 수질등급 분석

하천수의 생활환경 수질 성분과 그 기준은 Table 2에 제시되어 있으며, 수질등급은 I a (매우 좋음), I b (좋음), II (약간 좋음), III (보통), IV (약간 나쁨), V (나쁨), VI (매우 나쁨)으로 구분한다. 낙동강 주요 지류에서 관측된 생활환경 수질 성분의 10년 동안 월 평균값을 이용하여 수질등급을 정리하였다. pH와 DO 성분은 모든 하천에서 생활환경 기준의 I 등급에 해당하였으며, SS 성분도 7월을 제외한 모든 시기에 생활환경 기준의 I 등급을 유지하였다.

**Table 2.** Living environmental standards of stream water (MOE, 2017)

| Level | 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) |
|-------|---------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| I a   | 6.5~8.5 | ≤1            | ≤2            | ≤2            | ≤25          | ≥7.5         | ≤0.02         |
| I b   | 6.5~8.5 | ≤2            | ≤4            | ≤3            | ≤25          | ≥5.0         | ≤0.04         |
| II    | 6.5~8.5 | ≤3            | ≤5            | ≤4            | ≤25          | ≥5.0         | ≤0.1          |
| III   | 6.5~8.5 | ≤5            | ≤7            | ≤5            | ≤25          | ≥5.0         | ≤0.2          |
| IV    | 6.0~8.5 | ≤8            | ≤9            | ≤6            | ≤100         | ≥2.0         | ≤0.3          |
| V     | 6.0~8.5 | ≤10           | ≤11           | ≤8            | -            | ≥2.0         | ≤0.5          |
| VI    | -       | >10           | >11           | >8            | -            | <2.0         | >0.5          |

**Table 3.** Monthly water quality level of BOD concentration

| Month | ST-1 | ST-2 | ST-3 | ST-4 | ST-5 |
|-------|------|------|------|------|------|
| Jan   | I b  | I a  | II   | II   | II   |
| Feb   | II   | I b  | III  | II   | III  |
| Mar   | I b  | I b  | III  | III  | III  |
| Apr   | I b  | I b  | III  | II   | III  |
| May   | II   | II   | III  | II   | III  |
| Jun   | I b  | II   | III  | III  | III  |
| Jul   | I b  | I b  | III  | II   | III  |
| Aug   | I b  | I b  | III  | III  | II   |
| Sep   | I b  | I b  | III  | II   | II   |
| Oct   | I b  | I b  | II   | II   | II   |
| Nov   | I b  | I b  | II   | I b  | II   |
| Dec   | I b  | I b  | II   | I b  | II   |

낙동강 상류부에 위치한 내성천과 위천에서 BOD 성분은 대부분 I 등급으로 5월과 6월에 II 등급으로 나타났으며, 중류부에 해당하는 금호강과 하류부의 남강과 밀양강에서는 대부분 II~III 등급에 해당하였다. 낙동강에서 BOD 성분의 수질등급은 상류부에 비해 중하류부에 위치한 지류에서 낮으므로 낙동강 상류부에서 하류부로 갈수록 수질이 나빠질 것으로 판단된다(Table 3).

상류부의 내성천에서 COD 성분의 수질등급은 7월(III 등급)을 제외하고는 모두 I 등급으로 나타나고 위천에서는 I~IV 등급으로 계절별 변동이 심하고 5~8월의 수질이 약간 나쁜 것으로 나타났다. 중류부의 금호강에서 COD 성분의 수질등급은 IV~V 정도로서 2~6월 사이의 수질이 특히 나쁜 것으로 나타났다. 하류부의 남강에서 COD 성분의 수질등급은 대부분 III 등급이지만 6~7

월에 IV 등급을 보이고, 밀양강에서 수질등급은 I~III 등급 정도로서 11~1월 사이에는 수질이 좋지만 2~3월과 6~7월에는 수질이 약간 나쁜 것으로 나타났다(Table 4).

상류부의 내성천에서 TOC 성분의 수질등급은 7월(II 등급)을 제외하고는 모두 I 등급으로 수질이 좋았으며, 위천에서는 I~IV 등급 정도로서 계절별 변동이 심하고 11~2월 사이의 수질이 좋고 6~8월 사이의 수질이 약간 나쁜 것으로 나타났다. 중류부에 위치한 금호강에서 TOC 성분의 수질등급은 IV~V 등급 정도로서 2~8월 사이의 수질이 특히 나쁜 것으로 나타났다. 하류부의 남강에서 TOC 성분의 수질등급은 II~III 등급 정도로서 6~9월에 III 등급을 보였으며, 밀양강에서 수질등급은 I~III 등급 정도로서 6~7월 사이에는 수질이 보통이지만 나머지 시기에는 수질이 좋은 것으로 나타났다. 낙동강에서

Table 4. Monthly water quality level of COD concentration

| Month | ST-1 | ST-2 | ST-3 | ST-4 | ST-5 |
|-------|------|------|------|------|------|
| Jan   | I a  | I b  | IV   | III  | I b  |
| Feb   | I b  | II   | V    | III  | III  |
| Mar   | I b  | II   | V    | III  | III  |
| Apr   | I b  | III  | V    | III  | II   |
| May   | I b  | IV   | V    | III  | II   |
| Jun   | I b  | IV   | V    | IV   | III  |
| Jul   | III  | IV   | IV   | IV   | III  |
| Aug   | I b  | IV   | V    | III  | II   |
| Sep   | I b  | III  | IV   | III  | II   |
| Oct   | I b  | II   | IV   | III  | II   |
| Nov   | I b  | II   | IV   | III  | I b  |
| Dec   | I b  | II   | IV   | III  | I b  |

Table 5. Monthly water quality level of TOC concentration

| Month | ST-1 | ST-2 | ST-3 | ST-4 | ST-5 |
|-------|------|------|------|------|------|
| Jan   | I a  | I b  | IV   | II   | I b  |
| Feb   | I b  | I b  | V    | II   | II   |
| Mar   | I a  | II   | V    | II   | II   |
| Apr   | I a  | II   | V    | II   | I b  |
| May   | I b  | III  | V    | II   | II   |
| Jun   | I b  | IV   | V    | III  | III  |
| Jul   | II   | IV   | V    | III  | III  |
| Aug   | I b  | IV   | V    | III  | II   |
| Sep   | I b  | III  | IV   | III  | II   |
| Oct   | I a  | II   | IV   | II   | I b  |
| Nov   | I a  | I b  | IV   | II   | I b  |
| Dec   | I a  | I b  | IV   | II   | I b  |

유기물질의 유입은 중류부에 해당하는 금호강을 통해 다량 유입되었을 것이며, 상류부와 하류부에서도 6~7월에는 많은 양의 유기물질이 낙동강으로 유입되었을 것이다 (Table 5).

상류부의 내성천에서 TP 성분의 수질등급은 7월(III 등급)을 제외하고는 모두 II등급으로 수질이 좋았으며, 위천에서 TP 성분의 수질등급은 I~II등급 정도로서 수질이 좋은 것으로 나타났다. 중류부에 위치한 금호강에서 TP 성분의 수질등급은 IV~V등급 정도로서 수질이 나쁘고 1~3월 및 5~6월 사이의 수질이 특히 나쁜 것으로

나타났다. 하류부의 남강과 밀양강에서 TP 성분의 수질등급은 모든 시기에 II등급으로서 수질이 좋은 것으로 나타났다(Table 6).

### 3.3. 낙동강 주요 지류에서 TOC, BOD, COD 성분의 회귀분석

내성천, 위천, 금호강, 남강, 밀양강 관측소에서 측정된 생활환경 기준 수질성분의 월 평균(120개)을 이용하여 상관성 분석을 수행하였으며(Table 7), 또한 TOC 성분에 의한 BOD와 COD 성분의 변화를 정량적으로 분석하기 위해 회귀함수를 추정하였다(Fig. 3과 4).



**Table 6.** Monthly water quality level of TP concentration

| Month | ST-1 | ST-2 | ST-3 | ST-4 | ST-5 |
|-------|------|------|------|------|------|
| Jan   | Ⅱ    | I a  | V    | Ⅱ    | Ⅱ    |
| Feb   | Ⅱ    | I b  | V    | Ⅱ    | Ⅱ    |
| Mar   | Ⅱ    | I b  | V    | Ⅱ    | Ⅱ    |
| Apr   | Ⅱ    | I b  | Ⅳ    | Ⅱ    | Ⅱ    |
| May   | Ⅱ    | Ⅱ    | V    | Ⅱ    | Ⅱ    |
| Jun   | Ⅱ    | Ⅱ    | V    | Ⅱ    | Ⅱ    |
| Jul   | Ⅲ    | Ⅱ    | Ⅳ    | Ⅱ    | Ⅱ    |
| Aug   | Ⅱ    | Ⅱ    | Ⅳ    | Ⅱ    | Ⅱ    |
| Sep   | Ⅱ    | Ⅱ    | Ⅳ    | Ⅱ    | Ⅱ    |
| Oct   | Ⅱ    | I b  | Ⅳ    | Ⅱ    | Ⅱ    |
| Nov   | Ⅱ    | I b  | Ⅳ    | Ⅱ    | Ⅱ    |
| Dec   | Ⅱ    | I a  | Ⅳ    | Ⅱ    | Ⅱ    |

모든 관측소에서 수질성분의 상관계수가 0.5 이상으로 나타난 것은 BOD와 TOC 성분으로서, 내성천에서 0.52로서 가장 낮고 남강에서 0.77로서 가장 높았다. 이

는 낙동강 주요 지류에서 유기물 함량이 높아질수록 이를 분해하기 위한 호기성 미생물의 활동량이 활발하여 생화학적 산소 요구량이 증가하였기 때문이다. COD와

**Table 7.** Correlation coefficients between water quality components

| Components | ST-1         | ST-2         | ST-3        | ST-4         | ST-5         |
|------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| pH-BOD     | 0.06         | 0.41         | <b>0.60</b> | 0.49         | 0.18         |
| pH-COD     | 0.03         | 0.17         | 0.44        | 0.45         | 0.48         |
| pH-TOC     | 0.03         | 0.09         | 0.44        | 0.46         | 0.41         |
| pH-SS      | -0.12        | -0.28        | -0.01       | -0.06        | 0.02         |
| pH-DO      | -0.22        | -0.09        | 0.10        | -0.18        | 0.01         |
| pH-TP      | -0.22        | -0.16        | -0.22       | 0.16         | 0.19         |
| BOD-COD    | -0.36        | <b>0.76</b>  | <b>0.85</b> | <b>0.87</b>  | -0.20        |
| BOD-TOC    | <b>0.52</b>  | <b>0.67</b>  | <b>0.74</b> | <b>0.77</b>  | <b>0.60</b>  |
| BOD-SS     | 0.00         | 0.22         | 0.32        | 0.24         | 0.20         |
| BOD-DO     | -0.72        | -0.32        | 0.08        | -0.10        | <b>-0.65</b> |
| BOD-TP     | -0.19        | 0.36         | 0.01        | <b>0.73</b>  | 0.30         |
| COD-TOC    | 0.45         | <b>0.96</b>  | <b>0.86</b> | <b>0.92</b>  | 0.47         |
| COD-SS     | <b>0.82</b>  | 0.48         | 0.37        | 0.40         | 0.26         |
| COD-DO     | 0.10         | <b>-0.60</b> | 0.08        | -0.19        | 0.38         |
| COD-TP     | <b>0.77</b>  | <b>0.64</b>  | 0.27        | <b>0.79</b>  | 0.35         |
| TOC-SS     | <b>0.74</b>  | <b>0.53</b>  | 0.34        | 0.35         | <b>0.50</b>  |
| TOC-DO     | <b>-0.60</b> | <b>-0.61</b> | 0.02        | -0.20        | -0.38        |
| TOC-TP     | <b>0.58</b>  | <b>0.67</b>  | 0.19        | <b>0.69</b>  | 0.37         |
| SS-DO      | -0.16        | -0.43        | -0.41       | <b>-0.54</b> | -0.23        |
| SS-TP      | <b>0.86</b>  | <b>0.84</b>  | 0.12        | <b>0.55</b>  | 0.24         |
| DO-TP      | -0.11        | <b>-0.60</b> | -0.05       | -0.18        | 0.05         |

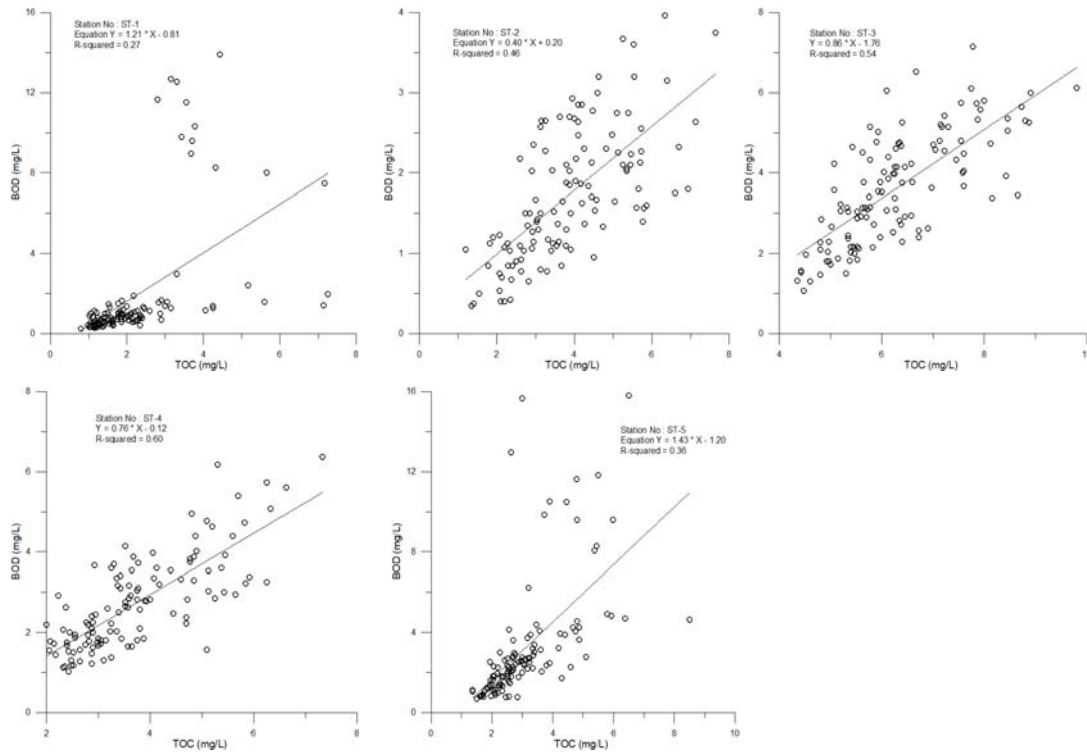


Fig. 3. Results of regression analysis between TOC and BOD.

TOC 성분의 상관계수는 위천, 금호강, 남강 관측소에서 각각 0.96, 0.86, 0.92로서 매우 높았으며, 이는 하천수 내 유기물 함량이 높아서 이를 분해하기 위해 소비되는 산소량이 증가하였음을 의미한다. BOD와 COD 성분의 상관계수는 위천, 금호강, 남강 관측소에서 각각 0.76, 0.85, 0.87로서 높았으며, 내성천과 밀양강 관측소에서는 낮은 음의 상관성을 보였다. TOC와 DO 성분의 상관계수는 내성천과 위천에서  $-0.60$ 과  $-0.61$ 로서 높게 나타났다. 이는 유기물질이 하천에 유입되면 이를 분해하는 호기성 미생물의 활동으로 인해 용존산소가 소모되어 하천수 내 용존산소량이 감소하였기 때문이다. pH 성분과 다른 성분 간의 상관계수는 모든 관측소에서 낮은 것으로 나타났으며, 이는 pH 성분의 계절 변화가 크지 않아서 다른 성분의 변화에 미치는 영향성이 낮았기 때문이다. 기존의 연구 사례에서도 BOD 성분과 TOC 성분의 상관계수가 0.5 이상으로 높았으며(Na et al., 2016), COD 성분과 TOC 성분의 상관계수도 0.796으

로 높게 나타났다(Kim et al., 2013). 이러한 상관성 분석 결과를 근거로 하여 BOD, COD, TOC 성분에 대한 회귀함수를 추정하였다.

TOC 성분에 의한 BOD 성분의 회귀함수를 추정한 결과, 5개 지류에서 모두 선형적으로 증가하는 함수로 나타났다(Fig. 3). 선형함수의 적합도(R<sup>2</sup>)는 상류부의 위천에서 0.46, 중류부의 금호강에서 0.54, 하류부의 남강에서 0.60으로 높았으며, 상류부의 내성천에서는 0.27, 하류부의 밀양강에서는 0.36으로 낮았다. 회귀함수의 기울기(TOC 성분의 증가에 BOD 성분의 증가율)은 내성천에서 1.21, 위천에서 0.40, 금호강에서 0.86, 남강에서 0.76, 밀양강에서 1.43으로 추정되었으며, 이는 TOC 성분이 동일하게 증가하더라도 낙동강 하류부의 밀양강에서 BOD 성분의 증가율이 가장 높아짐을 의미하는 것이다. 이는 하천으로 유기물질이 동일하게 유입된다면 금호강이 하천의 부영양화로 인해 용존산소의 감소가 가장 크게 발생한다는 것이다. 낙동강의 주요 지류에서 과거

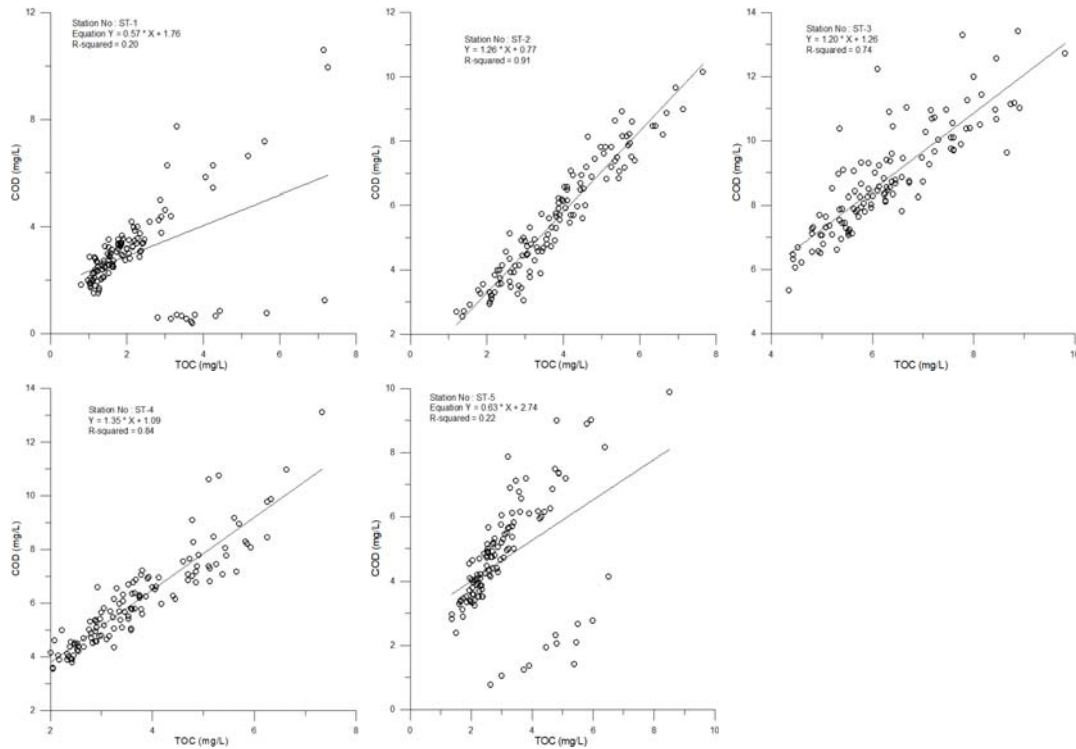


Fig. 4. Results of regression analysis between TOC and COD.

10년 동안 관측된 자료를 이용한 회귀분석에 의하면 하천수 내 유기물질 함량이 증가할수록 생화학적 산소요구량이 증가함을 알 수 있었다. TOC 성분에 의한 COD 성분의 회귀함수를 추정할 결과, 5개 지류에서 모두 선형적으로 증가하는 함수가 적합하였다(Fig. 4). 위천과 금호강, 남강에서 선형함수의 적합도(결정계수)는 0.7 이상으로 매우 높았으며, 상류부의 내성천에서는 COD 성분 값 1 mg/L 이하에서는 TOC 성분에 의한 COD 성분의 변화가 나타나지 않았으며, 하류부의 밀양강에서는 TOC 성분에 의한 COD 성분의 변화 경향이 2가지 형태로 나타났다. 국내외에서 연구된 TOC와 COD의 회귀분석 사례에서도 회귀함수의 결정계수가 0.61~0.67(Kim et al., 2013), 0.30~0.87(Choi et al., 2012), 0.55(Kim et al., 2007), 0.819~0.954(Byoun et al., 2008), 0.80(Yu et al., 1999) 등으로 보고된 바 있다. 본 연구에서는 위천과 금호강, 남강 관측소에서 0.74~0.91 정도로서 높게 나타났으며, 이러한 결과들을 이용하여 과거

COD 성분 자료를 TOC 성분으로 환산한다면 지류의 수질관리 정책에 활용할 수 있을 것이다. 회귀함수의 기울기(TOC 성분의 증가에 COD 성분의 증가율)는 내성천에서 0.57, 위천에서 1.26, 금호강에서 1.20, 남강에서 1.35, 밀양강에서 0.63으로 추정되었으며, 이는 TOC 성분이 동일하게 증가하더라도 낙동강 하류부의 남강에서 COD 성분의 증가율이 가장 높아짐을 의미하는 것이다. 낙동강의 주요 지류에서 과거 10년 동안 관측된 자료를 이용한 회귀분석에 의하면 하천수 내 유기물질 함량이 증가할수록 화학적으로 분해 가능한 유기물질을 산화시키는 데 필요한 산소요구량이 증가함을 알 수 있었으며, 또한 위천과 금호강, 남강에서는 TOC 성분만으로도 COD 성분의 변화량을 추정할 수 있을 것이다. 낙동강 주요 지류 중 상류부의 내성천과 하류부의 밀양강에 비해 상류부의 위천과 중류부의 금호강, 하류부의 남강에서 COD 성분이 BOD 성분의 값보다 높으므로 생물학적으로 분해가 어려운 유기물질이 많았던 것으로 판단된다

(Kim et al., 2007; Choi et al., 2012; Kim et al., 2013). 이러한 경우에는 회귀분석을 통해 TOC 성분에 의한 BOD와 COD 성분의 변화가 선형적으로 더욱 잘 나타남을 알 수 있었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 낙동강의 주요 지류(내성천, 위천, 금호강, 남강, 밀양강)에서 2008~2017년 동안 관측된 생활환경 기준 수질 성분(pH, BOD, COD, TOC, SS, DO, TP)에 대한 월 변동 분석과 수질등급 산정 및 회귀분석을 수행하였으며, 이상의 연구를 통해 산출된 결론을 아래와 같이 정리하였다.

1) 낙동강 주요 지류인 5개 하천의 최하류부 관측소에서 관측된 7개 수질 성분에 대한 월 변동 분석을 수행한 결과 상류부의 내성천과 위천, 하류부의 남강에서는 pH, BOD, COD, TOC, SS, T-P 성분은 여름에 높고 겨울에 낮았으며, DO 성분은 겨울에 높고 여름에 낮았다. 중류부의 금호강에서는 pH, BOD, COD, TOC, SS 성분은 여름에 높고 겨울에 낮았으며, DO와 T-P 성분은 겨울에 높고 여름에 낮았다. 하류부의 밀양강에서는 COD, TOC, SS 성분은 여름에 높고 겨울에 낮았으며, DO 성분은 겨울에 높고 여름에 낮았으며, pH, BOD, T-P 성분은 계절적 특성이 뚜렷하게 나타나지 않았다.

2) 하천수의 생활환경 기준 수질등급 분석한 결과 pH와 DO 성분은 5개 하천에서 생활환경 기준의 I 등급에 해당하였으며, SS 성분도 7월을 제외한 모든 시기에 생활환경 기준의 I 등급을 유지하였다. 낙동강 주요 지류에서 BOD와 COD 성분의 수질등급은 상류부에 비해 중하류부에 위치한 지류에서 낮아서 낙동강 상류부에서 하류부로 갈수록 수질이 나쁜 것으로 나타났다. TOC 성분의 수질등급을 분석한 결과 낙동강에서 유기물질의 유입은 중류부에 해당하는 금호강을 통해 다량 유입되었을 것이며, 상류부와 하류부에서도 6~7월에는 많은 양의 유기물질이 낙동강으로 유입되었을 것으로 판단된다. TP 성분의 수질등급을 분석한 결과 금호강의 수질등급이 IV~V등급 정도로서 수질이 나쁘고 1~3월 및 5~6월 사이의 수질이 특히 나쁜 것으로 나타났으며, 상류부와 하류부의 지류에서는 TP 성분의 수질등급이 좋은 것으로 나타났다.

3) TOC 성분에 의한 BOD와 COD 성분의 변화에 대한 회귀분석을 수행한 결과 추정된 모든 함수가 선형적으로 증가함을 보였다. 상류부의 위천과 중류부의 금호강, 하류부의 남강에서 추정된 선형함수의 적합도가 높았으며, 하천으로 유기물질의 유입에 의한 BOD 성분의 증가율은 금호강에서 가장 높았고 COD 성분의 증가율은 남강에서 가장 높았던 것으로 추정되었다. 따라서 과거 10년(2008~2017년) 동안 낙동강에서 유기물질에 의한 용존산소의 소모량은 상류에 비해 중·하류부의 지류에서 높게 나타났다.

4) 본 연구에서는 낙동강 주요 지류와 생활환경 기준 수질 성분에 대한 통계적인 분석을 수행하였으며, 향후 연구에서는 월 변동 유량과 수질 성분을 이용하여 주요 지류별 오염부하량을 구하여 낙동강 본류에 대한 주요 지류의 월별 오염기여도를 산정하고자 한다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(18CTAP-C143448-01)에 의해 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Byoun, J., Kim, T., Lee, S., Hong, T., Kim, H., 2008, Correlation between TOC, UVA and COD of environmental water samples, *J. Kor. Soc. Envir. Anal.*, 11(4), 286-291.
- Cho, B., Choi, J., Yi, S., Kim, Y., 2012, Selection priority of tributary catchments for improving water quality using stream grouping method, *J. Kor. Soc. Wat. Envir.*, 28(1), 18-25.
- Choi, D., Jung, J., Yoon, K., Lee, K., Choi, W., Lim, S., Park, H., Yim, B., Hwang, T., 2012, Estimation of TOC concentration using BOD, COD, in runoff from paddy fields, *J. Kor. Soc. Wat. Envir.*, 28(6), 813-818.
- Im, T., Son, Y., 2016, Water quality analysis in Nakdong river tributaries, *J. Envir. Sci. Int.*, 25(12), 1661-1671.
- Jung, S., Kim, K., Seo, D., Kim, J., Lim, B., 2013, Evaluation of water quality characteristics of grade classification of Yeongsan river tributaries, *J. Kor. Soc. Wat. Envir.*, 29(4), 504-513.
- Kim, B., Jung, S., Jang, C., Kim, J., 2007, Comparison of

- BOD, COD ad TOC as the indicator of organic matter pollution in streams ad reservoirs of Korea, J. Kor. Soc. Envir. Eng., 29(6), 640-643.
- Kim, H., Hong, J., Seong, J., Choi, K., Park, J., 2013, Comparison of organic matter distribution in major tributaries of the Nakdong river, J. Kor. Soc. Wat. Envir., 29(5), 618-624.
- Kim, Y., Gal, B., Park, J., Kim, S., Im, T., 2018, Classification of Nakdong river tributaries under priority management based on their characteristics and water quality index, J. Kor. Soc. Eng., 40(2), 73-81.
- Kim, Y., Lee, S., 2011, Evaluation of water quality for the Han river tributaries using multivariate analysis, J. Kor. Soc. Envir. Eng., 33(7), 501-510.
- Lim, B., Cho, B., Kim, Y., Kim, D., 2010, Application of priority order selection technique for water quality improvement in stream watershed by relationship of flow and water quality, J. Kor. Soc. Envir. Eng., 32(8), 802-808.
- MOE, 2017, 2017 White paper of environment, Ministry of environment, 630p.
- Na, S., Kwon, H., Shin, S., Son, Y., Shin, D., Im, T., 2016, A study on seasonal pollutant distribution characteristics of contaminated tributaries in Nakdong river basin, J. Wet. Res., 18(3), 301-312.
- Na, S., Lim, T. H., Lee, J. Y., Kwon, L. H., Cheon, S. U., 2015, Flow rate-water quality characteristics of tributaries and a grouping method for tributary management in Nakdong river, J. Wet. Res., 17(4), 380-390.
- Yu, S., Hwang, J., Yoon, Y., Cheon, S., Han, E., 1999, Index of organic matter in stream and lake, Kor. Soc. Envir. Impa. Assess., 8(1), 81-92.
- 
- 강동환, 부경대학교 환경연구소 리서치펠로우  
dhkang@pknu.ac.kr
  - 소윤환, 부경대학교 환경연구소 전임연구원  
lunaace@naver.com
  - 박경덕, 부경대학교 마린융합협동과정 박사과정생  
godsla6593@nate.com
  - 김일규, 부경대학교 환경공학과 교수  
kimilky523@gmail.com
  - 김병우, 한국수자원공사 K-water연구원 책임연구원  
bwkim@kwater.or.kr