

ORIGINAL ARTICLE

낙동강 지류·지천 모니터링 결과를 이용한 수질환경 평가

임태호·손영규^{1)*}

국립환경과학원 낙동강물환경연구소, ¹⁾금오공과대학교 환경공학과

Water Quality Analysis in Nakdong River Tributaries

Tae Hyo Im, Younggyu Son^{1)*}

Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 40103, Korea

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

Abstract

Water quality in Nakdong river was analyzed using 699 monitoring data sets including flow rates and water quality concentrations collected at 195 tributary monitoring stations (the priority management areas: 35 stations, the non-priority management areas: 160 stations) in 2015. The highest average concentrations of all data for BOD, COD, T-N, T-P, SS, and TOC were 30~600 times higher than the lowest concentrations while the highest average loading rates were 800,000~2,700,000 times higher than the lowest loading rates. Because of the very large differences in the concentrations and loading rates, the variation of the concentrations and loading rates in a priority management monitoring station for BOD, T-P, and TOC was analyzed using the coefficient of variation, the ratio of the standard deviation value to the mean value. For BOD, T-P, and TOC, the coefficients of variation for concentration were mostly less than 100%, whereas the coefficients of variation for loading rate ranged from 31.1% to 232.2%. The very big difference in the loading rates was due to the large variation in flow rates. As a result of this, the estimation of water quality at each monitoring station using the average values of the concentrations and loading rates might be not rational in terms of their representativeness. In this study, new water quality analysis methods using all collected monitoring data were suggested and applied according to the water quality standard in medium-sized management areas.

Key words : Nakdong river, Water quality, Tributaries, Priority management areas, Coefficient of variation

1. 서론

국내 수질관리가 4대강 위주에서 벗어나 상류지역의 지류·지천 관리로 확대되는 추세이다. 이는 본류만의 수질관리만으로는 전체 수계의 수질개선 효과에 한계가 있음을 의미하며, 환경부의 수질오염총량관리제 시행과도 연계될 수 있다(Jung et al., 2016; Kim et

al., 2014; Na et al., 2015; Na et al., 2016; Son et al., 2013). “윗물살리기 마스터플랜(2016, 환경부 낙동강 유역환경청)”에서는 지류·지천 관리를 “윗물살리기”로 명칭하고 세부 사업으로 도랑살리기 사업, 물맑은터 및 생태적 농수로 조성, 하수처리장 방류수 재이용, 통합집중형 오염하천 개선사업 등의 4개 사업을 제시하기도 하였다.

Received 29 September, 2016; Revised 20 October, 2016;

Accepted 30 October, 2016

*Corresponding author : Younggyu Son, Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi 39177, Korea

Phone: +82-54-478-7637

E-mail: yson@kumoh.ac.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.

이러한 지류·지천 관리를 위해 한강, 금강, 영산강, 낙동강의 4대강 지류·지천에 대한 유량 및 수질 모니터링이 수년전부터 체계적으로 수행되고 있으며, 이에 대한 분석 결과가 지속적으로 보고되고 있다. 수계별로 최근의 관련 연구를 살펴보면, 한강 수계에서는 14개 주요 지류하천의 수질 자료를 이용하여 군집분석, 요인분석 등의 다변량통계분석기법을 적용하여 요인과 유역오염원을 종합적으로 평가하였다(Kim and Lee, 2011). 금강 수계에서는 18개의 지류하천을 대상으로 유량 및 BOD 수질농도의 기준 수치를 정해 이를 바탕으로 하천 그룹화를 수행하였다(Lim et al., 2010). 영산강 수계에서는 66개 지류·지천 지점에서 수집된 자료를 이용하여 상관성 분석, 요인분석, 군집분석 등을 수행하였고, 배출부하밀도, 유량 및 수질항목 등의 10개 항목을 이용하여 각 지점을 등급화하였다(Jung et al., 2013). 낙동강 수계에서는 38개 지류·지천을 대상으로 상관관계 분석 및 금강 수계에서 적용한 방법과 유사하게 기준 유량($0.1 \text{ m}^3/\text{s}$) 및 기준 수질농도(BOD: 3.0 mg/L , T-P: 0.1 mg/L)를 지정하여 우선관리 지점 선정 연구를 수행하였다(Na et al., 2015).

최근의 하천에서의 유량 및 수질 분석 연구는 수십 개가 넘는 지점에서 정기적으로 수집된 유량 및 BOD, COD, TOC, T-N, T-P, SS 등의 수질 자료를 다양한 통계기법을 이용하여 분석하고, 이를 바탕으로 우선적으로 관리해야 하는 지점, 오염원 등을 선별하는 것에 초점이 맞추어져 있다. 그러나 각 지점별 다양한 점오염원·비점오염원 특성 및 국내 불균일한 강우 특성 등의 이유로 유량 및 수질 항목의 농도 변화가 매우 큰 것으로 보고되고 있어 지점에 대한 수질환경 평가가 합리적으로 이루어지기 어려운 실정이다. 많은 관련 연구에서 연평균과 같은 대푯값을 이용하여 평가를 수행하는데 이에 대한 자료의 대표성 여부가 중요하게 인식되고 있다.

본 연구에서는 2015년 낙동강 지류·지천 195개 지점에서 수집된 자료를 이용하여 수질농도 및 오염부하량 등의 수질현황을 분석하였다. 특히, 모니터링 횟수가 상대적으로 많은 35개 중점관리지점의 자료를 이용하여 변동계수 산정 등을 통한 자료의 대표성 분석을 수행하였고, 각각의 모니터링 자료를 보다 합리

적으로 사용할 수 있는 평가 방법을 개발하여 적용하였다.

2. 연구 방법

2.1. 모니터링 지점 현황

낙동강 수계는 26개 중권역(안동댐, 임하댐 안동댐하류, 내성천, 영강, 병성천, 낙동상주, 위천, 낙동구미, 감천, 낙동왜관, 금호강, 회천, 낙동고령, 합천댐, 황강, 낙동창녕, 남강댐, 남강, 낙동밀양, 밀양강, 낙동강하구언, 가화천, 거제도, 낙동강남해, 왕피천)으로 구분되며, 수질 및 유량 등의 모니터링이 수행된 195개 지류·지천 지점은 Fig. 1과 같이 일반관리지점(Non-priority management areas) 160개 지점과 중점관리지점(Priority management areas) 35개 지점으로 구분된다. 2015년 기준으로 일반관리지점은 대부분 2회의 모니터링이 수행되었으며, 중점관리지점은 대부분

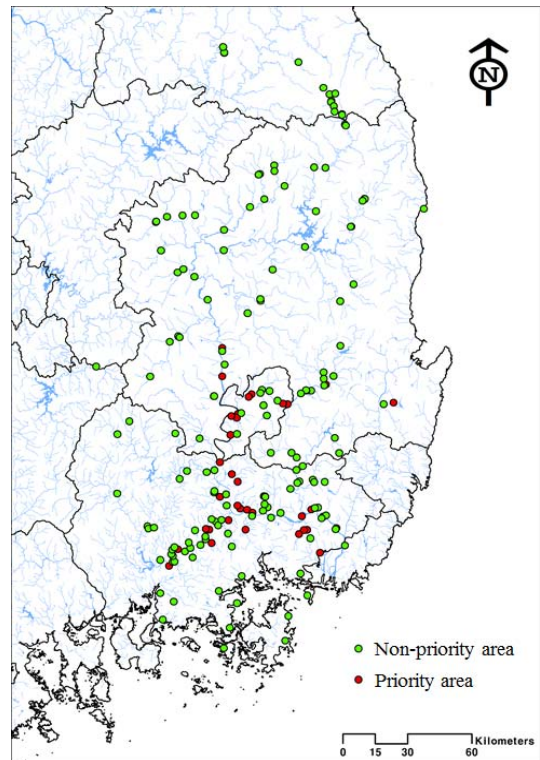


Fig. 1. Monitoring stations in Nakdong river for non-priority areas and priority areas.

Table 1. Geological characteristics and water quality standards of tributaries for priority management areas in Nakdong river

Medium-sized management areas	Tributary monitoring stations	Basin area (km ²)	Stream length (km)	Water quality standards
Nakdong/Waegwan	Gumicheon	68.3	15.5	Ib
	Gyeonghocheon	72.4	19.6	Ib
	Dongjeongcheon	34.4	11.2	Ib
Geumho river	Bukancheon	93.1	26.9	III
	Omokcheon	175.3	32.6	III
	Namcheon	115.2	24.2	III
	Palgeocheon	102.9	22.9	III
	Dalseocheon	24.4	9.8	III
Nakdong/Goryeong	Cheonnaecheon	21.3	10.4	II
	Gisegokcheon	28.0	12.5	II
	Bonricheon	10.4	8.0	II
	Yonghacheon	12.2	8.0	II
	Yonghocheon	22.1	8.9	II
Nakdong/Changyeong	Topyeongcheon	6.3	4.7	II
	Changnyeongcheon1	62.8	21.3	II
	Jeonhwacheon	16.1	8.6	II
Nam river	Gajwacheon	13.7	5.8	Ib
	Hyunjicheon	3.2	4.4	Ib
	Seokgyocheon1	28.7	18.9	Ib
	Seokgyocheon2	36.9	11.4	Ib
	Uiryeongcheon1	113.5	20.3	Ib
	Daesancheon2	1.8	3.7	Ib
	Daesacheon	29.2	12.7	Ib
Nakdong/Miryang	Gwangokcheon	21.7	9.0	II
	Gyeseongcheon	96.0	9.8	II
	Chirwoncheon	26.1	11.4	II
	Yeongsancheon	42.7	13.2	II
	Ohocheon	3.3	3.3	II
	Yongdeokcheon	13.8	5.3	II
	Tweraecheon	5.3	5.1	II
	Hwapocheon	55.9	14.4	II
	Chodongcheon	24.9	13.8	II
Sangnamcheon	46.4	14.1	II	
Nakdong river estuary bank	Mijeoncheon2	16.6	12.7	Ib
	Hogyecheon	18.3	10.5	Ib

11회의 모니터링이 수행되었다. 총 유효 모니터링 횟수는 699회로 일반관리지점은 325회, 중점관리지점은 374회가 측정되었다. 주요 측정항목은 BOD₅, COD_{Mn}, T-N, T-P, SS, TOC 등으로 환경부의 “수질 오염공정시험기준” 등에 준하여 측정·분석되었다.

2.2. 중점관리지점 현황

본 연구에서는 상대적으로 모니터링 횟수가 높아 유량 및 수질 변화를 보다 자세하게 살펴볼 수 있는 35개의 중점관리지점을 대상으로 각 지점의 수질 및 오염부하량 현황을 분석하였다. Table 1에 본 연구에서

Table 2. The mean concentrations of BOD, COD, T-N, T-P, SS, and TOC for all data sets collected at 195 tributary monitoring stations in Nakdong river

	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)	TOC (mg/L)
Mean	2.0	6.0	2.900	0.128	11.0	3.7
Std.	1.6	2.8	2.318	0.137	15.0	2.5
Maximum	8.9	18.2	17.897	1.778	172.2	28.2
Minimum	0.3	0.7	0.283	0.009	0.3	0.3
Median	1.6	5.7	2.259	0.099	6.2	3.4

대상으로 하고 있는 구미천, 경호천, 동정천, 북안천, 오목천, 남천, 팔건천, 달서천, 천내천, 기세곡천, 본리천, 용하천, 용호천, 토평천, 창녕천1, 전화천, 가좌천, 현지천, 석교천1, 석교천2, 의령천1, 대산천2, 대사천, 관곡천, 계성천, 칠원천, 영산천, 오호천, 용덕천, 퇴래천, 화포천, 초동천, 상남천, 미전천2, 호계천 등의 35개 중점관리지점과 각 중점관리지점이 속한 중권역 및 환경부고시 제2014-157호 “중권역별 수질 및 수생태계 목표기준과 달성기간”에 따른 각 지류 지천 중점관리지점의 해당 중권역별 목표수질을 정리하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유량 및 수질 현황

2015년 195개 낙동강 지류 지천 일반관리지점 및 중점관리지점에서 수집된 699개의 유량 및 수질 자료를 이용하여 수질 주요 항목에 대한 평균 수질농도와 오염부하량 등을 산정한 후 Table 2와 Table 3에 각각 나타내었다. 평균 수질 농도를 우리나라 “하천의 생활환경기준”과 비교해보면 BOD는 Ib등급, COD는 III

등급, T-N은 IV등급, T-P는 III등급, TOC는 II등급 등으로 확인되었다(T-N은 “호소의 생활환경기준” 참조). 그러나 최대값, 최소값 등의 차이가 약 30배(BOD 항목)에서 600배(SS 항목) 수준까지 되는 등 수질 농도의 편차가 다소 큰 것으로 나타났다.

오염부하량을 살펴보면 이러한 편차가 더욱 크게 나타나는 것을 알 수 있는데, 최대값과 최소값의 차이가 항목별로 80만배(COD 항목)에서 270만배(BOD 항목)까지 벌어져 표준편차 값이 평균값의 수배 수준으로 산정되었다. 이렇게 각 수질항목의 오염부하량이 크게 차이가 나는 이유는 지점별 및 시기별로 지류 지천의 유량이 크게 변화하기 때문인 것으로 분석되었다. 이는 하천 오염부하의 양적 증가에 대한 고려인 수질오염총량제를 위한 기준 오염부하량 고려시 합리적인 오염부하량 산정이 매우 어려울 수 있음을 시사한다.

오염부하량 전체 699개 자료가 정규분포를 따르는지 여부를 확인하였는데, SPSS 등의 통계 프로그램을 이용하여 Shapiro-Wilk 정규성 검정 등을 통해 정규분포 여부를 판단하였다. 분석 결과 BOD, COD, T-N,

Table 3. The mean loading rates of BOD, COD, T-N, T-P, SS, and TOC for all data sets collected at 195 tributary monitoring stations in Nakdong river

	Flow rate (cms)	BOD (g/sec)	COD (g/sec)	T-N (g/sec)	T-P (g/sec)	SS (g/sec)	TOC (g/sec)
Mean	1.58	2.9	9.2	3.7	0.15	13.4	5.4
Std.	13.91	32.0	100.0	22.7	1.4	112.4	59.0
Maximum	358.48	824.5	2616.9	562.5	36.9	2796.1	1541.5
Minimum	0.0010	0.0003	0.0032	0.00057	0.000045	0.0012	0.0013
Median	0.23	0.37	1.3	0.51	0.022	1.6	0.76

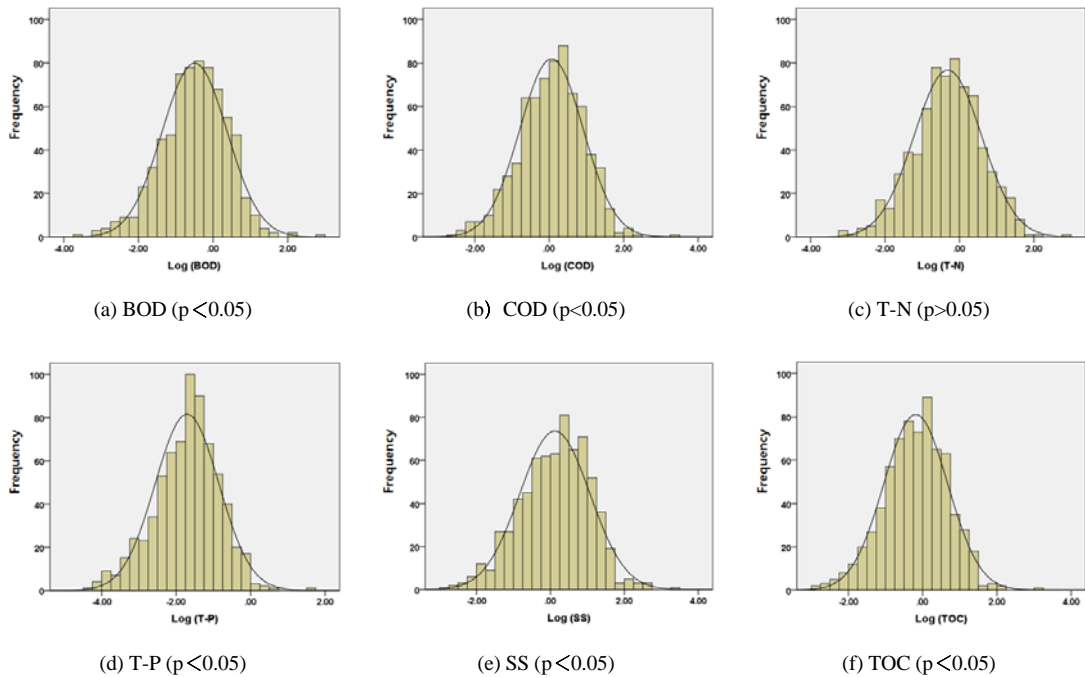


Fig. 2. Log-normal distributions of the loading rates for BOD, COD, T-N, T-P, SS, and TOC obtained at all 195 tributary monitoring stations in Nakdong river.

T-P, SS, TOC 등의 오염부하량 자료는 데이터 간 편차가 매우 커 정규분포가 아닌 것으로 확인되었다. 큰 편차에 의한 영향을 고려하기 위하여 로그-정규분포로 분석한 결과 다음의 Fig. 2와 같이 T-N 항목을 제외한 모든 항목의 오염부하량 데이터가 로그-정규분포를 따르는 것으로 확인되었다.

이상의 분석은 각 지류지천의 유량 및 수질 특성을 고려하지 않은 2015년 전체 수집 데이터에 대한 단순 평균값과 그에 따른 기초 통계값을 이용한 결과로 전체적인 현황분석 수준에서 이해하는 것이 타당할 것으로 판단하였다. 수질 각 항목의 농도 및 오염부하량 데이터의 변화 정도를 보다 의미있는 수준으로 논의하기 위하여 2015년 평균적으로 11회의 모니터링이 수행된 35개 중점관리지점의 결과에 대한 분석을 다음 장에 서술하였다.

3.2. 중점관리지점 모니터링 결과 분석

2015년 기준으로 낙동강 지류지천 35개 중점관리

지점 중 창녕천1 (10회: 12월 미수행), 전화천 (9회: 2, 3월 미수행), 관곡천 (7회: 2, 3, 4, 5월 미수행), 계성천 (7회: 2, 3, 4, 5, 월 미수행)을 제외한 모든 중점관리지점에서 11회(2~12월)의 모니터링이 수행되어 총 374회의 지점별 및 시기별 유량·수질 결과가 축적되었다. 이 데이터 셋을 이용하여 2015년 각 지점별로 수질농도 및 오염부하량의 평균 및 표준편차를 산정하고 이를 각각 Table 4와 Table 5에 정리하였다. 또한 다음의 식에 나타난 바와 같이 평균값이 서로 다른 데이터의 변화정도를 비교분석할 수 있는 “변동계수 (Coefficient of variation)”를 BOD, T-P, TOC 등의 주요항목의 수질농도 및 오염부하량에 대하여 산정한 후 Fig. 3과 4에 각각 나타내었다.

$$\text{Coefficient of variation} = \frac{\text{std}}{\text{mean}} (\%) \quad (1)$$

여기서 std는 표준편차를, mean는 평균값을 의미한다.

Table 4. The mean concentrations of BOD, COD, T-N, T-P, SS, and TOC for 35 tributary monitoring stations in Nakdong river

Tributary monitoring stations	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)	TOC (mg/L)
Gumicheon	3.79±1.13	8.67±1.53	4.39±2.86	0.16±0.11	22.10±18.33	5.69±1.24
Gyeonghocheon	1.57±0.68	7.87±0.96	5.00±1.55	0.14±0.05	4.13±2.04	5.27±1.18
Dongjeongcheon	1.95±0.62	7.56±2.11	2.61±1.22	0.18±0.08	12.35±10.36	4.90±1.64
Bukancheon	1.78±0.50	7.64±1.23	2.36±1.20	0.10±0.06	10.67±6.72	4.95±0.90
Omokcheon	2.30±1.34	6.96±1.73	2.72±1.09	0.12±0.05	5.95±3.30	4.13±1.73
Namcheon	3.11±2.09	8.38±1.75	9.33±2.36	0.11±0.04	5.16±2.30	5.42±1.63
Palgeocheon	2.05±1.78	6.08±1.14	1.46±0.57	0.08±0.04	10.11±9.80	3.76±0.73
Dalseocheon	2.20±1.64	7.90±2.01	8.25±1.77	0.14±0.03	14.48±24.75	5.75±2.13
Cheonnaecheon	2.31±1.58	4.84±1.58	2.26±0.63	0.10±0.04	6.36±5.22	2.87±1.06
Gisegokcheon	3.99±2.24	7.52±1.91	4.83±1.86	0.39±0.19	9.07±11.58	5.17±2.37
Bonricheon	3.43±2.62	6.76±1.81	2.78±1.15	0.20±0.09	9.27±6.83	4.03±1.13
Yonghacheon	5.94±1.86	11.95±3.16	7.41±2.47	0.36±0.17	15.52±29.46	11.46±6.20
Yonghocheon	3.56±1.71	8.66±0.86	3.43±2.46	0.16±0.07	18.49±11.96	5.80±1.10
Topyeongcheon	2.41±1.24	7.39±2.46	4.85±2.60	0.17±0.09	18.58±10.88	4.82±2.27
Changnyeongcheon1	3.57±2.92	7.52±1.23	5.34±1.02	0.23±0.09	8.36±6.63	4.56±0.73
Jeonhwacheon	2.10±1.03	6.87±1.53	1.21±0.69	0.09±0.03	26.08±31.84	3.86±1.14
Gajwacheon	3.43±2.00	5.57±1.02	3.69±0.89	0.19±0.10	8.86±9.36	3.63±0.72
Hyunjicheon	2.75±1.76	7.32±1.30	6.68±4.56	0.19±0.07	26.21±23.94	4.79±1.15
Seokgyocheon1	1.75±0.68	6.43±1.83	1.98±0.61	0.15±0.06	17.18±8.28	3.83±1.33
Seokgyocheon2	1.59±0.70	4.83±1.29	1.61±0.40	0.09±0.03	14.71±7.84	2.76±0.82
Uiryeongcheon1	1.96±0.79	6.35±1.76	2.58±1.04	0.11±0.05	13.73±5.12	3.98±1.21
Daesancheon2	2.35±1.15	8.09±1.65	1.59±0.50	0.17±0.09	19.85±8.46	5.05±1.35
Daesacheon	2.55±1.25	8.53±2.07	1.95±0.75	0.19±0.13	36.04±47.24	5.44±1.98
Gwangokcheon	3.90±2.29	10.71±2.73	3.02±2.36	0.18±0.05	15.66±5.46	8.00±2.74
Gyeseongcheon	1.57±0.62	7.17±1.34	2.16±2.28	0.18±0.13	4.57±2.48	4.34±1.09
Chirwoncheon	1.05±0.48	3.97±0.98	2.34±0.80	0.11±0.02	8.02±7.77	2.11±0.62
Yeongsancheon	3.34±1.56	8.06±1.55	2.65±1.29	0.13±0.04	18.16±10.95	4.65±1.02
Ohocheon	1.81±0.71	6.24±1.25	4.44±3.28	0.13±0.06	18.64±13.47	3.64±0.67
Yongdeokcheon	2.53±0.77	6.47±1.10	4.42±1.90	0.22±0.06	21.33±15.62	4.12±1.00
Tweraecheon	3.91±1.61	9.25±1.65	2.84±1.36	0.16±0.04	15.16±9.11	6.44±1.57
Hwapocheon	3.47±1.34	6.56±2.16	3.02±1.10	0.21±0.09	35.53±17.31	4.85±1.20
Chodongcheon	2.82±1.02	8.36±2.68	3.20±1.38	0.22±0.11	26.90±33.07	5.70±2.26
Sangnamcheon	2.45±1.32	7.57±2.51	1.73±0.74	0.12±0.03	11.91±2.96	4.51±2.00
Mijeoncheon2	1.89±0.56	6.30±0.72	0.69±0.39	0.07±0.2	12.53±7.81	3.90±0.91
Hogyecheon	5.13±2.13	13.93±2.13	2.22±0.89	0.70±0.54	31.51±32.81	10.17±2.82

Table 5. The mean loading rates of BOD, COD, T-N, T-P, SS, and TOC for 35 tributary monitoring stations in Nakdong river

Tributary monitoring stations	Flow rate (m ³ /s)	BOD (g/sec)	COD (g/sec)	T-N (g/sec)	T-P (g/sec)	SS (g/sec)	TOC (g/sec)
Gumicheon	1.06±0.87	4.07±3.44	9.14±7.42	3.83±2.19	0.25±0.48	36.34±75.88	5.97±4.72
Gyeonghocheon	0.28±0.10	0.45±0.34	2.16±0.77	1.35±0.53	0.04±0.02	1.13±0.66	1.41±0.45
Dongjeongcheon	0.27±0.07	0.54±0.21	2.13±0.90	0.67±0.23	0.05±0.02	3.49±2.96	1.37±0.63
Bukancheon	0.76±0.90	1.41±1.99	6.31±8.22	2.16±3.11	0.12±0.25	9.10±14.79	3.96±5.17
Omokcheon	2.04±1.25	4.72±4.50	13.80±7.45	5.95±5.02	0.24±0.17	13.12±12.13	8.09±4.82
Namcheon	1.83±0.92	5.63±4.36	14.48±4.87	15.83±4.64	0.21±0.11	9.59±6.43	9.05±2.81
Palgeocheon	0.39±0.35	0.75±0.69	2.30±1.92	0.67±0.82	0.03±0.03	3.40±2.88	1.36±1.07
Dalseocheon	3.61±0.74	8.02±6.92	28.15±9.21	28.74±4.22	0.51±0.17	57.23±110.29	20.27±8.28
Cheonnaecheon	0.14±0.32	0.23±0.45	0.83±1.86	0.40±1.00	0.02±0.04	1.21±2.56	0.56±1.30
Gisegokcheon	0.05±0.05	0.21±0.22	0.38±0.32	0.23±0.20	0.02±0.02	0.52±0.81	0.25±0.25
Bonricheon	0.05±0.04	0.17±0.16	0.38±0.30	0.14±0.09	0.01±0.01	0.52±0.60	0.22±0.17
Yonghacheon	0.19±0.09	1.17±0.72	2.39±1.42	1.40±0.68	0.07±0.04	2.21±2.63	2.16±1.21
Yonghocheon	0.05±0.05	0.15±0.13	0.40±0.46	0.15±0.18	0.01±0.02	0.94±1.25	0.28±0.34
Topyeongcheon	0.39±0.33	1.03±1.38	2.92±2.61	1.85±1.79	0.06±0.06	8.60±11.98	1.76±1.32
Changnyeongcheon1	0.18±0.17	0.87±1.37	1.53±1.77	1.05±1.25	0.05±0.07	2.07±3.30	0.92±0.99
Jeonhwacheon	0.02±0.03	0.04±0.04	0.17±0.21	0.04±0.06	0.00±0.00	1.11±2.60	0.09±0.12
Gajwacheon	0.27±0.15	0.80±0.47	1.44±0.73	1.02±0.67	0.04±0.01	2.98±3.91	0.92±0.48
Hyunjicheon	0.07±0.07	0.15±0.12	0.50±0.60	0.48±0.75	0.02±0.03	1.47±1.47	0.34±0.45
Seokgyocheon1	0.74±0.50	1.33±0.97	4.58±2.76	1.45±1.23	0.10±0.07	12.05±9.20	2.68±1.61
Seokgyocheon2	0.57±0.76	0.73±0.76	2.72±3.68	1.07±1.67	0.06±0.10	8.44±12.00	1.51±2.14
Uiryongcheon1	3.11±4.59	5.00±6.26	18.12±26.69	7.48±11.58	0.42±0.75	45.61±67.56	11.19±16.51
Daesancheon2	0.15±0.10	0.41±0.38	1.29±0.91	0.25±0.20	0.02±0.01	3.18±2.31	0.78±0.50
Daesacheon	0.27±0.05	0.68±0.35	2.29±0.73	0.52±0.23	0.05±0.04	9.98±13.65	1.47±0.64
Gwangokcheon	0.03±0.06	0.09±0.15	0.28±0.47	0.07±0.11	0.01±0.01	0.59±1.20	0.19±0.31
Gyeseongcheon	0.30±0.37	0.35±0.32	2.13±2.67	0.62±0.69	0.05±0.08	0.99±0.78	1.28±1.60
Chirwoncheon	0.35±0.54	0.52±0.89	1.75±2.92	0.85±1.40	0.04±0.06	6.06±12.51	0.90±1.49
Yeongsancheon	0.17±0.06	0.55±0.23	1.40±0.55	0.45±0.31	0.02±0.01	2.80±0.92	0.80±0.30
Ohocheon	0.10±0.11	0.24±0.28	0.73±0.83	0.27±0.26	0.01±0.02	2.71±3.62	0.41±0.46
Yongdeokcheon	0.15±0.22	0.34±0.44	1.05±1.72	0.83±1.60	0.03±0.03	3.74±7.64	0.63±0.99
Tweraecheon	0.08±0.07	0.25±0.14	0.66±0.58	0.26±0.39	0.01±0.01	1.56±2.80	0.45±0.37
Hwapocheon	0.74±1.01	2.08±1.67	3.07±1.08	2.36±3.92	0.14±0.16	28.79±41.04	3.72±5.44
Chodongcheon	0.49±0.68	1.67±2.57	4.78±6.94	1.18±1.48	0.13±0.25	17.51±32.18	3.22±4.68
Sangnamcheon	0.74±1.06	1.51±1.57	5.46±8.01	1.05±0.91	0.09±0.12	8.03±9.77	3.18±4.48
Mijeoncheon2	0.12±0.21	0.28±0.59	0.73±1.28	0.09±0.15	0.01±0.01	1.54±2.83	0.44±0.79
Hogyecheon	0.01±0.01	0.06±0.05	0.16±0.08	0.03±0.02	0.01±0.01	0.47±0.76	0.12±0.06

이러한 변동계수 분석을 통해 해당 데이터 셋의 평균 값을 기준으로 한 상대적 변동 폭을 가늠할 수 있어 수질 농도 및 오염부하량 평균값의 대표성에 대한 논의가 가능하다.

35개 중점관리지점에 대한 수질항목 평균농도 변화를 살펴보면 BOD, COD, T-N, T-P, SS, TOC에 대하여 1.05~5.94, 3.97~13.93, 0.69~9.33, 0.07~0.70, 4.13~36.04, 2.11~11.46 mg/L 범위에서 각각 변동하였다. BOD, T-P, TOC 등의 주요 항목에 대하여 중권역별 목표수질과 비교해보면 BOD는 경호천, 동정천, 북안천, 오목천, 남천, 팔거천, 달서천, 천내천, 토평천, 전화천, 석교천1, 석교천2, 의령천1, 계성천, 칠원천, 오호천, 용덕천, 초동천, 상남천, 미전천2 등의 20개 지점에서, T-P는 북안천, 오목천, 남천, 팔거천, 달서천, 천내천, 전화천 등의 7개 지점에서, TOC는 북안천, 오목천, 팔거천, 천내천, 전화천, 석교천2, 칠원천, 오호천 등의 8개 지점에서 목표수질을 만족하는 것으로 확인되었다. T-N 항목은 환경부 “하천의 생활환경기준”에 없는 항목으로 모든 지점에서 목표수질을 초과하는 것으로 나타났다. T-N 항목을 제외한 BOD, COD, T-P, SS, TOC 등의 모든 항목에서 목표수질을 만족한 지점은 오목천, 팔거천, 천내천 등의 3개 지점이었다.

각 지점별 수질항목 농도의 변동계수는 BOD,

COD, T-N, T-P, SS, TOC에 대하여 28.2~87.0, 9.9~33.3, 19.1~105.2, 18.8~77.3, 24.8~189.8, 16.0~54.1% 수준으로 나타나 전반적으로 100% 미만의 변동계수 값들이 산정되었다. 수질항목 중 BOD를 제외한 유기오염물 항목인 COD 및 TOC 항목의 변화 정도가 가장 작은 것으로 확인되었다.

35개 중점관리지점의 평균 오염부하량 변화를 살펴보면 BOD, COD, T-N, T-P, SS, TOC에 대하여 0.04~8.02, 0.16~28.15, 0.03~28.74, 0.00~0.51, 0.47~57.23, 0.09~20.27 g/sec 범위에서 각각 나타나 수질농도와 비교하여 지점별로 변화폭이 매우 큰 것으로 확인되었다. BOD, T-P, TOC 항목의 상위 5개 지점은 BOD의 경우 달서천(8.02 g/sec), 남천(5.63 g/sec), 의령천1(5.00 g/sec), 오목천(4.72 g/sec), 구미천(4.07 g/sec)으로, T-P의 경우 달서천(0.51 g/sec), 의령천1(0.42 g/sec), 구미천(0.25 g/sec), 오목천(0.24 g/sec), 남천(0.21 g/sec)으로, TOC의 경우 달서천(20.27 g/sec), 의령천1(11.19 g/sec), 남천(9.05 g/sec), 오목천(8.09 g/sec), 구미천(5.97 g/sec)으로 선정되었는데, 모두 동일한 지점들이었다. 이는 오염부하량이 유량에 영향을 크게 받기 때문인데, 이들 5개 지점의 평균유량이 35개 지점 중 상위 5개에 속하는 것으로 확인되었다: 달서천(3.61 m³/s), 의령천1(3.11 m³/s), 오목천(2.04 m³/s), 남천(1.83 m³/s), 구미천(1.06 m³/s).

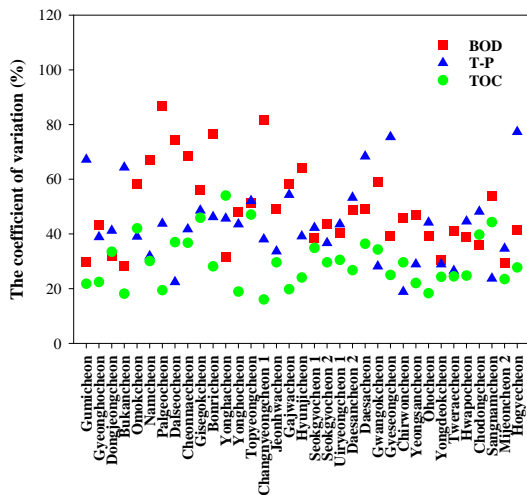


Fig. 3. The coefficient of variation for the concentration of BOD, T-P, and TOC.

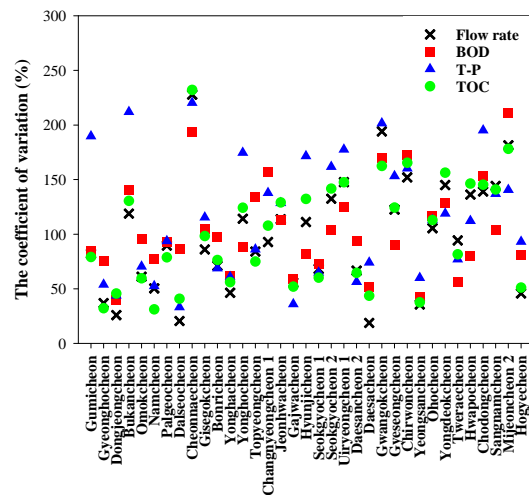


Fig. 4. The coefficient of variation for the flow rate and the loading rate of BOD, T-P, and TOC.

각 지점별 오염부하량의 변동계수는 수질항목 농도의 변동계수보다 더 크게 변화하였는데, 유량, BOD, COD, T-N, T-P, SS, TOC에 대하여 18.7~227.8, 39.5~211.4, 31.8~223.3, 14.7~250.0, 33.2~220.4, 32.8~235.2, 31.1~232.2% 범위로 최대 250% 수준까지 나타났다. 오염부하량이 유량의 변화에 크게 영향을 받기 때문에 유량 변화 폭과 수질항목들의 오염부하량 변화 폭이 거의 유사한 것으로 확인되었다. 유량의 변동계수가 높은 상위 5개 지점은 천내천(227.8%), 관곡천(194.1%), 미전천2(181.4%), 칠원천(152.0%), 의령천1(147.6%) 순이었다.

이상에서 살펴본 바와 같이 35개 중점관리지점에서 수질항목 농도 및 오염부하량의 평균값이 높은 편차를 갖고 있어 동일 지점에서 시기별로 그 변화폭이 큰 것으로 확인되었다 (Jung et al., 2013; Na et al., 2016). 이는 앞서 전체 195개 지점에서의 유량 및 수질 데이터를 살펴본 바와 같이 유량 및 수질 데이터의 한 지점에서의 평균값을 이용하여 그 지점의 오염 특성을 논의하는 것이 다소 문제가 있을 수 있음을 의미한다. 다음의 장에 이러한 문제점을 개선하기 위하여 각 모니터링 데이터를 개별적으로 평가하여 이를 총괄적으로 분석하는 방안에 대하여 서술하였다.

3.3. 모니터링 결과의 평가

2015년 낙동강 지류 지천 지점중 35개의 중점관리 지점에서 수집된 374개의 데이터 셋을 환경부 “중권역별 목표수질”과 비교하여 독립적으로 평가하였다. 한 중점관리지점에서 평균적으로 11회의 모니터링이 수행되었는데, 각각의 BOD, T-P, TOC 등의 수질 모니터링 결과를 “중권역별 목표수질”과 비교하여 초과 여부를 확인하고 평균 초과횟수(총 초과 횟수 / 모니터링 횟수)를 산정하였다. 즉, 각 항목에 대해 11회의 모니터링 각각의 결과가 모두 “중권역별 목표수질”을 초과한다면 해당 지점의 초과횟수는 1.0으로 산정된다. 이상의 결과를 Fig. 5에 나타내었으며, BOD, T-P, TOC 등 3개 항목에 대한 총 평균 초과횟수를 선형 그래프(“Total” 항목)으로 같이 나타내었다.

BOD, T-P, TOC 항목에 대한 평균 초과횟수는 모두 0.00~1.00의 범위를 나타내었으며, Total 항목은 0.06~1.00의 범위로 확인되었다. 중점관리지점에서

모든 모니터링 건수에 대해 BOD, T-P, TOC의 수질 항목이 모두 “중권역별 목표수질”을 초과한 경우 한 건이 확인되었는데 용하천이었다. 평균 초과횟수가 가장 낮은 지점은 팔거천으로 전체 11회의 조사횟수 중 BOD와 TOC 항목에 대해 각각 1회씩만 초과하여 평균적으로 총 0.06회의 초과횟수를 보여주었다. 항목별로 살펴보면 35개 중점관리지점에서 BOD는 평균 4.03회, T-P는 평균 8.17회, TOC는 평균 6.97회 초과하여 T-P 항목의 초과 정도가 상대적으로 높은 것으로 확인되었다. 이는 “중권역별 목표수질” 달성을 위한 합리적인 수질관리를 위해서는 유기오염물에 의한 오염보다 영양염류에 의한 오염에 대한 관리가 보다 집중적으로 이루어져야 함을 의미한다. 또한 수계 유기오염물질의 생분해성에 대한 고려가 “중권역별 목표수질”에 충분히 반영 되었다고 가정하면, 생물학적분해가능 유기오염물에 대한 고려와 함께 난분해성 유기오염물에 대한 관리가 함께 이루어져야 함을 의미한다.

오염부하량의 경우 수질의 “중권역별 목표수질”과 같은 절대 기준치가 아직까지 도입되지 않고 있는 실정이다. 오염총량제와 유사하게 생각할 수 있는 오염

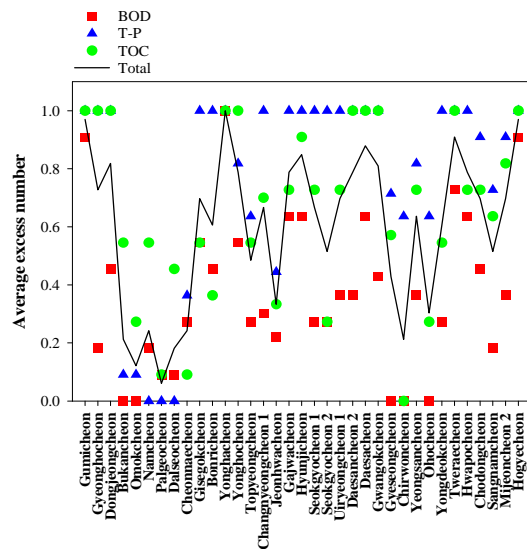


Fig. 5. Average excess number for the water quality standard of BOD, T-P, and TOC at each priority tributary monitoring station in Nakdong river.

부하량의 경우 수질이 목표수질 대비 낮은 수준의 양호한 상태를 나타낸다 하더라도 유량이 큰 경우에 높은 수준의 오염부하량을 나타낼 수 있다. 반대로 수질이 목표수질을 초과하여 좋지 않은 수준을 나타낸다 하더라도 유량이 적은 경우에 낮은 오염부하량을 나타내어 오염총량제 관점에서는 유리할 수 있다(Cho et al., 2012; Lim et al., 2010; Na et al., 2015). 그러므로 중점관리지점을 오염부하량 측면에서 평가하기 위해서는 각 지점의 시기별 기준 유량 및 이에 대한 수질 기준이 해당 지역의 오염총량제에 대한 이해를 바탕으로 확립되고, 이를 이용한 오염부하량 초과 여부에 대한 고려가 필요할 것이다.

4. 결론

2015년 낙동강 195개 지류 지천 지점의 유량 및 수질 데이터를 이용하여 수질 농도 및 오염부하량 등의 수질 특성 분석 연구가 수행되었으며, 특히 지점별로 연11회의 모니터링 횟수가 기록된 35개 중점관리지점에 대한 분석이 중점적으로 수행되었다. 이상의 연구를 통해 얻어진 연구 결론을 다음에 정리하였다.

1) 수집된 총 699개의 데이터 셋을 분석한 결과 수질 농도는 최대값과 최소값의 차이가 약 30~600배 수준이었으며, 오염부하량은 80만~270만배의 큰 범위로 확인되어 지점별 평균값의 대표성에 대한 고려가 요구되었다.

2) BOD, COD, T-P, SS, TOC 등의 오염부하량은 데이터 사이의 편차가 매우 커 정규분포가 아닌 로그정규분포를 따르는 것으로 확인되었다.

3) 중점관리지점 각 지점에서의 수질농도 및 오염부하량 자료의 평균과 표준편차의 비인 “변동계수”를 산정한 결과 수질농도는 전반적으로 100% 미만의 값들이 산정되었으나, 오염부하량의 경우 최대 250% 범위까지 그 변화정도가 확대되는 것으로 확인되었다. 오염부하량의 이와 같은 큰 변화정도는 각 지점 유량의 시기별 변화가 상대적으로 매우 크기 때문으로 판단되었다.

4) 각 지점의 데이터 변화가 매우 크기 때문에 1년 평균값이 아닌 모든 모니터링 경우에 대한 “중권역별 목표수질” 초과 여부를 산정하여 이를 평균치로 비교

하여 각 지점의 수질 상황을 분석하였다. 모든 경우에 BOD, T-P, TOC 항목에 대한 “중권역별 목표수질”을 초과한 지점은 용하천이었으며, 가장 낮은 초과횟수를 나타낸 지점은 팔거천이었다.

5) 오염부하량의 경우 “중권역별 목표수질”과 같은 기준이 아직 정립되지 않아 각 지역별 오염총량제에 대한 이해를 바탕으로 한 기준 마련이 필요할 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 2016년 낙동강수계 환경기초조사사업 [낙동강 수계 지류지천 수질 및 유량 모니터링] 사업의 지원을 받아 수행된 결과입니다.

REFERENCES

- Cho, B., Choi, J., Yi, S., Kim, Y., 2012, Selection priority of tributary catchments for improving water quality using stream grouping method, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 28(1), 18-25.
- Jung, K. Y., Agn, 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., Kim, K., Seo, D., Kim, J., Lim, B., 2013, Evaluation of water quality characteristics of grade classification of Yeongsan river tributaries, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 29(4), 504-513.
- 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., Lee, S., 2011, Evaluation of water quality for the Han river tributaries using multivariate analysis, *J. Kor. Soc. Environ. 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. Environ. Eng.*, 32(8), 802-808.
- Na, S., Kwon, H., Shin, S. M., Son, Y. S., Shin, D., 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., 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.
- 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 Nakdong river basin, *J. Environ. Sci. Int.*, 22(12), 1615-1624.