

ORIGINAL ARTICLE

낙동강 본류에서 장기관측 자료를 이용한 DO, BOD, COD와 그 영향인자의 상관관계 및 TOC 분해율

강동환 · 소윤환 · 박경덕¹⁾ · 김일규²⁾ · 김병우³⁾*

부경대학교 환경연구소, ¹⁾부경대학교 마린융합디자인협동과정, ²⁾부경대학교 환경공학과, ³⁾한국수자원공사 K-water 연구원

Analyses of TOC Efficiency and Correlation between DO, BOD, COD and Influence Factors using Long-term Observation Data in the Main Stream of Nakdong River

Dong-hwan Kang, Yoon Hwan So, Kyeong-deok Park¹⁾, Il-kyu Kim²⁾, Byung-woo Kim³⁾*

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

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

²⁾*Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea*

³⁾*K-water Research Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 34045, Korea*

Abstract

Herein, we analyzed the spatial and temporal variation of DO (dissolved oxygen), BOD (biochemical oxygen demand), and COD (Chemical Oxygen Demand) with the monthly mean observed data for 10 years (2008~2017) in the main stream of the Nakdong River. The water quality of the stations declined in a downstream direction, with the BOD and COD showing their highest values at the ST5 station. From the analysis of the correlation of water quality components at 10 stations, the correlation coefficient between the DO and water temperature was more than -0.90, and that between BOD and Chl-a was 0.48~0.85, and that between COD and TOC was more than 0.65 except for the ST5 and ST10 stations. From the regression analysis using data collected from all stations, the water temperature and DO decreased linearly with a coefficient of determination of 0.90, and the Chl-a and BOD could be described by increasing power functions with a coefficient of determination of 0.83. The TOC and COD followed increasing logarithm functions with a coefficient of determination of 0.58. The TOC efficiency at the 10 stations was estimated and the average efficiencies of BOD and COD were 15.5~36.3% and 57.4~89.6%, respectively.

Key words : Nakdong river, DO, BOD, COD, TOC efficiency

1. 서론

낙동강은 태백산 황지에서 발원하여 남해에서 바다로 흘러 들어가는 우리나라 제 2의 하천으로 유로 길이가

525 km 정도이며, 낙동강 수계의 수자원은 대구, 경북, 부산, 경남 지역의 식수와 생활용수 및 농업용수로서 매우 중요한 역할을 하고 있기에 낙동강유역환경청 및 관련 지자체에서 수질을 보전하기 위한 많은 노력을 하고

Received 18 January, 2019; Revised 30 March, 2019;

Accepted 10 April, 2019

*Corresponding author: Byung-woo Kim, K-water Research Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 34045, Korea
Phone : +82-42-870-7644
E-mail : bengwookim@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.

있다(Ahn et al., 2016; Jung et al., 2017).

낙동강의 수질은 다른 하천에 비해 계절별 및 지역별로 다양한 변화를 보이고 있으며, 하천의 수질을 평가하기 위해서는 시공간적인 특성 분석이 필요하다(Park et al., 2012; Na et al., 2016; Park et al., 2018). 낙동강의 본류와 지류들에 관한 연구들이 다양하게 수행되고 있으며, 최근에는 하천의 수질 평가를 위해 통계분석을 통한 수질특성 파악 및 수질항목 사이의 상관관계를 분석하여 수질 오염 원인을 해석하기 위한 연구들이 진행되고 있다(Choi et al., 2012; Lim et al., 2015; Ahn et al., 2016; Jung et al., 2017).

낙동강 수계에서는 계절별 강수량의 차이가 심하고 상류에 비해 중류와 하류 지역에서 생활하수와 농업활동에 의한 오염물질이 다량 유입되어 수질오염을 유발하고 있다(Jung et al., 2017). 낙동강으로 유입되는 유기물은 인간의 활동(농업과 산업 활동 등)에 의해 대부분 발생하며, 하천에 유입된 유기물의 분해를 위해서는 용존산소(DO)의 역할이 매우 중요하다. 하천수의 용존산소량은 수온의 변화에 따른 용해도(겨울에 높고 여름에 낮음)와 유기물을 분해하는데 소모되는 생화학적 산소량(BOD)과 화학적 산소요구량(COD)에 의해 지배된다(Park, 2007). BOD와 COD는 하천으로 유입된 유기물의 분해 정도를 판단하는 지표로서 널리 이용되고 있으며, 낙동강 수계에서 수행된 관련 연구로는 낙동강의 지류에서 2013~2014년 동안 관측된 자료를 이용한 COD와 BOD에 대한 TOC의 상관관계 분석(Na et al., 2015; Na et al., 2016), 낙동강으로 유입되는 348개 하천(670개 지점)에서 TOC와 COD 관측 자료를 이용한 상관관계 분석(Kim et al., 2013), 낙동강 유역에서 수정 TANK 모형을 이용한 BOD, COD, TOC의 수문학적 플럭스 추정(Lee et al., 2010) 등이 있다.

기존의 국내 연구들에서는 DO, BOD, COD, TOC의 관측 기간이 수년 정도이거나 시간(연/계절 변화)과 공간(1개 관측소 혹은 전체 평균)이 제한적이었다. 따라서 다양한 관측소에서 동일 시간에 발생하는 수질 성분 사이의 상관성을 구명하는 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 낙동강 본류의 10개 관측소 자료를 이용하여 DO, BOD, COD 및 그 영향인자에 대한 10년(2008~2017) 동안의 변동을 기술통계분석과 회귀분석을 통해 분석하였으며, 이를 통해 낙동강 본류에서 관측소별 및 계절별

로 수질 성분 사이의 상관성과 상호 영향성에 대해 해석하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에 이용된 수질 성분 자료는 물환경정보시스템(2018)에서 제공 받았으며, 낙동강 본류의 대표적인 10개 관측소에서 2008~2017년 동안 매일 관측된 6개 수질 성분 자료의 월별 평균(10년 평균값)을 이용하여 상관분석과 회귀함수를 추정하였다. 10개 관측소는 안동2(ST1), 상주1(ST2), 산곡(ST3), 구미(ST4), 현풍(ST5), 합천(ST6), 남지(ST7), 하남(ST8), 삼랑진(ST9), 구포(ST10)에 해당하고, 낙동강의 상류(ST1~ST2), 중류(ST3~ST6), 하류(ST7~ST10)의 공간적인 분포와 낙동강에 유입되는 주요 지천인 내성천, 위천, 금호강, 남강, 밀양강의 유입지점 등을 고려하여 선정하였다(Fig. 1). 본 연구에서 이용된 6개 수질 성분은 용존산소량(DO), 생화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 총유기탄소(TOC), 수온(water temperature), 클로로필a(chl-a)이고, 2008~2017 기간 동안 관측된 6개 성분의 기술통계량을 산정하고 수질 성분별 box-whisker plots를 작성하였다. 또한 수질 성분의 월별 평균을 이용하여 10개 관측소별 수질 성분의 상관계수를 산정하여 비교 분석하였으며, 낙동강 본류 전체 자료를 이용하여 수질 성분의 상관계수를 산정하고 이를 바탕으로 회귀함수를 추정하여 낙동강 본류에서 DO, BOD, COD의 변동과 그 영향인자를 분석하였다.

낙동강 본류에서 BOD와 COD 산화율은 탄소와 산소의 무게비인 12/32를 곱하고, 유기물이 산화되는 과정에서 소비되는 산소와 탄소의 몰비인 1.1로 나누어서 탄소의 양으로 환산하였다(Kim et al., 2007). 본 연구에서는 BOD의 산화율은 BOD-C, COD의 산화율은 COD-C로 표기하였다. 환산된 산화율을 이용하여 TOC에 대한 BOD와 COD의 분해율(BOD-C/TOC, COD-C/TOC)을 산정하고 관측소별 분해율을 비교 분석하였다. 하천에서 유기물 오염 지표를 TOC 기준으로 하여 수질관리 목표와 기준을 설정하기 위해서는 BOD와 COD에 대한 TOC의 상관성을 정량화해야 하며, 이를 위해서 본 연구에서는 BOD, COD, TOC의 분해율을 산정하여 분석하였다.

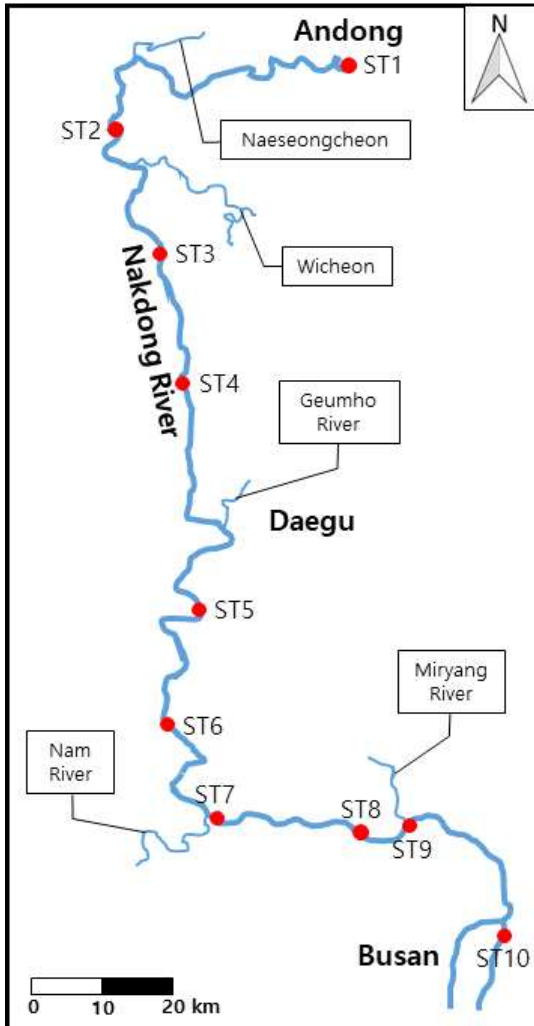


Fig. 1. The main stream of Nakdong River and station points.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질 성분의 시공간 변동 분석

낙동강 본류 10개 관측소에서 관측된 6개 수질 성분에 대한 10년(2008~2017년) 동안의 자료(성분별 120여 개)의 기술통계량을 Table 1에 정리하였다. DO의 평균은 10.4~11.3 mg/L 정도이며, 상류부의 ST1에서 가장 높고 하류부의 ST10에서 가장 낮았다. BOD의 평균은 0.9~2.5 mg/L 정도이며, 상류부의 ST1에서 가장 낮고 중류부의 ST5에서 가장 높았다. COD의 평균은 4.3~6.8

mg/L 정도이며, 상류부의 ST2에서 가장 낮고 중류부의 ST5에서 가장 높았다. TOC의 평균은 2.1~4.8 mg/L 정도이며, 상류부의 ST2에서 가장 낮고 중류부의 ST5에서 가장 높았다. 수온 성분의 평균은 14.2~17.0 mg/L 정도이며, 상류부의 ST1에서 가장 낮고 하류부의 ST8과 ST9에서 가장 높았다. chl-a의 평균은 5.4~41.3 mg/L 정도이며, 상류부의 ST1에서 가장 낮고 하류부의 ST8에서 가장 높았다. 관측소별 수질 성분의 평균은 낙동강 본류의 상류부에서 하류부로 갈수록 나빠지는 것으로 나타났다. 이는 지류에서 낙동강으로 유입되는 오염물질의 양이 하류부로 갈수록 증가하였기 때문이다(Lee et al., 2010). BOD, COD, TOC의 양이 중류부의 ST5에서 가장 높은 것은 ST4와 ST5 사이에서 낙동강 본류로 유입되는 금호강과 회천에 의한 유기물의 유입량이 많았던 것으로 판단된다(Na et al., 2016). 낙동강의 상류부에서 하류부로 갈수록 수온이 증가하는 경향은 대기에 노출된 하천수가 태양 복사에 의해 온도가 상승한 것이며, 이러한 수온의 상승과 유기물질의 증가로 인해 조류의 번식이 활발하게 되어 chl-a가 8배 정도 증가한 것으로 판단된다.

낙동강 본류에서 관측소별 및 월별 수질 성분의 변동을 분석하기 위해 box-whisker plots를 작성하였다(Fig. 2와 Fig. 3). DO와 수온은 낙동강의 상류, 중류, 하류에서 차이가 크지 않았으며, BOD와 chl-a는 하류부로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. COD와 TOC는 중류(ST5)에서 가장 높았지만, 전체적으로는 하류부로 갈수록 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2). 월별 box-whisker plots에서는 DO와 수온은 역(inverse)의 경향성을, BOD와 chl-a, COD와 TOC는 정(direct)의 경향성을 보였다(Fig. 3). DO는 여름에 가장 낮고 겨울에 가장 높았으며, 수온 성분은 여름에 가장 높고 겨울에 가장 낮았다. chl-a는 겨울에 높았으며, 이는 하천수의 수온이 낮은 겨울에는 조류와 같은 미생물의 성장에는 불리하지만 저온성 규조류(Stephanodiscus sp.)와 같은 계절별 우점종의 증식으로 인해 chl-a 성분이 증가한 것이다(Lim et al., 2015). COD와 TOC는 여름에 가장 높았으며, 우리나라 기후 특성상 여름철의 우기 동안 비점오염원에 의한 유기물질이 하천으로 다량 유입되어 TOC 및 이를 분해하는데 필요한 COD가 증가한 것이다(Lee et al., 2010).

Table 1. Descriptive statistics of water quality components at stations

Station	Statistics	DO	BOD	COD	TOC	WT	Chl-a
ST1	Min	6.3	0.4	2.2	1.7	2.0	0.8
	Max	17.6	1.9	10.5	4.0	28.0	33.8
	Avg	11.3	0.9	4.5	2.5	14.2	5.4
ST2	Min	6.2	0.5	1.6	1.3	0.0	0.9
	Max	19.4	2.5	12.0	3.4	32.0	39.8
	Avg	10.8	1.1	4.3	2.1	15.6	7.6
ST3	Min	6.8	0.6	1.8	1.1	0.0	0.3
	Max	18.1	2.9	8.9	5.0	30.9	62.5
	Avg	11.0	1.5	4.8	2.4	16.0	15.5
ST4	Min	6.9	0.5	2.7	1.8	2.0	1.0
	Max	15.9	8.4	13.8	8.4	32.3	163.6
	Avg	11.1	1.9	5.5	3.6	16.2	20.1
ST5	Min	5.6	1.0	4.4	3.8	1.0	5.0
	Max	18.3	6.7	11.8	7.0	32.0	138.1
	Avg	10.9	2.5	6.8	4.8	16.6	30.3
ST6	Min	6.1	0.8	2.4	1.3	1.0	0.5
	Max	17.7	6.0	14.0	8.0	32.3	179.8
	Avg	10.7	2.1	5.9	3.3	16.4	30.7
ST7	Min	5.6	1.0	3.5	1.0	1.0	5.1
	Max	18.1	6.3	10.6	4.7	31.7	251.3
	Avg	11.0	2.4	5.9	2.8	16.9	39.9
ST8	Min	6.2	0.9	3.3	1.2	1.0	2.8
	Max	17.4	5.8	10.6	4.3	32.3	220.4
	Avg	11.1	2.3	6.0	2.9	17.0	41.3
ST9	Min	5.4	0.8	2.6	1.0	2.0	6.7
	Max	17.9	5.2	8.8	7.8	32.4	196.7
	Avg	10.8	2.3	5.8	3.0	17.0	35.0
ST10	Min	4.6	0.8	3.1	1.3	2.0	1.3
	Max	17.5	5.8	13.5	4.2	31.0	298.9
	Avg	10.4	2.3	6.0	2.9	16.6	36.3

3.2. 수질 성분의 상관관계 분석

본 연구에 이용된 10개 관측소별 수질 성분의 상관성을 분석하기 위해, 각 관측소에서 10년 동안 관측된 자료의 월별 평균값을 이용하여 6개 수질 성분 사이의 관측소별 상관계수를 산정하였다(Table 2).

DO와 수온의 상관계수는 모든 관측소에서 -0.90 이상으로 가장 높았으며, 낙동강 본류에서 DO와 수온은 음의 강한 상관성을 가지는 것으로 나타났다. 수온이 낮

은 겨울에는 하천수의 산소 용해도가 증가하여 DO가 증가하고, 수온이 높은 여름에는 하천수의 산소 용해도가 감소하고 강우에 의한 유기물의 다량 유입과 분해 과정에서 미생물 등에 의한 호흡 활동이 활발하므로 DO가 감소한다(Ahn et al., 2016). DO와 TOC의 상관계수는 -0.30~0.87 정도로서 모든 관측소에서 음의 상관성을 나타낸 것은 하천수에 유기물이 유입되면 이를 분해하기 위한 미생물의 호흡량이 증가하여 하천수 내 DO가 감소

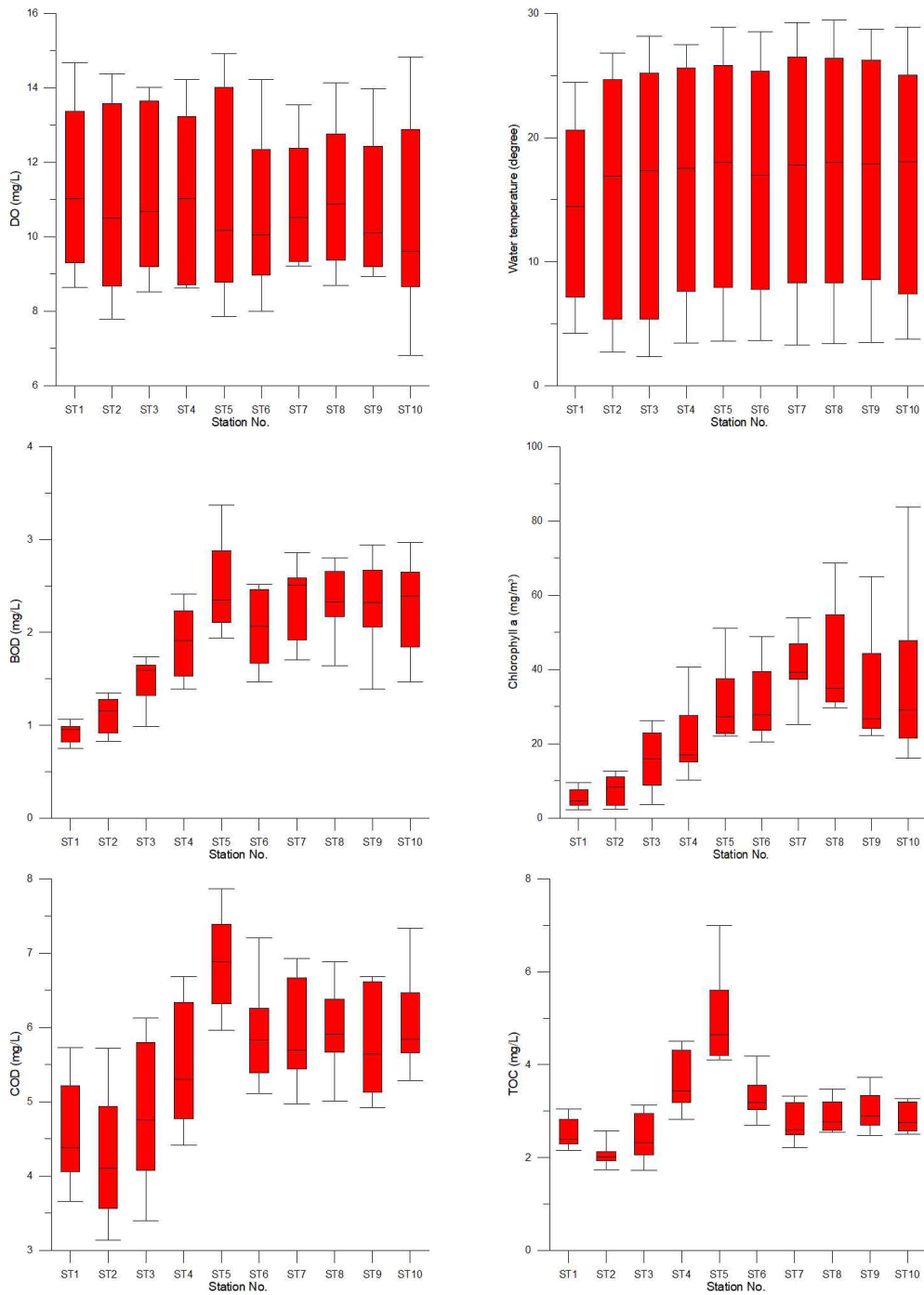


Fig. 2. Box-whisker plots of water quality components at stations.

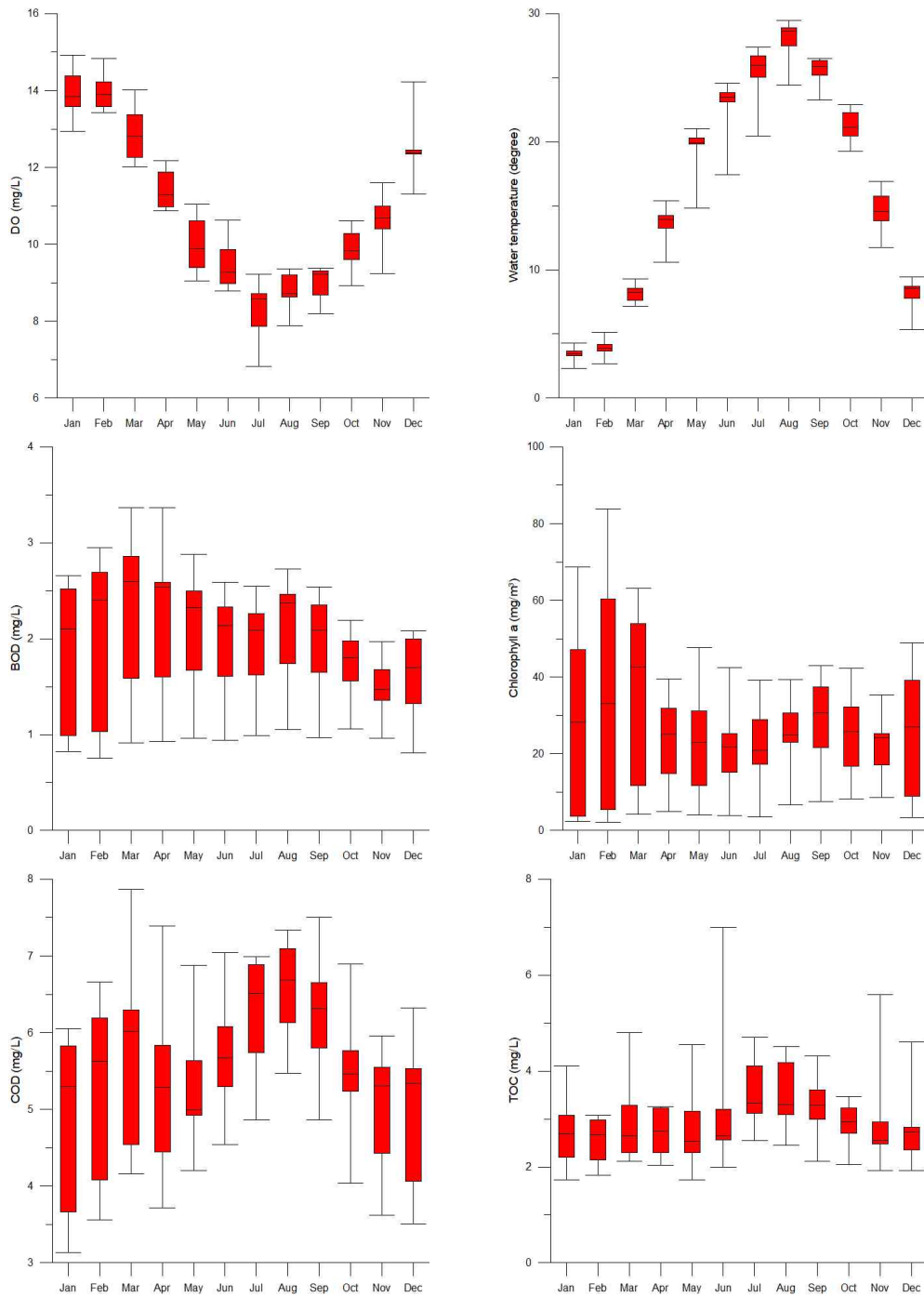


Fig. 3. Monthly box-whisker plots of water quality components.

Table 2. Correlation coefficients between water quality components at stations

Station	DO-TOC	DO-WT	BOD-COD	BOD-Chl-a	COD-TOC	COD-Chl-a
ST1	-0.76	-0.97	0.86	0.60	0.73	0.55
ST2	-0.54	-0.98	0.79	0.85	0.78	0.77
ST3	-0.87	-0.97	0.81	0.76	0.98	0.84
ST4	-0.84	-0.98	0.76	0.59	0.99	0.57
ST5	-0.30	-0.98	0.71	0.48	0.10	0.63
ST6	-0.73	-0.96	0.60	0.50	0.85	-0.17
ST7	-0.63	-0.97	0.57	0.66	0.83	0.33
ST8	-0.69	-0.97	0.16	0.52	0.79	0.13
ST9	-0.49	-0.97	0.26	0.58	0.65	0.25
ST10	-0.43	-0.94	0.53	0.79	0.35	0.43

하기 때문이다.

BOD와 chl-a의 상관계수는 0.48~0.85 정도로서 모든 관측소에서 양의 상관성을 보였으며, 이는 조류의 증식으로 인한 chl-a의 증가로 인해 이를 분해하는데 필요한 BOD가 증가하였기 때문으로 판단된다. Jung et al.(2017)에 의해 낙동강 중류와 하류의 4개 보 구간에서 BOD와 chl-a의 상관계수는 0.292~0.671, Na et al.(2016)은 낙동강 수계 중점관리하천인 35개 지류의 관측 자료를 이용하여 산정한 BOD와 chl-a의 계절별 상관계수가 0.455~0.619 정도인 것으로 제시하였다. BOD는 미생물에 의한 생분해성 유기물의 분해율에 대한 가장 적절한 지표로서 본 연구 결과에서도 생분해성이 높은 chl-a와 상관성이 높은 것으로 나타났다(Kim et al., 2007).

COD와 TOC의 상관계수는 ST5와 ST10 관측소를 제외하고는 모두 0.65 이상으로 높은 양의 상관성을 보였으며, COD는 BOD에 비해 유기물의 분해율이 높아서 TOC를 설명하는 지표로서 더욱 적합하므로 상관성이

높게 나타난 것이다(Kim et al., 2007). 국내의 낙동강 지류에서 관측된 수질 자료를 이용하여 COD와 TOC의 상관성을 연구한 결과들에서도 그 상관계수가 0.783~0.963(Na et al., 2016), 0.990(Na et al., 2015), 0.796(Kim et al., 2013) 등으로 높게 나타났다. 본 연구에서도 낙동강의 상류부와 중류부에 해당하는 ST3과 ST4 관측소에서 COD와 TOC의 상관계수가 0.98과 0.99로서 매우 높게 나타났다.

낙동강 본류에서 수질 성분의 상관성을 분석하기 위해, 각 관측소에서 10년 동안 관측된 모든 자료의 월별 평균값을 이용하여 6개 수질 성분 사이의 상관계수를 산정하였다(Table 3). 또한 상관계수가 높은 DO와 수온, BOD와 chl-a, BOD와 COD, COD와 TOC의 회귀함수를 추정하였다(Fig. 4). 낙동강 본류에 위치한 10개 관측소 자료를 모두 이용하여 산정한 상관계수는 DO와 수온이 -0.95로서 가장 높게 나타났으며, BOD와 COD는 0.79, BOD와 chl-a는 0.83, COD와 TOC는 0.70으로 높았다(Table 3). 수온에 의한 DO의 회귀함수는 선형적

Table 3. Correlation coefficients between water quality components for all data

	DO	BOD	COD	TOC	WT	Chl-a
DO	1.00					
BOD	-0.01	1.00				
COD	-0.38	0.79	1.00			
TOC	-0.32	0.47	0.70	1.00		
WT	-0.95	0.10	0.46	0.36	1.00	
Chl	0.18	0.83	0.63	0.24	-0.12	1.00

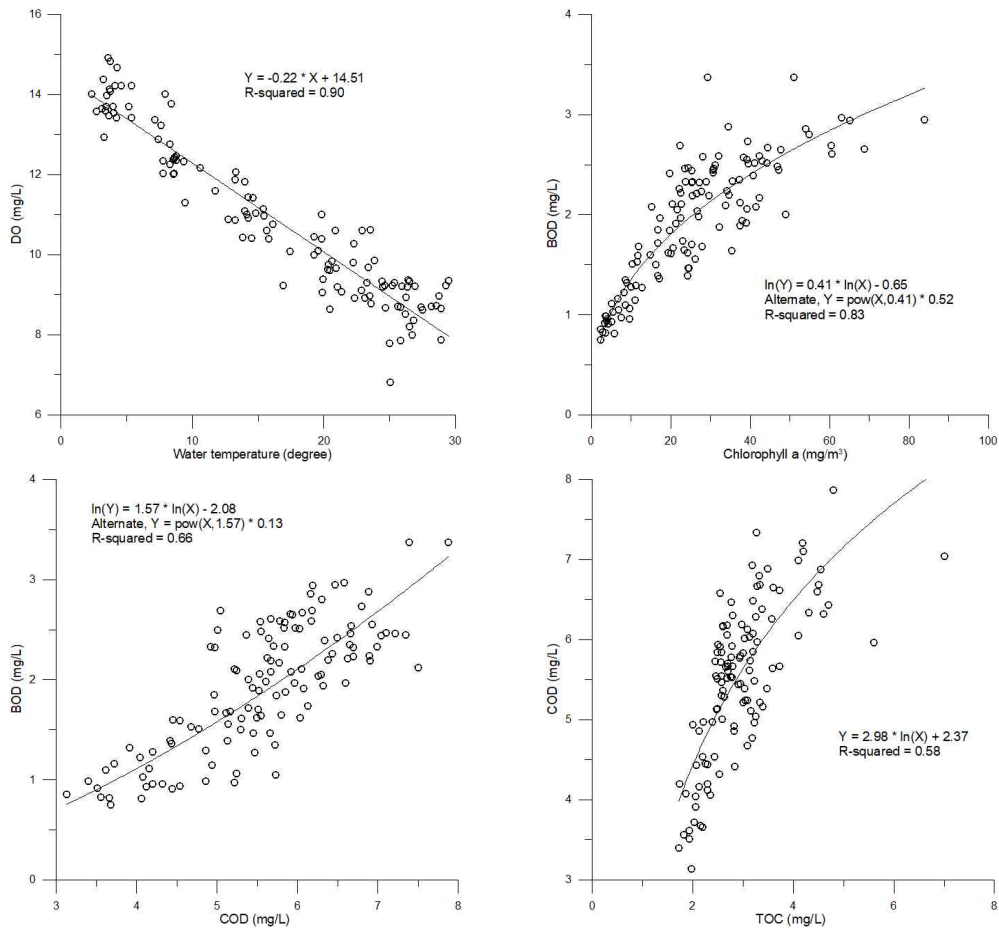


Fig. 4. Results of regression analysis for all data.

으로 감소하였으며, 기울기는 -0.22 정도이고 결정계수는 0.90 으로 매우 높았다(Fig. 4). chl-a에 의한 BOD의 회귀함수와 COD에 의한 BOD의 회귀함수는 증가하는 멱함수(power function)가 적합하였으며, 결정계수는 각각 0.83 과 0.66 으로서 높았다. 낙동강 하류에서 chl-a에 대한 영향인자 회귀 모델 결과에서 BOD만을 이용한 경우의 결정계수는 0.665 로 보고되었다(Lim et al., 2015). TOC에 의한 COD의 회귀함수는 증가하는 로그함수가 적합하였으며, 기울기는 2.98 정도이고 결정계수는 0.58 로서 높았다. 기존의 연구 결과에서는 낙동강 지류에서 TOC와 COD의 회귀함수는 선형함수가 적합하였으며, 그 결정계수가 0.979 (Na et al., 2015) 및

$0.61\sim 0.67$ (Kim et al., 2013)으로 보고된 바 있다.

3.3. 관측소별 TOC에 대한 BOD와 COD의 분해율 산정

낙동강 본류에서 10개 관측소별 BOD-C와 COD-C를 산정한 후, TOC에 대한 BOD와 COD의 분해율(BOD-C/TOC, COD-C/TOC)을 Table 4에 정리하였다. TOC에 대한 BOD의 분해율은 상류에서 하류로 갈수록 증가하고, 관측소별 분해율의 평균과 표준편차의 범위는 각각 $15.5\sim 36.3\%$ 와 $1.3\sim 8.8\%$ 로 나타났다. TOC에 대한 COD의 분해율은 상류와 하류에서 높고 중류에서 낮고, 관측소별 분해율의 평균과 표준편차의 범위는 각각 $57.4\sim 89.6\%$ 와 $1.4\sim 10.5\%$ 로 나타났다. 낙동강 본류 10개 관측소 전체의 평균은 BOD 분해율이

Table 4. Efficiencies of BOD and COD for TOC at stations (unit: %)

Station	Efficiency (BOD-C/TOC)		Efficiency (COD-C/TOC)	
	Avg	SD	Avg	SD
ST1	15.5	1.3	74.7	7.2
ST2	22.6	3.2	84.4	10.5
ST3	25.7	2.7	83.7	3.4
ST4	21.9	2.7	62.8	1.4
ST5	20.8	5.0	57.4	9.6
ST6	26.3	4.9	74.4	5.5
ST7	36.3	6.2	89.6	6.2
ST8	34.2	6.1	86.5	5.7
ST9	31.8	5.7	79.8	7.7
ST10	33.2	8.8	87.7	9.5

26.8%, COD 분해율이 78.1% 정도로서 TOC에 대한 COD의 분해율이 BOD의 분해율보다 약 3배 정도 높으므로 TOC를 설명하는 지표로서 COD가 BOD보다 더욱 적합함을 알 수 있다. Kim et al.(2007)의 연구 결과에서는 낙동강에서 TOC에 대한 BOD와 COD의 분해율이 각각 22.4±13.3%와 40.6±16.4%로 산정되었으며, 본 연구의 결과 비교하면 BOD의 분해율은 유사하지만 COD의 분해율은 차이를 보였다. 이는 Kim et al.(2007)의 연구 결과에서는 COD와 TOC의 회귀함수 결정계수가 0.323으로 낮았고 본 연구에서는 회귀함수의 결정계수가 0.58 정도로서 높았기 때문으로 판단된다. 이상의 결과를 통해, 낙동강 본류 전체 구간에서 생분해성 유기물의 분해에 필요한 용존산소 요구량보다는 난분해성 유기물의 분해에 필요한 용존산소 요구량이 더욱 많으므로, 낙동강 본류에 유입된 유기물의 총량과 분해 과정은 BOD보다는 COD를 통해 설명하는 것이 적합함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 낙동강 본류에 위치한 10개 관측소에서 10년(2008~2017년) 동안 관측된 수질 성분에 대한 통계 분석을 수행하고 TOC 분해율을 산정하여, 용존산소량과 생화학적/화학적 산소요구량의 변동과 그 영향인자와의 관계를 분석하였으며, 이에 대한 결론은 아래와

같다.

1) 관측소별 수질은 낙동강 본류의 상류부에서 하류부로 갈수록 나빠지는 것으로 나타났으며, 이는 지류에서 낙동강으로 유입되는 오염물질의 양이 하류부로 갈수록 증가하였기 때문이다. BOD, COD, TOC의 양이 중류부의 ST5에서 가장 높은 것은 ST4와 ST5 사이에서 낙동강 본류로 유입되는 금호강과 회천에 의한 유기물의 유입량이 많았기 때문이다.

2) DO와 수온의 상관계수는 모든 관측소에서 -0.90 이상으로 낙동강 본류에서 DO와 수온은 음의 상관성이 매우 높았다. BOD와 Chl-a의 상관계수는 0.48~0.85 정도로서 모든 관측소에서 양의 상관성을 보였으며, 이는 조류의 증식으로 인한 chl-a 성분의 증가로 인해 이를 분해하는데 필요한 BOD 성분이 증가하였기 때문이다. COD와 TOC의 상관계수는 ST5와 ST10 관측소를 제외하고는 모두 0.65 이상으로 높은 양의 상관성을 보였으며, 낙동강의 상류부와 중류부에 해당하는 ST3과 ST4 관측소에서 COD와 TOC의 상관계수가 0.98과 0.99로서 매우 높았다.

3) 수온에 의한 DO의 회귀함수는 선형적으로 감소하였으며, 기울기는 -0.22 정도이고 결정계수는 0.90으로 매우 높았다. chl-a에 의한 BOD의 회귀함수는 증가하는 파워함수가 적합하였으며, 결정계수는 0.83로서 높았다. TOC에 의한 COD의 회귀함수는 증가하는 로그함수가 적합하였으며, 기울기는 2.98 정도이고 결정계수는 0.58

로서 높았다.

4) TOC에 대한 BOD의 분해율은 상류에서 하류로 갈수록 증가하고, 관측소별 분해율의 평균은 15.5~36.3%로 나타났다. TOC에 대한 COD의 분해율은 상류와 하류에서 높고 중류에서 낮고, 관측소별 분해율의 평균은 57.4~89.6%의 범위로 나타났다. 낙동강 본류 10개 관측소 전체의 평균은 BOD 분해율이 26.8%, COD 분해율이 78.1% 정도로서 TOC에 대한 COD의 분해율이 BOD의 분해율보다 약 3배 정도 높았으며, 이는 TOC를 설명하는 지표로서 COD가 BOD보다 더욱 적합함을 알 수 있었다.

감사의 글

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

REFERENCE

- Ahn, J. M., Lee, I. J., Jung, K. Y., Kim, J. E., Lee, K. C., Cheon, S. U., Lyu, S. W., 2016, Characteristics of trend and pattern for water quality monitoring networks data using seasonal -kendall, SOM and RDA on the Mulgeum in the Nakdong River, *J. Environ. Science Int.*, 25(3), 361-372.
- Choi, K. Y., Im, T. H., Lee, J. W., Cheon, S. U., 2012, Evaluation of water quality characteristics in the Nakdong River using statistical analysis, *J. Korea Water Res. Assoc.*, 45(11), 1157-1168.
- Jung, S. Y., Kim, I. K., 2017, Analysis of water quality factor and correlation between water quality and chl-a in middle and downstream weir section of Nakdong River, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 39(2), 89-96.
- Kim, B. C., Jung, S. M., Jang, C. W., Kim, J. K., 2007, Comparison of BOD, COD and TOC as the indicator of organic matter pollution in streams and reservoirs of Korea, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 29(6), 640-643.
- Kim, H. S., Hong, J. J., Seong, J. U., Choi, K. S., Park, J. C., 2013, Comparison of organic matter distribution in major tributaries of the Nakdong river, *J. Kor. Soc. Wat. Environ.*, 29(5), 618-624.
- Lee, A. Y., Park, M. J., Jo, D. J., Kim, S. D., 2010, Estimating BOD, COD and TOC hydrologic flux in Nakdong River basin, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 32(9), 830-839.
- Lim, J. S., Kim, Y. W., Lee, J. H., Park, T. J., Byun, I. G., 2015, Evaluation of correlation between chlorophyll-a and multiple parameters by multiple linear regression analysis, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 37(5), 253-261.
- Na, S. M., Kwon, H. G., Shin, S. M., Son, Y. G., Shin, D. S., Im, T. H., 2016, A Study on seasonal pollutant distribution characteristics of contaminated tributaries in Nakdong river basin, *J. Wetlands Res.*, 18(3), 301-312.
- Na, S. M., 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. Wetlands Res.*, 17(4), 380-390.
- Park, B., 2007, Introduction of water pollution, Hyungseul Publishing, 242.
- 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 Res.*, 20(3), 201-209.
- Park, J. H., Lee, G. S., Yang, J. S., Kim, S. W., 2016, A Hydrometeorological time series analysis of Geum River watershed with GIS data considering climate change, *J. Kor. spa. info. soc.*, 20(3), 39-50.

-
- 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-water 연구원 책임연구원
bengwookim@gmail.com