

낙동강수계 지류 수질자료를 통한 수질개선 우선순위 선정

심규현^a · 신상민^b · 김성민^c · 김용석^d · 김경훈^{e,*}

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

Priority Selection of Water Quality Improvement Through Water Quality Data of Tributaries of Nakdong River

Shim Kyuhyun^a · Shin Sangmin^b · Kim Seongmin^c · Kim Youngseok^d · Kim Gyeonghoon^{e,*}

Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

(Received 1 July 2020, Revised 19 August 2020, Accepted 24 August 2020)

Abstract

The “Master Plan for the Revitalization of Water in the Nakdong River” is designed for the fundamental improvement of water quality in the Nakdong River. The water quality and flow of the Nakdong River system tributaries was monitored in this study. Among the living environmental standard parameters of 195 rivers, BOD (Biochemical oxygen demand), T-P (Total phosphorus) and TOC (Total organic carbon) were assessed to analyze the water quality from 2012 to 2019. We examined the role of TOC. It was found that 12 rivers exceeded the water quality of the second grade (3.0 mg/L BOD standard, 0.1 mg/L T-P standard, 4.0 mg/L TOC standard) based on BOD and T-P concentrations: the Gumi stream, Gisegok stream, Yongha stream, Yongho stream, Changnyeong stream, Gajwa stream, Gwangok stream, Yeongsan stream, Toerae stream, Hwapo stream, Sangnam stream and Hogye stream. These rivers require strategies to improve the quality of the Nakdong River. Based on the ongoing project, it is possible to supplement the “Master Plan for the Revitalization of Water in the Nakdong River” and manage it after verifying it as a component of people’s life and therefore used to establish water quality control measures.

Key words : BOD, Nakdong river, Stream grouping, TOC, T-P, Water quality

^a 전문위원(Researcher), ghsim@korea.kr, <https://orcid.org/0000-0001-6659-4794>

^b 전문위원(Researcher), clicktomessm@korea.kr, <https://orcid.org/0000-0002-7023-4449>

^c 연구관(Researcher), frogksm@korea.kr, <https://orcid.org/0000-0002-9029-1344>

^d 소장(Director), nierkys@korea.kr, <https://orcid.org/0000-0002-0130-3906>

^{e,*} Corresponding author, 전문위원(Researcher), dahong@korea.kr, <https://orcid.org/0000-0001-7525-3086>

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.

1. Introduction

도시화 및 산업화로 국민의 생활수준은 크게 향상되고 있으나 환경오염의 문제점은 점차 심화되고 있다. 특히 낙동강 중·상류지역에 대형도시 및 공단이 위치하고 있어 오염부하가 높고 하류에는 낙동강을 식수원으로 하는 인구가 밀집되어 있어 수질오염에 대한 불안이 상존하고 있다(Cho, 2011; Yu, 2005). 현재 수질오염 방지 및 개선을 위해 ‘통합물관리 종합계획’, ‘수질오염총량관리제’등을 실시하여 여러 성과를 거두고 있다. 따라서, 본류 유입 부하량을 정확하게 평가하기 위한 소하천의 수질관리 중요성이 점차 증가하고 있으며, 조류대응을 위한 해결방안 가운데 하나로 비점오염원관리, 주요하천 및 지류·지천의 감시·관리가 강화되고 있다. 그러나 아직도 수질은 예측할 수 없는 많은 문제점 및 한계점을 지니고 있다(Jung et al., 2016).

낙동강유역환경청에서는 낙동강의 근본적인 수질개선을 위해 “낙동강 윗물 살리기 마스터플랜”을 시행 중에 있다. “윗물이 맑아야 아랫물이 맑다”라는 말과 같이, 낙동강의 수질을 좋게 하기 위해서는 낙동강으로 유입되는 윗물, 즉 도랑, 지류·지천의 수질을 먼저 좋게 하자는 취지하에 실시된 사업이다(Nakdong River Environmental Management Office, 2016). 이 윗물살리기 사업은 낙동강물환경연구소에서 계속 사업으로 추진중인 “낙동강수계 지류·지천의 수질 및 유량 모니터링 사업; 이하 지류 모니터링사업”을 통해 보완 및 사후관리가 가능하며 사업성과를 검증할 수 있는 발판이 될 수 있을 것이며, 또한 하천은 국민의 생활공간의 일부로 자리를 잡고 있는 만큼 일상적 활동, 휴식 및 여가활동을 제공하는 공간으로 수질관리대책을 수립하는데 중요한 기초자료가 될 것으로 판단된다.

최근 많은 연구에서 하천그룹화 방법을 이용하여 효율적인 유역관리를 실시해 수질개선하천 유역의 우선순위를 제시하고 있다(Cho et al., 2012; Lim et al., 2010; Na et al., 2015). Lim et al. (2010)은 금강수계의 18개 지류하천을 대상으로 하천유량 및 수질 모니터링 하천그룹화, 배출부하밀도를 산정하여 정량적인 오염물질 양 파악 및 합리적인 수환경 관리방안을 모색하였다. Cho et al. (2012)는 금강수계 113개소 (42개 하천)을 대상으로 유량 및 수질 모니터링, 하천그룹화, 오염원 그룹별 배출 부하량 산정 및 수질개선 하천유역을 선정하였다. Na et al. (2015)는 낙동강수계의 효율적인 유역선정 및 개선방안을 위해 38개 낙동강 지류·지천을 대상으로 수질 및 유량을 모니터링 하고, 각 수질항목 지표간 피어슨 상관계수 (Pearson correlation coefficient)를 분석 한 후, 상관관계가 높고 총량수질지표 항목인 생물화학적산소요구량(BOD₅)과 총인(T-P)을 이용하여 지류지천의 등급화 방안을 마련하였다.

따라서 본 연구는 효율적인 수질개선을 위해 2011년부터 수행 중인 총 195개 지류 모니터링 사업에서 조사된 측정결과를 바탕으로 지류·지천의 수질 평가, 주요 지점들의 오염현황 파악 및 우선 수질 개선이 필요한 오염하천을 선정(배출부하량 기준) 하는데 그 목적이 있다(Nakdong River Water Environment Laboratory, 2012~2019).

2. Materials and Methods

2.1 대상유역 현황

낙동강은 경상도를 유역권으로 남해로 흐르는 강으로 강원도 태백시 함백산(1,573m)에서 발원하여 상류부에서는 안동을 중심으로 반변천을 비롯한 여러 지류를 합치면서 서쪽으로 곡류한다. 낙동강의 유역둘레는 1,091.1 km이며, 유역면적은 23,860 km²이다. 경상도의 전체면적 32,367.92 km² 중에서 73.71%가 낙동강수계에 해당 된다. 지류 모니터링 사업은 기존에 운영 중인 국가 수질측정망, 총량측정망, 국가 수문측정망(수위, 유량 등) 지점들과 연계가 가능하고, 수계 전체에 걸쳐 모니터링이 가능하도록 선정 한 지점은 낙동강 권역 내 26개 중권역(낙동강수계 22개, 기타수계 4개)의 195개 지점에 대해서 유량 및 수질 모니터링을 실시하고 있으며, 지점현황도는 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 수질 및 유량 조사

낙동강수계 지류·지천 모니터링은 유역기초자료 조사, 지역현황 및 오염원 현황에 대한 결과를 중권역별로 수록하여 추후 중·소권역별 물환경관리 계획 수립시 용이하게 활용될 수 있도록 하는 것이 주 목적이다. 낙동강 주요 지류에 대한 수질 및 유량 등의 유역관리 기초자료 확보 및 장래 효율적인 물관리 체계 구축을 위해 최종 선정된 195개 지점 중 2012년~2018년까지의 실측조사 결과 및 현안사항 등을 고려하여 중점관리지점 및 일반관리지점을 선정하였다. 측정성과

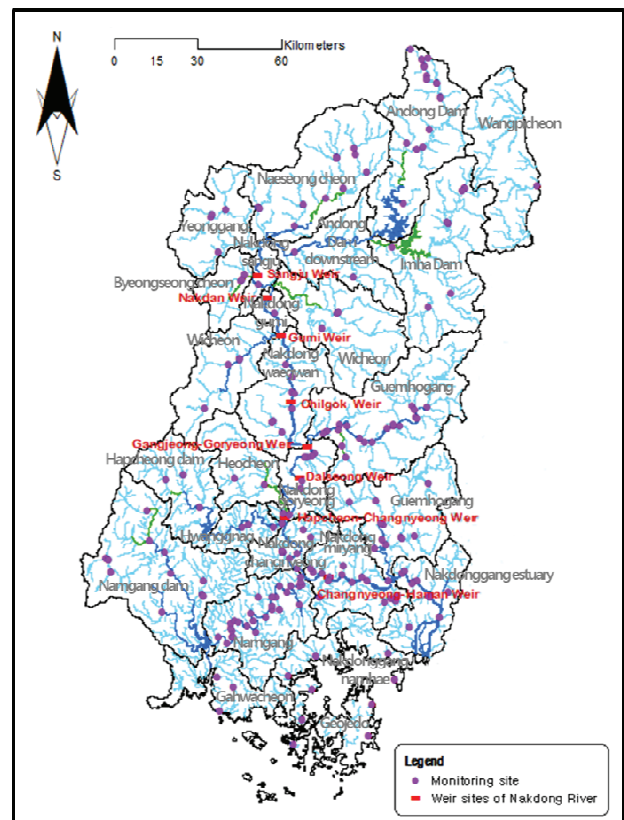


Fig. 1. Map showing tributary monitoring point.

는 2012년~2019년까지 8년간 195개의 지류하천에 대해 실측한 모니터링 조사 자료를 본 연구에 사용하였다. 중점관리지점과 일반관리지점으로 나누어 일반관리지점은 년2회, 중점관리지점은 월1회 조사를 실시하였으며, 저·평수기 및 갈수기를 대상으로 하천유량측정지점에 따라 유속-면적법에 따라 산정하였으며, 측정수질분석은 수질오염공정시험기준에 준하여 분석하였다. 수질등급은 수질 및 수생태계 환경기준에서 하천 생활환경기준 등급을 준용하였으며, 유량등급은 지류하천의 유역 유출량의 규모만을 파악할 수 있도록 정성적 기준안을 마련하였다. 수질 및 유량 등급 기준은 Table 1에 나타내었으며, “수질기준 및 수생태계 환경기준(환경부)”에 준하여 ‘좋은물’ 수질기준 II 등급(BOD 3mg/L이하, T-P 0.1 mg/L이하, TOC 4 mg/L이하)을 고려하여 BOD와 T-P, TOC항목을 중점적으로 분석하였다.

공공수역의 난분해성 유기물질의 증가에 따른 원인 파악과 배출시설의 기여여부, 분석기술의 발달, 관리수단의 고도화의 필요성, 분석의 신속·편리성, 국제적 통용성 측면에서 과연 COD_{Mn} 등 기존 유기물 지표의 적정성에 대한 부정적인 의견이 수없이 지적되었고 새로운 평가지표에 대한 요구가 제기되면서 대표적인 대안항목으로 유기물질의 효율적 관리를 위해 TOC 항목도 측정하고 있다.

2.3. 수질 및 수생태계 환경기준

수질·수생태계 환경기준은 “환경정책기본법 시행령”에 규정되어 있으며, 하천, 호소, 지하수 및 해역 등 4개 수역으로 구분된다. 하천의 생활환경기준은 pH, 생화학적산소요구량(BOD), 총유기탄소(TOC), 총인(T-P) 등 8개 항목에 대해 7개 등급으로 설정되어 있다. 그 중 사람의 건강보호기준은 환경기준과 목표기준이 동일하지만, 환경기준의 생활환경기준 항목 중 BOD, T-P 및 생물이해등급에 대해서만 목표기준이 설정되어 있다.

환경기준 외에도 목표기준 등 수질과 관련된 여러 기준이 설정되어 있다. “한강 수계 상수원 수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률” 등 4대강수계법과 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률”은 수계 이용상황, 수질상태 등을 고려해 수질오염물질의 총량에 대한 관리목표인 ‘총량관리 목표수질’을 규정한다. 목표수질은 BOD와 T-P에 대해서만 설정되어 있으며, 상수원에 대해서는 환경기준의 ‘약간 좋음(Ib)’ 이상으로 설정된다. 목표기준을 달성·유지하지 못한다고 인정되는 수계에 대해 총량관리를 시행할 수 있으므로, 오염총량 목표수질은 수질·수생태계 목표기준(“수질 및 수생태계 환경기준”, 환경부)에 포함된다고 볼 수 있다(ME, 2017).

TOC는 2013년부터 수질 및 수생태계 환경기준 항목으로 도입되었다. 유기물 함량을 직접 측정이 가능해 기존 생분해성 물질 위주의 유기물 관리정책을 보완하고 수생태계 내에서 난분해성 물질을 포함한 총유기물질이 공공수역에 미치는 영향을 직접적으로 평가하는데 활용하는 것이 가능하다(Choi and Han, 2011; Jeong et al., 2016; Leenheer and Croue, 2003) 또한 TOC는 수체내 난분해성 유기물질의 변화를 파악하고, 빠른 측정결과와 제공에 따른 실시간 오염원

감시 및 대응이 가능하며, 염소 소독부산물을 사전에 검출하여 예방을 통한 건강 위해성을 감소시킬 수 있다(Jeong et al., 2016).

2.4. ‘윗물살리기’ 마스터플랜 오염하천선정 기준

윗물살리기는 도랑살리기, 생태적 농수로 조성, 하수처리장 방류수 재이용, 통합·집중형 오염하천 개선사업 등 4개의 사업으로 이루어져 수질개선이 시급한 하천에 단기간 내 개선효과를 창출하기 위해 만든 프로젝트이다. 오염하천 선정은 2015년 당시 사업 추진이 현실적으로 어려운 복개된 하천, 산단 내 하천 등을 제외하고, 수질현황(BOD + T-P), ‘좋은물’ 수질기준 초과 여부 및 3년간 ‘수질기준 초과횟수, 유량현황을 고려하여 시급성, 사업별 추진 일정 등을 고려하여 최종대상지를 선정하였으며, 선정된 하천 현황은 Table 1과 같다. 유량 및 수질은 윗물살리기 마스터 플랜 시행당시 오염도를 확인하기 위해 2015년 연평균 값을 나타내었다.

2.5. 하천등급화 및 수질개선 우선순위 선정

낙동강수계 지류·지천 모니터링 195개 지점의 수질 모니터링 결과를 이용하여 우선순위를 파악하기 위한 하천 등급화

Table 1. Water quality of selected rivers for ‘freshwater reclamation’

Intermediate basin	Station	Stream	Q (m ³ /s)	BOD (mg/L)	T-P (mg/L)	Project Plan
Namgang	General management	Haman	0.556	1.9	0.109	3.8
Nakdong milyang	Focused management	Gyeseong	0.304	1.6	0.179	4.3
Gumhogang	Focused management	Omok	2.038	2.3	0.124	4.1
Nakdong waegwan	Focused management	Gyunggho	0.278	1.6	0.139	5.3
Nakdong goryung	Focused management	Yonggho	0.045	3.6	0.164	5.8
Nakdong Changnyung	Focused management	Topyeong	0.387	2.4	0.169	4.8
Namgang	General management	Hachon	0.037	2.5	0.285	4.6
Nakdong milyang	Focused management	Yeongsan	0.174	3.3	0.132	4.6
	Focused management	Toerae	0.075	3.9	0.164	6.4
Namgang	General management	Jinae	0.269	1.4	0.146	4.3
	Focused management	Seokgyo	0.740	1.8	0.152	3.8
	General management	Hyangyang	0.197	1.6	0.110	4.8
Nakdong milyang	Focused management	Chilwon	0.353	1.1	0.108	2.1

* Reference to the current data at the water quality measurement point in 2015.

방법은 생활환경기준 항목인 BOD와 T-P의 오염물질 현황을 4개의 영역으로 구분하였다. X축에 T-P(mg/L)농도, Y축에 BOD(mg/L)농도를 반영하여 좋은물 II(좋은)등급(T-P기준 0.1 mg/L - BOD기준 3.0 mg/L)을 기준으로 교차지점을 경계로 오염도 등급을 구분하여 수질개선이 필요한 하천을 선정하였다. ‘좋은물’ 기준 수질오염도가 초과하는 하천의 배출부하량을 산정하여 본류의 수질악화에 영향을 주는 수질개선이 우선적으로 필요한 하천을 선정하였다. 또한 TOC 항목을 반영해 BOD, T-P와의 관계를 비교해 상관성이 있는지, 향후 대처항목으로 반영에 적합한지 비교하고자 한다.

3. Results and Discussion

3.1. 지류 모니터링 수질 평가

낙동강수계의 지류·지천 195개 하천 중 일반관리지점(161개소)과 중점관리지점(34개소)에 대해서 2012년부터 2019년까지 지류모니터링 결과를 Table 2와 Table 3에 나타내었다. 지류·지천 수질 및 유량 모니터링에서 관리하는 하천은 총 195개소로서 일반관리지점과 오염도가 높다고 판단되는 지점을 중점관리지점으로 지정해 관리하고 있다.

일반관리지점 항목별 수질등급결과 BOD는 III(보통)등급보다 낮은 지점은 없는 것으로 파악되었으며, T-P는 III(보통)등급보다 낮은 지점은 18개소로 III(보통)등급은 울곡천(감천), 율하천(금호강), 불로천(금호강), 신천2(금호강), 정곡천(낙동창녕), 풍천(남강댐), 람천3(남강댐), 반성천(남강), 영운천(남강), 수곡천(남강), 부목천(남강), 사촌천(낙동밀양), 수산천(낙동밀양), 소동천(거제도), 외포천(거제도)으로 15개 지점이었으며, IV(약간나쁨)등급의 하천은 진천천(낙동고령), 하촌천(남강)이었으며, V(나쁨)등급은 산양천(거제도)으로 나타났다. TOC 항목분석결과 III(보통)등급 보다 낮은 지점은 14개소로 신평천(안동댐하류), 신평천(낙동구미), 대창천1(금호강), 금호강2(금호강), 금호강3(금호강), 신천3(금호강), 정곡천(낙동창녕), 대곡천1(낙동창녕), 하촌천(남강), 수산천(낙동밀양), 용당나류(낙동강하구연), 산양천(거제도)은 III(보통)등급 하천 진천천(낙동고령)은 IV(약간나쁨) 부목천(남강)은 V(나쁨)등급으로 일반관리지점 161개 지점 중 8.7%가 III(보통)등급보다 낮게 나타났다.

오염도가 높은 중점관리하천에 대해서 2012년부터 2019년까지의 측정 결과 평균을 Table 4에 나타내었다. BOD는 평균 1.8~5.8mg/L로 ‘좋은 물’ 기준 II(약간 좋은)등급을 초과하는 하천은 13개소로 용하천(낙동고령), 관곡천(낙동밀양), 호계천(낙동강하구연), 기세곡천(낙동고령), 퇴래천(낙동밀양), 구미천(낙동왜관), 가좌천(남강), 남천(금호강), 용호천(낙동고령), 화포천(낙동밀양), 영산천(낙동밀양), 창녕천1(낙동창녕), 상남천(낙동밀양) 으로 중점관리하천 34개소 중 38.2%에 해당하는 것으로 나타났다. T-P의 경우 85.3%가 II 등급을 초과하였으며, 호계천(낙동강하구연), 기세곡천(낙동고령)에서 V(나쁨)등급(0.5mg/L이하)으로 관찰되었다. V(나쁨)등급을 받은 두 하천의 BOD의 III(보통), IV(약간 나쁨)등급으로 수질개선대책이 시급한 하천으로 판단할 수 있다. TOC는 2.7~11.1mg/L로 농도 범위가 넓었으며, II(약간 좋은)등급 이하를 충족하는 하천은 3개하천으로 석교천2(남강), 천내천(낙동고령), 칠원천(낙동밀양)으로 나타났으며, V(나쁨)~VI(매우나쁨) 등급에 속해 있는 하천은 호계천(낙동강하구연), 용하천(낙동고령), 관곡천(낙동밀양)으로 각각 중점관리하천 34개소 중 8.8%를 차지하였다. 앞서 언급한 BOD, T-P의 수질항목과 유사하게 오염농도가 높게 나타났으며, 상세한 지류·지천의 조사 및 관리가 필요하다.

낙동강수계 지류하천에 대해서 수질개선 방안을 마련하기에는 인력, 시간, 재정 등 현실적으로 시행하기에는 어려움이 있다. 지류·지천 모니터링을 통해 자료 확보를 하고 있지만 수질개선의 목적을 두고 오염도가 높은 하천을 선정해 집중할 필요가 있다. 195개 하천을 대상으로 수질 항목 BOD, T-P, TOC가 ‘좋은 물’기준 II(좋은)등급을 초과하는 하천에 대해서 오염 분포도를 파악하고자 Box Plot으로 Fig.2에 나타내었다. Box Plot은 측정값들의 25%(제1사분위수) 지점과 75%(제3사분위수) 지점을 양 끝으로 상자를 그리고 측정값들의 50%(제3사분위수)를 표현해 값들이 가장 많이 몰린 지점 확인이 가능하며, 이 외 관측 값들의 흩어진 정도와, 지나치게 높거나(제3사분위수 초과) 작게(제1사분위수 미만) 나타난 값을 파악할 수 있다. 본 연구에서는 ‘중권역별 수질 및 수생태계 목표기준(환경부 고시 제 2018-6호)를 참고하여 목표수질 달성도를 평가하였다. BOD에서 ‘좋은 물’기준 II(좋은)등급을 초과하는 하천은 13개소로 목표수질의 75%(제

Table 2. General management river water quality grade (161 stream)

Class	BOD		T-P		TOC	
	Count	%	Count	%	Count	%
Ia	76	47.2	0	0.0	62	38.5
Ib	77	47.8	41	25.5	53	32.9
II	8	5.0	102	63.4	32	19.9
III	0	0.0	15	9.3	12	7.5
IV	0	0.0	2	1.2	1	0.6
V	0	0.0	1	0.6	1	0.6
VI	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Total	161	100	161	100	161	100

Table 3. Priority management river water quality grade (34 stream)

Class	BOD		T-P		TOC	
	Count	%	Count	%	Count	%
Ia	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Ib	4	11.8	0	0.0	1	2.9
II	17	50.0	5	14.7	2	5.9
III	10	29.4	22	64.7	11	32.4
IV	3	8.8	5	14.7	14	41.2
V	0	0.0	2	5.9	3	8.8
VI	0	0.0	0	0.0	3	8.8
Total	34	100	34	100	34	100

3사분위수)를 초과하는 하천은 8개소로 용하천, 관곡천, 호계천, 퇴래천, 구미천, 가좌천, 화포천, 영산천으로 나타났다. T-P는 II 등급을 초과하는 하천은 47개소로 목표수질의 75%를 초과하는 하천은 39개소로 대부분 초과하는 것을 확인 할 수 있었다. TOC는 II 등급을 초과하는 하천은 45개소로 19개 하천이 목표수질 75%를 초과하였다.

3.2. 하천등급화 선정

낙동강수계 수질을 개선하기 위해서는 먼저 수질 개선이 필요한 하천유역을 선정하고 하천 인근 특성을 고려한 수질

개선방안이 수립·시행되어야 한다. 이를 위해서는 유량 및 수질 모니터링 결과에 기초한 하천 그룹화 방법이 시행되어야 한다(Cho et al., 2019; Cho et al., 2018; Na et al., 2015). 하천 그룹화 수행 시 일부 연구에서는 BOD 수질항목을 사용하여 왔으나, TOC 항목이 추가 적용 됨에 따라 TOC와 BOD, TOC와 T-P의 경향성을 파악해 활용성을 검토하였다. 오염총량관리계획 시 목표수질 대상오염물질로 고려되는 BOD와 T-P 항목을 동시에 비교기준 총량관리계획 활용성 및 추후 하천 선정시 기초자료로 비교, 검토가 가능하도록 하였다(Na et al., 2015).

Table 4. Average flow rate and water quality (BOD, T-P, TOC) of tributaries in Nakdong River

Intermediate basin	Stream	NO.	Flow rate (m ³ /s)	BOD		T-P		TOC	
				mg/L	Water quality grade	mg/L	Water quality grade	mg/L	Water quality grade
Nakdong waegwan	Gumi	54	1.746	4.3	III	0.127	III	5.8	IV
	Gyeongho	56	1.038	1.8	Ib	0.127	III	5.7	IV
	Dongjeong	58	0.824	2.1	II	0.181	III	5.3	IV
Gumhogan	Bukan	66	1.110	1.9	Ib	0.091	II	5.3	IV
	Omok	70	2.866	2.1	II	0.109	III	4.9	III
	Namcheon	72	2.606	3.8	III	0.093	II	5.5	IV
	Palgeo	79	1.330	2.5	II	0.085	II	4.4	III
	Dalseo	80	3.784	2.5	II	0.134	III	6.9	V
Nakdong goryung	Cheonnae	84	0.194	2.2	II	0.120	III	3.6	II
	Gisegok	85	0.198	4.9	III	0.473	V	6.0	IV
	Bonli	86	0.145	3.0	II	0.204	IV	4.3	III
	Yongha	87	0.251	5.8	IV	0.297	IV	9.1	VI
Nakdong Changnyung	Yongho	89	0.295	3.6	III	0.139	III	6.1	V
	Topyeong	98	1.231	3.0	II	0.174	III	5.6	IV
Namgang	Changnyeong1	102	0.311	3.5	III	0.204	IV	4.8	III
	Gajwa	119	0.876	3.8	III	0.230	IV	4.7	III
	Hyunji	126	0.184	2.9	II	0.233	IV	5.0	III
	Seokgyo1	134	1.837	2.1	II	0.126	III	4.3	III
	Seokgyo2	135	1.804	2.2	II	0.102	III	3.7	II
	Uiryeong1	137	1.843	2.0	Ib	0.094	II	4.4	III
	Daesan2	142	0.450	2.7	II	0.123	III	5.1	IV
Nakdong milyang	Daesa	143	0.744	3.0	II	0.122	III	5.5	IV
	Gwangok	146	0.008	5.3	IV	0.178	III	9.1	VI
	Gyeseong	147	0.451	2.4	II	0.142	III	5.2	IV
	Chilwon	148	0.274	1.8	Ib	0.152	III	2.7	Ib
	Yeongsan	149	0.420	3.5	III	0.133	III	5.1	IV
	Oho	150	0.064	2.3	II	0.136	III	4.9	III
	Yongdeok	155	0.155	2.7	II	0.156	III	4.3	III
	Twerae	156	0.081	4.4	III	0.164	III	6.3	V
	Hwapo	158	0.996	3.6	III	0.183	III	5.2	IV
Nakdonggang estuary weir	Chodong	159	0.255	2.7	II	0.173	III	5.7	IV
	Sangnam	161	1.100	3.1	III	0.139	III	5.2	IV
	Mijeon2	173	0.132	2.5	II	0.063	II	4.5	III
	Hogye	182	0.059	5.1	IV	0.500	V	11.1	VI

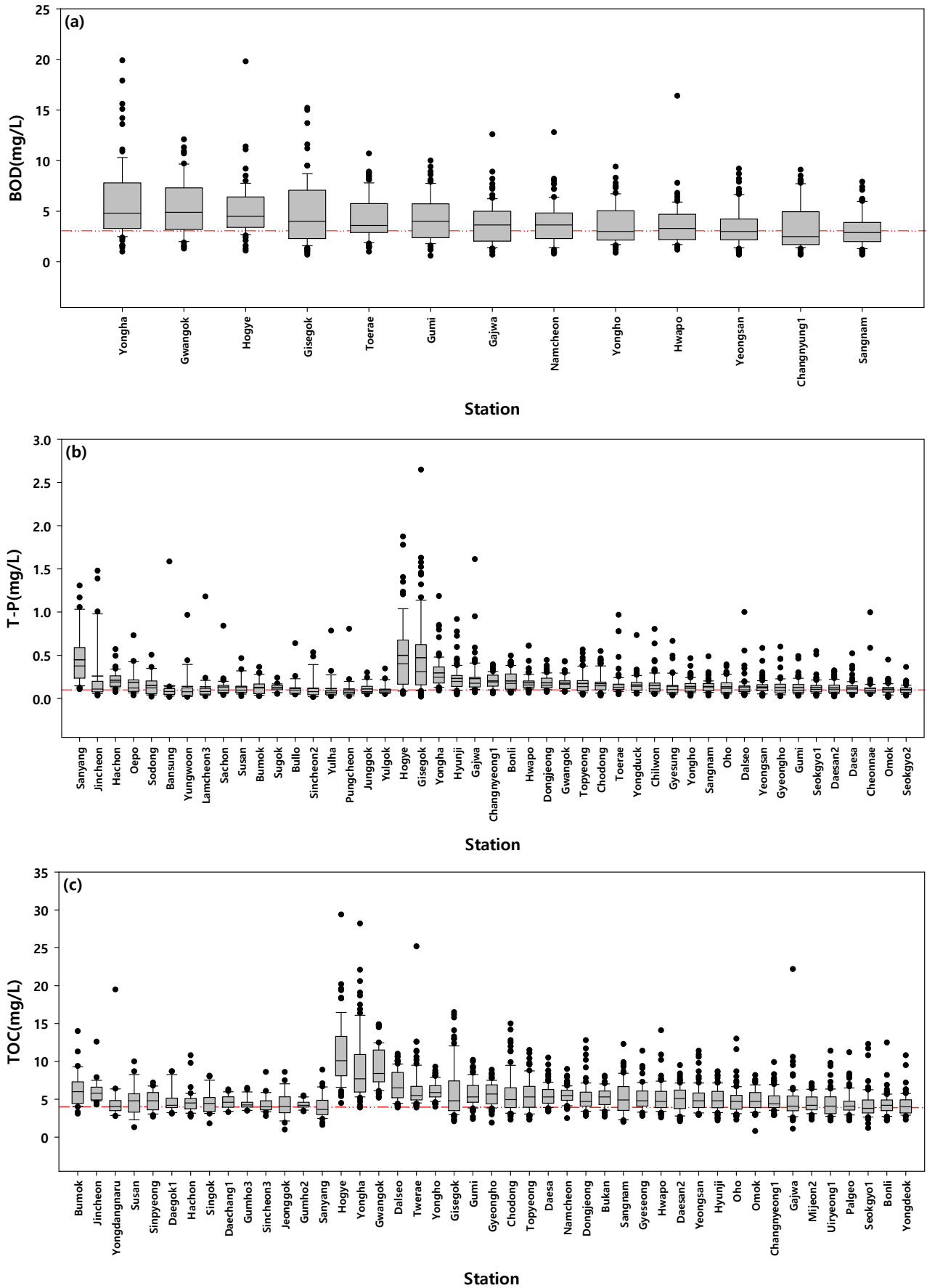


Fig. 2. Statistical analysis of monitoring site water quality in Nakdong River based on box Plot (a)BOD, (b)T-P, (c)TOC.

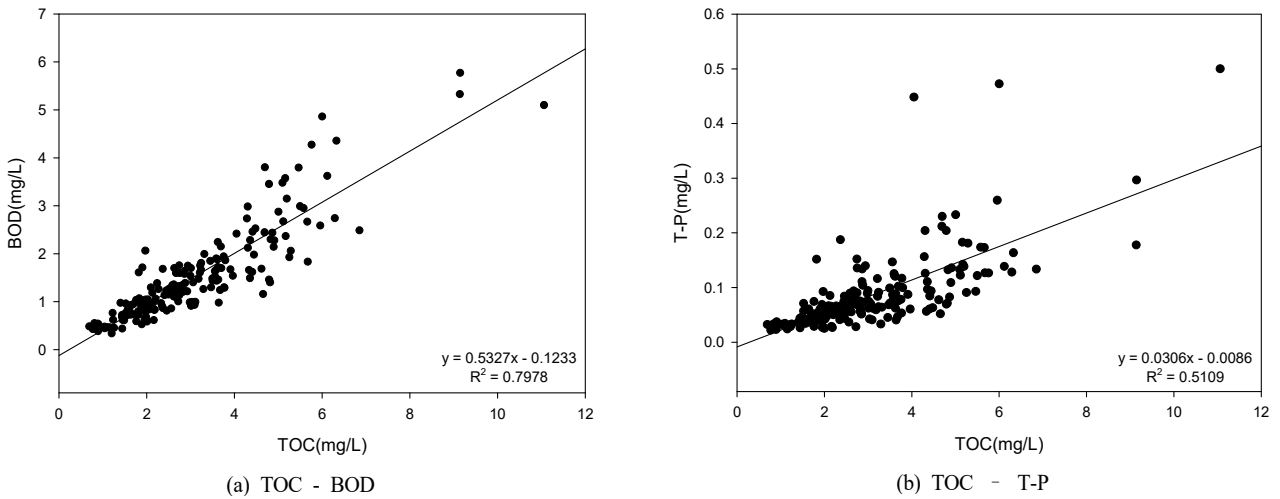


Fig. 3. Result of simple regression analysis of TOC, BOD, T-P.

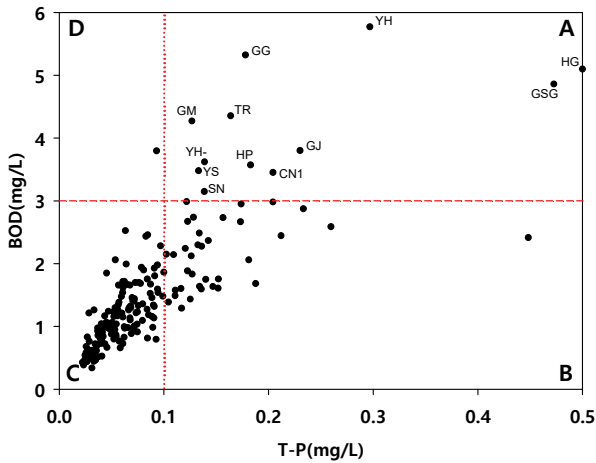


Fig 4. Grade classification based on water quality (T-P - BOD).

Fig. 4은 수질 및 수생태계 환경기준에서 하천 생활환경기준 항목인 BOD와 T-P 항목의 오염농도를 활용하여 하천을 4개의 등급으로 분류하였다. A영역은 ‘좋은물’ 기준 BOD와 T-P가 생활환경기준 수질 오염도가 초과하는 영역으로 우선적으로 고려되어야 할 하천으로 구미천(낙동왜관), 기세곡천(낙동고령), 용하천(낙동고령), 용호천(낙동고령), 창녕천1(낙동창녕), 가좌천(남강), 관곡천(낙동밀양), 영산천(낙동밀양), 퇴래천(낙동밀양), 화포천(낙동밀양), 상남천(낙동밀양), 호계천(낙동강하구연)까지 중점관리하천 12개소가 이 영역에 속하였으며, 수질개선대책에 우선적으로 반영이 필요한 하천으로 판단된다. B영역은 BOD는 ‘좋은물’ 기준을 만족하고 조류발생에 영향을 미치는 영양염류(T-P) 오염도가 높은 지점으로 일반관리지점과 중점관리지점의 35개 하천이 포함되어 있었다. D영역은 영양염류(T-P) 오염도는 ‘좋은물’기준을 충족하지만 유기물 오염도 BOD만 높은 지점으로 중점관리지점인 남천(금호강)이 포함되어 있다. C영역은 ‘좋은물’ 기준을 모두 만족하는 지점으로 일반관리 하천 161개소 모두 포함되어 있으며, 중점관리 하천은 죽안천(금호강), 팔거천(금

Table 5. Tributary discharge load (kg/day)

Station		BOD	T-P
Gajwa	GJ	258.40	8.31
Gwangok	GG	769.65	45.45
Gumi	GM	989.84	34.81
Gisegok	GSG	297.72	16.45
Sangnam	SN	453.96	28.30
Youngsan	YS	440.26	22.95
Yongha	YH	476.41	14.39
Yongho	YH-	641.09	30.35
Changnyeong	CN	1,049.41	63.19
Twerac	TR	203.97	9.87
Hogye	HG	79.76	3.29
Hwapo	HP	1,058.42	42.15

호강), 의령천1(남강), 미전천2(낙동강하구연)으로 4개 하천이 포함되어 있는 것으로 나타났다.

3.3. 수질개선 우선순위 선정

낙동강수계 지류·지천 모니터링 중점관리지점 중 A영역에 해당하는 ‘좋은물’ 기준 II(약간 좋음)등급을 초과하는 12개의 하천에 대해서 배출부하량을 산정하였다. 오염원은 생활계(인구), 축산계(한우, 젖소), 산업계(폐수방류량), 토지계(전, 답, 임야, 대지)로 종합하여 Table 5에 나타내었다. BOD 배출부하량이 높은 하천은 화포천, 창녕천, 구미천, 관곡천, 용호천으로 나타났으며, T-P 배출부하량도 동일한 하천이 높게 산정되었다. 관곡천과, 창녕천은 축산계의 영향이 크고, 구미천, 용호천, 화포천은 토지계의 영향이 큰 것으로 나타났다. 하천 등급화, 배출부하량 결과를 바탕으로 종합적으로 수질 개선이 필요한 하천은 낙동왜관 중권역의 구미천, 낙동고령 중권역의 용호천, 낙동창녕 중권역의 창녕천, 낙동밀양 중권역의 관곡천, 화포천으로 판단된다. 뿔물살리기 최종대상지

13개 하천 중 중점관리지점에 속해 있는 하천은 9개소(경호천, 오희천, 용호천, 토평천, 석교천, 계성천, 칠원천, 영산천, 퇴래천)이며, 4개 하천은 일반관리지점에 속해 있었다. 일반관리지점에 속해있는 하천은 영양염류(T-P) 오염도가 IV(약간나쁨)등급으로 높게 나타났으며, 나머지 3개소 지내천, 향양천, 함안천은 ‘좋은물’ 기준 II 등급을 충족하고 있었다. 본 연구에서 선정된 수질개선 우선순위 하천 중 용호천, 영산천, 퇴래천은 ‘윳물 살리기’ 마스터플랜 수질개선 대상지에 포함되어 있었으며, 구미천, 남천은 오염도는 높으나 도심하천, 용하천은 산단하천으로 사업 추진이 현실적으로 어려운 것으로 판단되며, 기세곡천과 본리천은 하천으로 유입되는 도랑이 없어 도랑살리기 추진이 어렵다. 창녕천과 화포천은 통합·집중형 오염하천으로 선정되어 수질개선사업이 추진중으로 개선사업이 끝나고 사후관리에 포함시켜야 할 하천으로 판단된다. 이 외 가좌천, 관곡천, 상남천, 호계천은 윳물살리기 중·장기계획에 반영하여 수질개선이 필요한 것으로 판단된다.

4. Conclusions

본 연구에서 낙동강수계 지류·지천 모니터링의 중점관리지점 하천들의 오염농도와 배출하는 오염물질의 양을 정량적으로 파악하고, ‘윳물살리기’ 마스터플랜 사업 중 ‘도랑살리기’ 및 ‘통합·집중형 오염하천(지류·지천) 개선사업’에 중·장기 종합계획 수립 시 수질개선이 필요한 우선순위를 선정하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 낙동강수계 지류·지천 모니터링 수질 등급 분석 결과 일반관리지점 161개소 중 BOD는 ‘좋은물’기준 II(약간 좋음)등급을 초과하는 하천은 없었으며, T-P는 III등급 15개소, IV등급 2개소, V 등급 1개소로 나타났다. 중점관리지점은 ‘좋은물’기준 II(약간 좋음)등급을 초과하는 하천은 BOD 13개소로 중점관리지점 전체의 38.2%에 해당하는 것으로 나타났으며, T-P는 85.3%가 II(약간 좋음)등급을 초과하였다. TOC는 중점관리지점 34개소 중 91.2%가 II 등급을 초과하였으며, BOD, T-P의 초과된 수질 항목을 대부분 포함하고 있었으며, 유기물질의 변화를 빠르게 파악할 수 있는 장점을 활용하여 향 후 대처항목으로 반영이 가능할 것으로 판단된다.
2. 하천 생활환경기준 II 등급(BOD기준 3mg/L, T-P기준 0.1mg/L)을 초과하는 하천은 구미천, 기세곡천, 용하천, 용호천, 창녕천, 가좌천, 관곡천, 영산천, 퇴래천, 화포천, 상남천, 호계천으로 12개소로 나타났다.
3. 선정된 12개소 하천 중 ‘윳물살리기’ 마스터 플랜과 중복된 하천은 용호천, 영산천, 퇴래천이며, 구미천, 남천은 도심하천, 용하천은 산단하천으로 수질개선 사업 추진이 현실적으로 어려우며, 기세곡천과 본리천은 하천으로 유입되는 도랑이 없어 추진이 어렵다. 창녕천과 화포천은 통합·집중형 오염하천으로 선정되어 수질개선사업이 끝난 후 사후관리 하천으로 지정이 필요한 것으로 판단된다.

4. 배출부하량이 큰 가좌천 > 관곡천 > 상남천 > 호계천 순으로 수질개선 우선순위를 두고 향 후 중·장기 계획 수립 시 반영이 필요할 것으로 판단된다.
5. 개선이 우선적으로 필요한 하천을 선별하여 ‘윳물살리기’ 마스터플랜을 수행중이지만 좀 더 많은 꾸준한 자료의 축적이 선행되어 진다면 하천의 현황에 맞는 효율적인 수질관리 방안마련에 중요한 자료로 사용되어 질 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 낙동강수계관리위원회에서 시행한 “낙동강 수계 지류·지천 수질 및 유량 모니터링” 결과입니다.

References

Cho, B. W., Choi, J. H., Yi, S. J., and Kim, Y. G. (2012). Selection priority of tributary catchment for improving water quality using stream grouping method, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 28(1), 18-25.

Cho, H. K. (2011). A study on the related characteristics of discharge-water quality in Nakdong river, *Journal of the Environmental Sciences*, 20(3), 373-384.

Cho, Y. C., Choi, J. W., Noh, C. W., Kwon, P. S., Kim, S. H., and Yu, S. J. (2018). Evaluation of discharge-water quality characteristics and river grade classification of Jinwi river unit basin, *Journal of the Environmental Impact Assessment*, 27(6), 704-716.

Cho, Y. C., Park, M. J., Shin, K. Y., Choi, H. M., Kim, S. H., and Yu, S. J. (2019). A study on grade classification for improvement of water quality and water quality characteristics in the Han river watershed tributaries, *Journal of the Environmental Impact Assessment*, 28(3) 215-230.

Choi, J. Y. and Han, D. H. (2011). Development of water quality standard for TOC as organic matter index, *Journal of Seoul Studies*, 12(3), 173-184.

Jeong, D. H., Cho, Y. S., Ahn, K. H., Chung, H. M., Park, H. W., Shin, H. S., Hur, J., and Han, D. H. (2016). A study on the determination method of TOC effluent limitation for public sewage treatment plant, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 30(3), 241-251.

Jung, K. Y., Ahn, J. M., Kim, K. S., Lee, I. J., and Yang, D. S. (2016). Evaluation of water quality characteristics and water quality improvement grade classification of Geumho river tributaries, 25(6), 767-787.

Leenheer, J. A. and Croue, J. P. (2003). Characterizing aquatic dissolved organic matter, *Environmental Science and technology*, 37(1), 18A-26A.

Lim, B. S., Cho, B. W., Kim, Y. I., and Kim, D. Y. (2010). Application of priority order selection technique for water quality improvement in stream watershed by relationship of flow and water quality, *Korean Society of Environmental Engineers*, 32(8), 802-808.

Ministry of Environment (ME). (2017). *A study on improvement*

- of water quality and aquatic ecosystem environmental standards*, Ministry of Environment.
- Na, S. M., Lim, T. H., Lee, J. Y., Kwon H. G., and Cheon, S. U. (2015). Flow rate·water quality characteristics of tributaries and a grouping method for tributary management in Nakdong river, *Journal of Wetlands Research*, 17(4), 380-390.
- Nakdong River Environmental Management Office. (2016). *Master plan for the revitalization of water in the Nakdong river*, Nakdong River Environmental Management Office.
- Nakdong River Water Environment Laboratory. (2012~2019). *Water quality and flow late monitoring of tributaries in the Nakdong river system*, Nakdong River Water Environment Laboratory.
- Yu, J. J. (2005). *Characteristics evaluation of water quality variation on the Nakdong river*, Nakdong River Water Environment Laboratory.