



금호강 유역의 주요 지류 수질평가에 관한 종합수질지표의 적용성 검토

Consideration in Applying Korean-Comprehensive Water Quality Index(K-CWQI) to Assessment of Water Quality in the Major Tributaries of Gumho-River Basin

신석호* · 임태효** · 김상훈*** · 신동석**** · 권헌각*****

Shin, Sukho* , Im, Taehyo** , Kim, Sanghoon*** , Shin, Dougsuk**** , and Kwon, Heongak*****

Abstract

In this study, K-CWQI (Korean-Comprehensive Water Quality Index) including five items such as pH, DO, BOD, SS and T-Coli developed by NIER (National Institute of Environmental Research) in 2006 is calculated by using the result of monitoring in the major tributaries of Gumho-River Basin from 2015 to 2016 and reviewed about applicability when evaluating water quality in the basin. The scope of calculated K-CWQI is from 70 to 90 points in five tributaries and water quality of major tributaries of Gumho-River Basin is evaluated above “slightly good grade”. The highest value of K-CWQI is 88 points of Palgeacheon on the other hand, the lowest value of K-CWQI is 77 points of Namcheon. Also, the grade evaluated by K-CWQI and BOD is compared in order to apply K-CWQI to assessment of water quality. The results of this comparison are summarized as follows. The degree of agreement between the grade evaluated by K-CWQI and BOD is reached to 93% when including 1st grade difference as well as exact match and the monthly variation of K-CWQI is relatively lower than BOD. Therefore, K-CWQI not only can complement current water quality standard consisting of a single item, but also assess water environment of tributary comprehensively.

Key words : Gumho-River, Tributary, Korean-Comprehensive Water Quality Index

요 지

본 연구에서는 금호강 유역의 주요 지류에 관한 최근 2년간(2015~2016년) 월별 수질 모니터링 자료를 활용하여 2006년 국립환경과학원에 의해 개발된 5개 수질항목(pH, DO, BOD, SS, T-Coli)로 구성된 한국형 종합수질지표(K-CWQI)를 산정하고 수질평가에 관한 적용성을 검토하였다. 종합수질지표 산정결과, 5개 지류 모두에서 70~90점 사이의 범위를 나타내어 수질이 비교적 양호한 것으로 평가되었다. 지류별로 살펴보면 팔거천이 88점으로 가장 높은 점수를 보인 반면, 남천은 77점으로 가장 낮게 나타났다. 또한 종합수질지표의 적용성 검토를 위해 K-CWQI 등급과 BOD 등급의 일치정도를 비교한 결과 완전일치 및 1등급 차이가 전체의 93%에 해당하였고, K-CWQI 등급이 BOD 등급에 비해 월별 변화정도가 상대적으로 낮게 나타났다. 따라서 K-CWQI는 현재의 단일항목 수질환경기준을 반영하면서 보완해 주는 기능이 있을 뿐만 아니라 지류의 수질환경을 종합적으로 평가할 수 있음이 검토되었다.

핵심용어 : 금호강, 지류, 한국형 종합수질지표

*정회원, 국립환경과학원 낙동강물환경연구소 연구사(E-mail: ssh2004@korea.kr)

Member, Researcher, Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

**국립환경과학원 낙동강물환경연구소 연구관(E-mail: imtoehyo@korea.kr)

Researcher, Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

***국립환경과학원 낙동강물환경연구소 연구관(E-mail: haemy@korea.kr)

Researcher, Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

****국립환경과학원 낙동강물환경연구소 연구관(E-mail: sds1965@korea.kr)

Researcher, Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

*****교신저자, 정회원, 국립환경과학원 낙동강물환경연구소 연구원(Tel: +82-54-950-9713, Fax: +82-54-950-9783, E-mail: hunkah@naver.com)

Corresponding Author, Member, Researcher, Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

1. 서 론

본류의 상류로도 표현되는 지류는 본류 하천의 근간이 되며 국민생활과도 가장 밀접하지만 대부분의 지류는 오염원의 영향, 건천화 및 도심 인공구조물 등으로 인해 수질 및 수생태계가 불량하여 지속적 수질관리가 필요한 실정이며, 낙동강은 지류가 전체 유역면적의 약 82%를 차지하고 있어 본류 수질 관리를 위해서는 지류의 수질관리가 필수적이라 판단된다. 아직까지 국내 하천의 치수·이수·환경계획 등은 대부분 본류 중심으로 이루어지고 있는데, 이를 보다 효과적으로 관리하여 양질의 수자원을 확보하기 위해서는 본류와 연결된 수많은 지류에서의 농업, 축산업, 공업 등 다양한 인간 활동에 의해 발생하는 오염물질을 본류에 유입되기 전에 적절하게 처리하는 것이 중요하다. Im et al.(2016)에 따르면 환경부는 2015년부터 국민행복 시대를 앞당기는 지속가능한 환경을 위해 수질분야 주요사업으로 작은 하천부터 시작하는 “뚝살리기” 사업을 본격적으로 추진하고 있으며 낙동강수계에서는 “뚝살리기 마스터플랜(2016년)”이 수립되어 도시화와 산업화에 따라 주요 하천의 수질오염이 심화되어 상수원의 안전마저 위협하고 있는 실정을 해결하고자 노력하고 있다. 이러한 역점사업의 성공적인 사업추진을 위해서는 지류에 관한 유역환경조사, 오염물질의 거동파악 뿐만 아니라 특히 지류별 오염상황에 관한 과학적인 평가가 요구된다. 하지만 Choi and Shin(1997)과 Lee et al.(2008)에 따르면 우리나라에서 수질관리 행정은 생물학적 산소요구량을 대위항목으로 설정한 유기오염물질 제어에 치중하는 방식으로 운영되어 왔으며, 하천의 전반적 오염상태를 나타내기 위해 일반적으로 특정 단일항목을 대표적인 지표라는 가정하에서 다른 항목의 영향을 무시하고 단편적으로 나타내는 기존의 방식은 유역의 수질 상태를 명확히 설명하는데 한계가 있다. 따라서 종합적으로 지류별 수질을 평가하여 수질관리 항목을 결정하는 것이 중요하고 이를 위해 하천 수질상태의 종합적 파악, 지역간 수질비교, 수질의 추세 파악, 목표수질의 설정지원, 각종시책의 효과적 분석 등의 목적으로 개발된 종합수질지표의 적용이 필요하며 이를 바탕으로 각종 수질정책이 계획되고 집행되어야 한다. Dojlido et al.(1994)와 Jung and Park(2005)에 따르면 종합수질지표는 현 수질상태를 포괄적으로 표현할 수 있는 방법으로서 선정된 수질지표항목들의 측정치를 적절히 통합하여 100점 만점의 점수로 표현함으로써 비전문가도 쉽게

하천의 수질오염상태를 알 수 있도록 표현하는 방법으로 대중의 이해가 용이하고, 다른 하천과 또는 같은 하천간의 종합적인 수질비교를 가능하게 한다. 또한 우리나라에서는 다양한 용도의 용수수요가 동일한 지점에서 일어나므로 수질평가지 이화학적 항목 등을 포괄한 종합수질지표를 적용하면 사용자가 각 측정항목 중 일부 불리한 항목을 제외하고 일부 단일항목만을 이용해 평가함으로써 자신의 목적에 적합하게 수질을 평가하는 것을 사전에 방지할 수 있다. 1996년 개발된 종합수질지표인 K-WQI(Korea Water Quality Index)의 경우 부지수 함수값이 일정수준을 넘어서면 하한값 없이 바로 '0'으로 떨어져 종합수질지표 자체값을 '0'으로 만들며, NH₃-N 등 10개의 수질항목으로 구성되어 있어 예산 등 현실적 제약으로 인해 모니터링 항목수가 제한된 경우에는 적용할 수 없었다. 본 연구에서는 기존 종합수질지표의 문제점과 한계를 보완하고자 2006년 국립환경과학원에서 개발한 한국형 종합수질지표인 K-CWQI(Korea Comprehensive Water Quality Index)를 활용하여, 낙동강물환경연구소에서 2016년에 수행한 “낙동강수계 비점오염원 종합 모니터링 및 관리방안 연구” 사업의 연구결과 낙동강 본류의 수질에 주요한 영향을 미치면서 비점오염원 발생에 기여율이 큰 금호강 유역을 대상으로 지류 수질평가에 관한 종합수질지표의 적용성을 검토하였다.

2. 연구방법

2.1 금호강유역

금호강은 낙동강의 중동부에 위치한 주요 하천으로서 남강 다음으로 큰 하천이며, 포항시 북구 죽장면 가사리 가사령에서 발원하여 영천시 자양면 성곡리에서 영천댐으로 유입 후, 영천시내를 거쳐 남서류 하다 달성군 다사면 죽곡리 지점에서 낙동강 본류와 합류한다. 금호강유역은 동·서로 걸친 장방형 형태로 동경 128°28'~129°23', 북위 35°42'~35°17' 사이에 위치하며 유역면적은 약 2,092 km²이고 유로연장은 118.99 km이다. 행정구역별로는 영천시 904.9 km² (43%), 대구광역시 517.8 km²(25%), 경산시 392.8 km²(19%) 등을 포함하며, 상세현황은 Table 1과 같다.

주요 오염물질 배출원은 차치단체의 하수처리장과 산업단지 및 농공단지 폐수처리장 그리고 분뇨·축산폐수 처리장 등이며 상세현황은 Table 2와 같다.

Table 1. Area and Rate of the Cities in Gumho-River Basin

	YC	DG	KS	PH	CG	KJ	GW	ChD	ChS	Sum
Area (km ²)	904.94	517.84	392.77	145.01	129.01	1.31	0.72	0.46	0.35	2092.41
Rate (%)	43.25	24.75	18.77	6.93	6.17	0.06	0.03	0.02	0.02	100

Table 2. Status of Environmental Foundation Facilities in Gumho-River Basin

	Sewage Treatment	Manure Treatment	Livestock Waste Treatment	Industrial Waste Treatment		Rural Community Sewage Treatment
				Industrial Park	Rural Industrial Park	
Number	8	2	1	1	1	26
Facility Capacity (m ³ /day)	1,417,000	1,100	180	100,000	200	1,340

2.2 조사지점 및 방법

금호강 유역내 지류모니터링 조사지점은 총 19개소이며 (Fig 1), 조사지점별 상세 위치현황은 Table 3과 같다. 지점별 조사주기는 인력 및 예산의 한정으로 관련 연구사업의 선행 연구결과를 바탕으로 상대적으로 오염도가 심한 지류 5개소는 매월(2~12월), 나머지 14개소는 년 2회 주기로 조사하였다. 수질측정 및 분석은 수질오염공정시험법에 의하여 실시하였으며, 현장항목인 수온, 수소이온농도(pH), 용존산소량(DO), 전기전도도(EC)는 현장측정장비(YSI-1C100086)를 사용하여 현장에서 직접 측정하였다.

본 연구에서는 지류 수질평가에 종합수질지표의 적용성을 검토하기 위하여 종합수질지표 및 수질환경기준에 의한 지류별 등급을 비교하였으며, Choi(2006)에 따르면 월별 농도를 평균하여 연평균으로 사용하는 것은 종합수질지표의 목적 및 장점을 반감시키는 것이므로 연간비교가 아니라 월간 비교로 세분화하였다. 이를 위해 금호강 유역내 조사지

점 총 19개소 중에서 매월 조사된 5개 주요 지류에 관하여 종합수질지표의 적용성을 검토하였다.

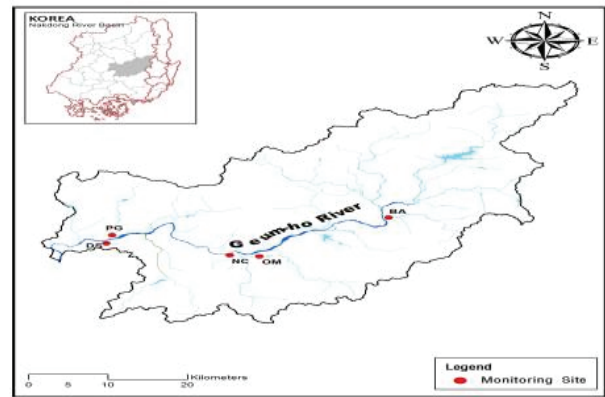


Fig. 1. Map of Monthly Sampling Sites in the Gumho-River Basin

Table 3. Location of Sampling Sites in the Gumho-River Basin

	Site	Administrative Address
Monthly	Bukancheon	642-6, Donam-dong, Yeongcheon-si, Gyeongsangbuk-do
	Omokcheon	99-1, Daejeong-dong, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do
	Namcheon	105-14, Maeho-dong, Suseong-gu, Daegu
	Palgeocheon	669-4, Maecheon-dong, Buk-gu, Daegu
	Dalseocheon	557-1, Geumho-dong, Buk-gu, Daegu
Twice/Year	Gochoncheon	1270, Wansan-dong, Yeongcheon-si, Gyeongsangbuk-do
	Gohyeoncheon	750-1, Daejeon-dong, Yeongcheon-si, Gyeongsangbuk-do
	Sinryeongcheon	247-48, Seongnae-dong, Yeongcheon-si, Gyeongsangbuk-do
	Gumhogang1	3-2, Hwangjeong-ri, Geumho-eup, Yeongcheon-si, Gyeongsangbuk-do
	Daechangcheon	710-3, Namseong-ri, Geumho-eup, Yeongcheon-si, Gyeongsangbuk-do
	Gumhogang2	486-1, Sangnim-ri, Jillyang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do
	Cheongtongcheon	826, Dongseo-ri, Hayang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do
	Gumhogang3	770-14, Daejo-ri, Hayang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do
	Yulhacheon	827-33, Yonggye-dong, Dong-gu, Daegu
	Donghwacheon	650-21, Dongbyeon-dong, Buk-gu, Daegu
	Bulrocheon	437, Bulrodong, Dong-gu, Daegu
	Sincheon1	1-2, Yonggye-ri, Gachang-myeon, Dalseong-gun, Daegu
	Sincheon2	655-144, Icheon-dong, Nam-gu, Daegu
	Sincheon3	724-1, Sangyeok-dong, Buk-gu, Daegu

2.3 종합수질지표

하천의 수질환경을 종합적으로 평가하기 위한 종합수질 지표는 항목의 선정, 항목별 가중치 산정, 부지수합수의 산정, 항목의 종합화 단계를 거쳐 개발된다. 한편 개발 단계 중에서 항목의 선정은 지수의 개발에 있어 가장 기본이 되는 단계로 대상 항목이 갖추어야 할 조건은 우리나라에서 보편적이고 정규적으로 측정되는 항목, 우리나라의 수질기준항목, 수생태계와 관련성이 있는 항목, 인위적 오염원으로 부터 수질변화에 민감하게 반응하는 항목, 환경개선노력에 의해 조절될 수 있는 항목, 중복평가 되지 않는 항목 등이며, 현실적으로 이용 가능한 자료의 제약을 고려해야 하므로 대부분의 경우 개발목적에 따라 어떤 항목을 선택하는 것이 필요한 것인지에 대한 판단기준 도출을 위해 전문가 및 일반 국민의 의견을 수렴하는 설문조사를 수행한다. 부지수 합수는 각각의 개별수질항목에 대해 이를 상호비교가 가능토록 공통의 가치로 변환시키는 함수식을 말하며, 특별한 오염항목의 환경적 특성을 대표하므로 이들 함수식에는 각 수질항목에 따라 선형함수, 부분선형함수, 비선형함수, 부분 비선형함수 등이 사용될 수 있다. 기존에 개발된 주요 종합수질지표에 관해 정리한 자료는 Table 4와 같다.

Table 4. Introduction of Water Quality Index(WQI)

Index	Developer	Items
Horton's Index	Horton (1965)	8 (Chloride Etc) (Weight: 0.056~0.222)
NSFWQI	National Sanitation Foundation (1970)	9 (BOD Etc) (Weight: 0.07~0.17)
WQI	Deiniger and Jurate (1971)	11 (Turbidity Etc) (Weight: 0.08~0.14)
K-WQI	Korea Environment Institute (1996)	10 (BOD Etc) (Weight: 0.089~0.110)
K-CWQI	National Institute of Environmental Research (2006)	5 (pH Etc) (Weight: 0.04~0.51)

본 연구에서는 종합수질지표 중 K-WQI를 모태로 2006년 개발된 K-CWQI를 활용하였으며, 이를 통해 현실적 제약으로 인한 측정된 수질항목의 한계성을 극복하였다. K-CWQI는 항목의 선정, 부지수 합수 작성, 가중치 설정 및 항목을 종합화하는 과정을 거쳐 개발되었으며, 대상항목은 pH, DO, 생물학적산소요구량(BOD), 부유물질(SS), 분원성대장균군(T-Coli) 총 5개 항목이다. 측정단위가 다른 각 항목을 공통가치량으로 변화시켜 각 항목들을 동일한 기준점에서 비교하기 위한 공통 척도화 단계인 부지수 합수의 경우 K-WQI에서는 부지수 합수값이 일정수준을 넘어서면 하한값 없이 바로 '0'으로 떨어져 종합수질지표 자체값을 '0'으로 만드는 난점이 있었다. 이를 보완하고자 K-CWQI에서는 각 항목의 부지수합수의 최소값을 '20'으로 고정하여 각 항목에서 수질

이 아무리 낮더라도 최소한 20점의 점수는 확보할 수 있는 안전장치가 적용되어 있다. 또한 K-CWQI개발 과정에서 항목별 가중치 설정은 보편적 객관성 확보를 위해 전문가를 대상으로 설문조사 방법을 도입하였으며 전문가들 간에도 의견의 차이가 많음을 고려하여 의견 상호간 최대한 간섭 없이 서로 접근시킬 수 있는 장점을 가지고 있는 Delphi법을 이용하여 2차에 걸쳐 같은 내용에 대해 설문을 실시하여 최대한 의견이 수렴되도록 유도하였고, 계층분석과정(AHP, Analytical Hierarch Process)을 이용하여 5개 대상항목 상호간의 중요도를 비교하여 설정하였다. 이러한 과정을 통해 정립된 5개 대상항목별 부지수 합수값 및 가중치 값은 Table 5와 같다.

마지막으로 항목의 종합화는 부지수 합수를 K-WQI와 동일한 감소형 지수로 선정하였으므로 가중된 곱의 형태 (Weighted Product)를 종합화식으로 선택하였고 구체적인 식은 Eq. (1)과 같다.

$$K-CWQI = \prod_{i=1}^{10} I_i^{W_i} \quad (1)$$

Eq. (1)에서 I_i 는 각 항목의 부지수합수 계산치이며, W_i 는 2차에 걸쳐 걸친 설문결과 평균가중치이다. K-CWQI는 수질상태를 0~100점 사이의 수치로 나타내며, 각각의 특성 및 용도에 따라 7개 단계로 구분된다(Table 6). 수질상태는 90점 이상이면 “매우 좋음(Ia)” 등급으로서 용존산소가 풍부하고 오염물질이 없는 청정상태의 생태계로 여과, 살균 등 간단한 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있다. 80~89점은 “좋음(Ib)” 등급으로서 용존산소가 많은 편이고 오염물질이 거의 없는 청정상태에 근접한 생태계로 여과, 침전, 살균 등 일반적인 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있다. 70~79점은 “약간 좋음(II)” 등급으로서 약간의 오염물질은 있으나 용존산소가 소모되는 일반 생태의 다소 좋은 생태계로 여과, 침전, 살균 등 일반적인 정수처리 후 생활용수 또는 수영용수로 사용할 수 있다. 60~69점은 “보통(III)” 등급으로서 보통의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 일반 생태계로 여과, 침전, 활성탄 투입, 살균 등 고도의 정수처리 후 생활용수로 이용하거나 일반적인 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있다. 50~59점은 “약간 나쁨(IV)” 등급으로서 상당량의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 생태계로 농업용수로 사용하거나, 여과, 침전, 활성탄 투입, 살균 등 고도의 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있다. 40~49점은 “나쁨(V)” 등급으로서 다량의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 생태계로 산책 등 국민의 일상생활에 불쾌감을 유발하지 않는 한계이며, 활성탄 투입, 역삼투압 공법 등 특수한 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있다. 마지막으로 20~39점은 “매우 나쁨(VI)” 등급으로서 용존산소가 거의 없는 오염된 물로 물고기가 살기 어렵다.

한편, 적용성 검토를 위해 하천수 생활환경기준 중 BOD에 관한 상세사항을 Table 7에 정리하였다.

Table 5. Subindex Function and Weight for Each Constituent that Used for K-CWQI

Con.	Subindex Function	Weight
pH	<ul style="list-style-type: none"> • <11: $M(\text{pH}) = -3.6797(\text{pH})^2 + 48.115(\text{pH}) - 53.83$ • >11: $M(\text{pH}) = 280.92e^{-0.2027(\text{pH})}$ 	0.04
DO	$M(\text{DO}) = 32.208\ln(\text{DO}) + 21.438$	0.22
BOD	<ul style="list-style-type: none"> • <2: $M(\text{BOD}) = -10(\text{BOD}) + 100$ • >2: $M(\text{BOD}) = 88.958e^{-0.0755(\text{BOD})}$ 	0.51
SS	<ul style="list-style-type: none"> • <100: $M(\text{SS}) = 0.0053(\text{SS})^2 - 1.0332(\text{SS}) + 100.76$ • >100: $M(\text{SS}) = 122.82e^{-0.0092(\text{SS})}$ 	0.06
T-Coli	<ul style="list-style-type: none"> • <1000: $M(\text{Fecal}) = -6.942\ln(\text{Fecal}) + 107.59$ • >1000: $M(\text{Fecal}) = -36.304\ln(\text{Fecal}) + 310.72$ 	0.17

Table 6. Classification of K-CWQI

Grade		K-CWQI	Description
Very Good	I a	100 ~ 90	<ul style="list-style-type: none"> - A clean ecosystem that is rich in dissolved oxygen and free of contaminants - Can be used as drinking water after simple water treatment
Good	I b	89 ~ 80	<ul style="list-style-type: none"> - A nearly clean ecosystem with a lot of dissolved oxygen and little contaminants
Slightly Good	II	79 ~ 70	<ul style="list-style-type: none"> - A somewhat good ecosystem with a few contaminants but high dissolved oxygen - Can be used as domestic water after general water treatment - Can be used as swimming water
Average	III	69 ~ 60	<ul style="list-style-type: none"> - A common ecosystem where pollutants that consume dissolved oxygen are at normal levels - Can be used as drinking water after advanced water treatment - Can be used as industrial water after general water treatment
Slightly Poor	IV	59 ~ 50	<ul style="list-style-type: none"> - Ecosystems that are badly affected by contaminants that consume significant amounts of dissolved oxygen - Can be used as irrigated water - Fishing available
Poor	V	49 ~ 40	<ul style="list-style-type: none"> - Poor ecosystems in which fish are rarely observed due to pollutants that consume excessive dissolved oxygen - Limits that do not cause discomfort to people's everyday life such as walking - Can be used as industrial water after special water treatment
Very Poor	VI	39 ~ 20	<ul style="list-style-type: none"> - Fish can not live in contaminated water with little dissolved oxygen

Table 7. Environmental Standard of BOD

Item	Grade		Evaluation Standard	Note
BOD	Very Good	Ia	≤ 1 ppm	Environmental Standard of River
	Good	Ib	≤ 2 ppm	
	Slightly Good	II	≤ 3 ppm	
	Average	III	≤ 5 ppm	
	Slightly Poor	IV	≤ 8 ppm	
	Poor	V	≤ 10 ppm	
	Very Poor	VI	> 10 ppm	

3. 연구결과 및 고찰

3.1 지류별 유역 및 수질현황

본 연구에서 종합수질지표의 적용성을 검토한 금호강 유역의 5개 주요 지류에 관한 유역특성을 Arc-GIS 유역분석 기법으로 파악하여 Table 8에 정리하였다. 오목천이 유역면적 등이 가장 크며 하루에 위치한 달서천이 가장 작은 것으로 나타났다.

또한 5개 주요 지류에 관한 전반적 수질현황을 파악하기 위해 2015년부터 2016년까지 월 1회(2~12월) 실시한 지류별 모니터링 결과의 평균값을 산정하여 Table 9에 정리하였다. 환경기초시설 방류수의 영향으로 달서천이 수온, 전도도

및 부유물질 농도가 높았으며, 상류 오염원의 영향으로 남천이 유기물질 농도가 높은 것으로 조사되었다.

3.2 지류별 수질평가

주요 지류별 금호강 유역에 미치는 수질영향을 살펴보기 위해 월별 종합수질지표 산정결과를 Fig. 2에 나타내었다. 북안천(BA), 오목천(OM), 남천(NC), 팔거천(PG), 달서천(DS) 총 5개 지점의 2015~2016년 종합수질지표(K-CWQI)는 대체로 70~90점 사이의 범위로 “약간좋음(II)” 등급 이상으로 평가되어 수질이 비교적 양호한 것으로 나타났으며, 지점별 평균값은 남천을 제외하고는 모두 80점 이상으로 “좋음(Ib)” 등급 이상으로 평가되었다. 지류별로 살펴보면

Table 8. Basinal Characteristics of Major Tributaries

Site	Drainage Area (km ²)	Watershed Stream Length (km)	Sum of Stream Length (km)	Drainage Density (km/km ²)	Average Elevation (m)	Average Slope (%)
BA	93.07	26.89	331.66	0.0036	169.71	23.37
OM	175.32	32.64	495.85	0.0028	161.92	23.95
NC	115.21	24.22	236.75	0.0021	235.42	33.97
PG	102.95	22.86	293.21	0.0028	237.90	31.01
DS	24.42	9.76	64.16	0.0026	42.16	4.10

Table 9. Average Water Quality of Major Tributaries

	Temp (°C)	Con (μs/cm)	DO (mg/L)	pH	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	SS (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	T-Coli
BA	17.9	461	12.1	8.1	1.8	7.5	2.568	0.088	8.4	8.5	175
OM	18.2	516	11.0	7.8	2.2	6.9	3.149	0.114	5.8	12.8	178
NC	19.5	652	9.4	7.5	3.4	8.4	8.650	0.100	8.6	7.9	756
PG	18.8	366	12.4	8.6	1.8	6.2	1.843	0.065	8.1	11.9	38
DS	22.2	1614	9.8	7.4	2.3	8.1	7.836	0.121	12.6	3.3	644

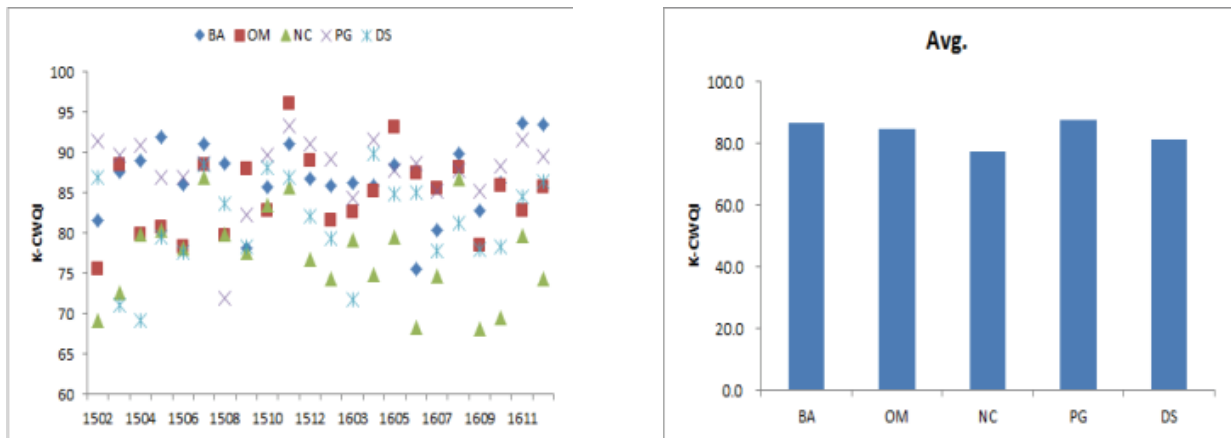


Fig. 2. Monthly & Average K-CWQI Values of Major Tributaries from 2015 to 2016

팔거천, 북안천이 높은 점수를 받았으며, 낮은 점수를 받은 하천은 남천과 달서천 순으로 나타났다. 남천은 경산시 오염원의 영향으로 전 기간 중 낮은 점수가 유지되었으며, Yang and Choi(2003)에 따르면 유역면적은 하천의 자정능력과 연관이 있으므로, 유역면적이 가장 작은 달서천이 상대적으로 큰 변화폭을 보였다.

또한 2015~2016년을 대상으로 오염도가 심한 수질항목을 식별하기 위해 Table 5에 제시된 5개 수질항목별 부지수합수식을 적용하여 무차원 부지수합수값(Subindex Function Value)을 지점별로 산정하고 평균값도 함께 Fig. 3에 나타내었다. 부지수합수값의 지점별 평균값을 살펴보면, BOD와 T-Coli가 전반적으로 낮은 값을 보이고 T-Coli의 변화정도가 크게 나타났다. 또한 5개 주요 지류에서 오염도가 심한 항목이 거의 유사하게 나타났으며, 구체적으로 살펴보면 pH와

DO 항목은 거의 전 기간에 80~100점을 유지하였고, SS도 강우 등에 영향을 받은 일부 기간을 제외하면 70점 이상의 점수를 보인 반면, BOD는 전반적으로 낮은 점수를 보였으며, 월별 변동폭은 경산 칠곡 및 대구 등 도시의 오염물질 부하량을 수용하는 하천인 남천, 팔거천 및 달서천에서 상대적으로 크게 나타났다. 마지막으로 T-Coli는 본류에 비해 유지수량이 적어 강우시 비점오염원 등의 영향을 크게 받는 지류 특성으로 인해 월별 변화 정도가 상대적으로 가장 크게 나타났고 전반적으로 점수도 낮았다. 이를 통해 향후 지류에 관한 수질관리는 유기물질 제어 중심의 획일적 수질관리만은 타당하지 않으며, 비점오염원에 의해 유발되는 분원성오염 저감대책 등을 포함하는 지류별 특성에 맞는 맞춤형 수질관리가 필요할 것으로 판단되고 종합수질지표는 지류별 맞춤형 관리계획 수립시 유용한 가치가 있다고 볼 수 있다.

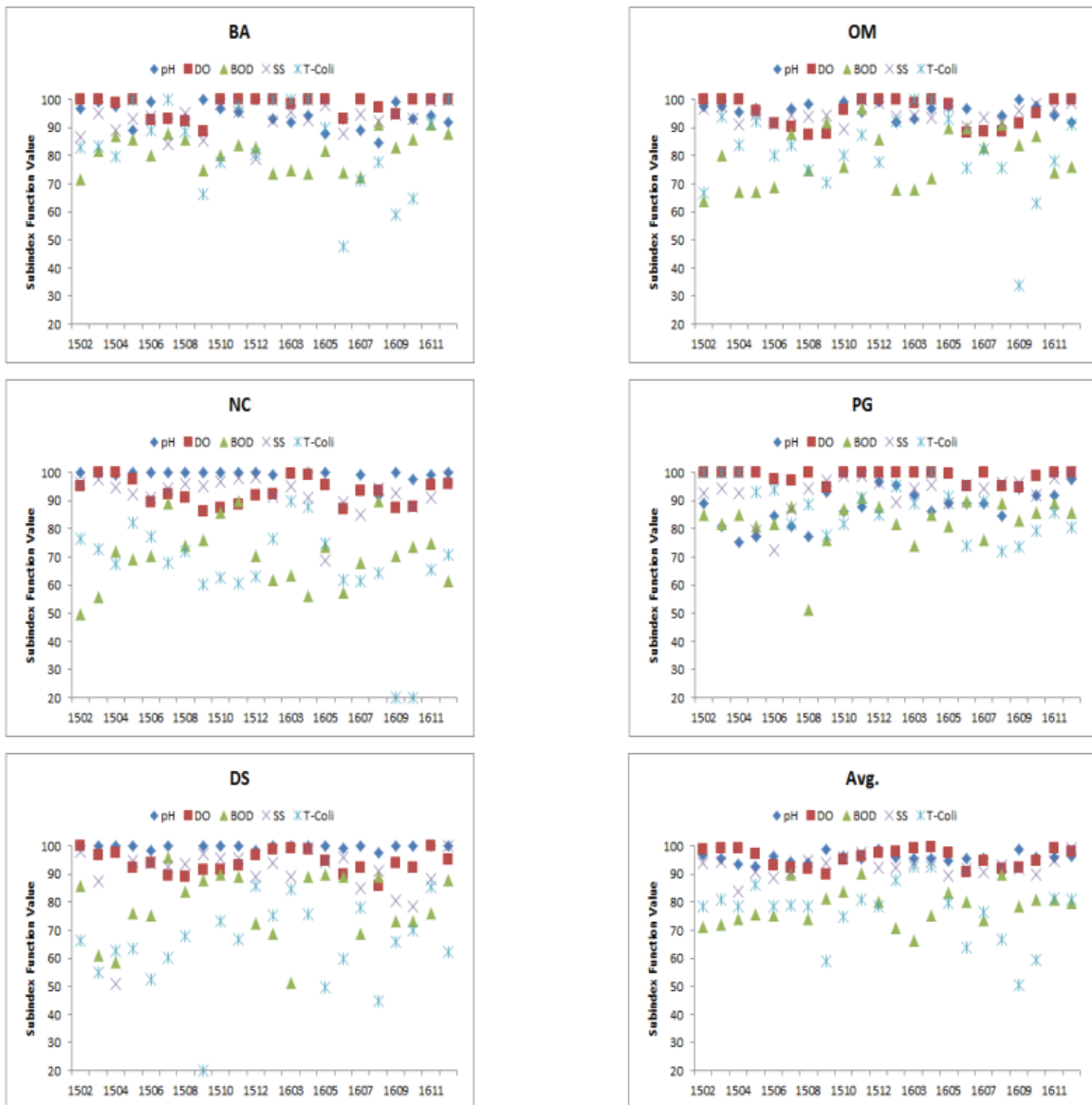


Fig. 3. Monthly & Average Subindex Function Values for Each Constituent from 2015 to 2016

3.3 종합수질지표 적용성 검토

5개 주요 지류에서 생산된 110개 자료(2015~2016년)에 대한 종합수질지표(K-CWQI)와 수질환경기준(BOD)의 등급 일치정도를 Table 10에 정리하였으며, 그 결과 K-CWQI 등급과 BOD 등급의 완전일치 및 1등급 차이가 전체의 93%에 해당하여 K-CWQI는 수질환경기준을 반영하면서 보완해 주는 기능이 있는 것으로 판단된다.

또한 총 110개 자료의 등급별 분류 결과를 Table 11에 정리하였다. K-CWQI의 Ib 등급이 BOD와의 일치도가 55% 가장 높았고 III등급은 20%만 일치하였으며, K-CWQI 등급에 비해 BOD 등급은 상대적으로 범위가 크게 나타났다. 분류에 비해 환경용량이 상대적으로 적은 지류에서 특정항목만을 기준으로 단편적 수질평가를 수행할 경우 수질의 종합적인 상태에 관한 지식을 제대로 제공하지 못할 수 있으므로, 지류에 관해 보다 복합적으로 수질현황을 평가하기 위해 종합수질지표가 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

3.4 지류별 수질변화추이

2015~2016년 금호강 유역의 5개 주요 지류인 북안천(BA), 오목천(OM), 남천(NC), 팔거천(PG) 및 달서천(DS)의 월별 K-CWQI와 BOD의 추이 변화를 Fig. 4에 제시하였다.

지점별로 살펴보면 북안천과 오목천의 경우 K-CWQI가 약 75~95점의 범위를 보여 ‘약간 좋음’ 이상의 등급을 유지하였다. 남천의 경우 상류에 위치한 주요 오염원인 경산시 등의 영향으로 K-CWQI가 평균적으로 가장 낮은 값을 보여 상대적으로 오염도가 심한 것으로 나타났으나 68~87점의 범위로 ‘보통’ 이상의 등급을 유지하였다. BOD도 약 1~8

mg/L의 농도 범위를 보여 상대적으로 월별 변동폭이 매우 큰 것으로 조사되었다. 팔거천의 경우 K-CWQI가 ’15년 8월을 제외하고는 ‘좋음’ 이상의 등급을 유지하였으며, BOD도 약 1~2 mg/L의 농도 범위를 보여 상대적으로 수질이 안정적인 것으로 확인되었다. 달서천의 경우 K-CWQI는 ‘약간 좋음’ 이상의 등급을 유지하였으나 BOD는 남천과 같이 월별 변동폭이 크게 나타났다. 5개 주요 지류의 평균값을 살펴보면, K-CWQI는 약 80~90점의 범위를 보여 ‘좋음’ 등급 이상으로, BOD는 약 1~4 mg/L로 ‘보통’ 등급 이상으로 조사되었다. 한편 지류별 K-CWQI와 BOD 및 5개 수질항목의 월별 변화 정도를 고려하기 위해 측정단위와 평균값이 서로 다른 데이터 집단 간의 산포도를 판단할 수 있는 “변동계수(Coefficient of Variation)”를 산정하여 Fig. 5에 제시하였다.

변동계수는 표준편차의 평균값에 대한 비로 표현되며, 100을 곱하여 % 로 표시하였다. K-CWQI 변동계수는 전 지점에서 10% 미만으로 나타났는데 비해 BOD의 경우는 30~70%로 상대적으로 높게 나타나 K-CWQI의 변화정도가 BOD에 비해 낮은 수준임을 확인할 수 있었다. 이와같이 BOD 비중을 약 50%로 낮춘 종합수질지표는 다양한 수질항목을 평가에 반영하므로, BOD 단일지표로 평가시 수질이 저평가 또는 고평가되는 단점을 극복할 수 있다. 또한 지류별 5개 수질항목의 부지수함수값의 변동계수를 살펴보면 pH, DO, SS는 전 지점에서 약 10% 미만으로 BOD는 약 15% 미만으로 나타났지만, T-Coli는 남천과 달서천에서 20% 이상의 높은 값을 보여 다른 지점에 비해 상대적으로 높은 남천과 달서천의 K-CWQI 변동계수 값에 주요한 영향을 미치는 것으로 사료된다.

Table 10. Degree of Agreement between the Grade Evaluated by K-CWQI and BOD

	Difference of grade					Sum	
	None	1-Step	2-Step	3-Step	4-Step		5-Step
Number	51	51	8	0	0	0	110
Rate(%)	46.5	46.5	7.0	0	0	0	100

Table 11. Comparison with K-CWQI and BOD

BOD	K-CWQI						Sum	
	I a	I b	II	III	IV	V		VI
I a	4	10	0	0	0	0	0	14
I b	9	34	2	0	0	0	0	45
II	0	14	12	1	0	0	0	27
III	0	4	12	1	0	0	0	17
IV	0	0	4	3	0	0	0	7
V	0	0	0	0	0	0	0	0
VI	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	13	62	30	5	0	0	0	110

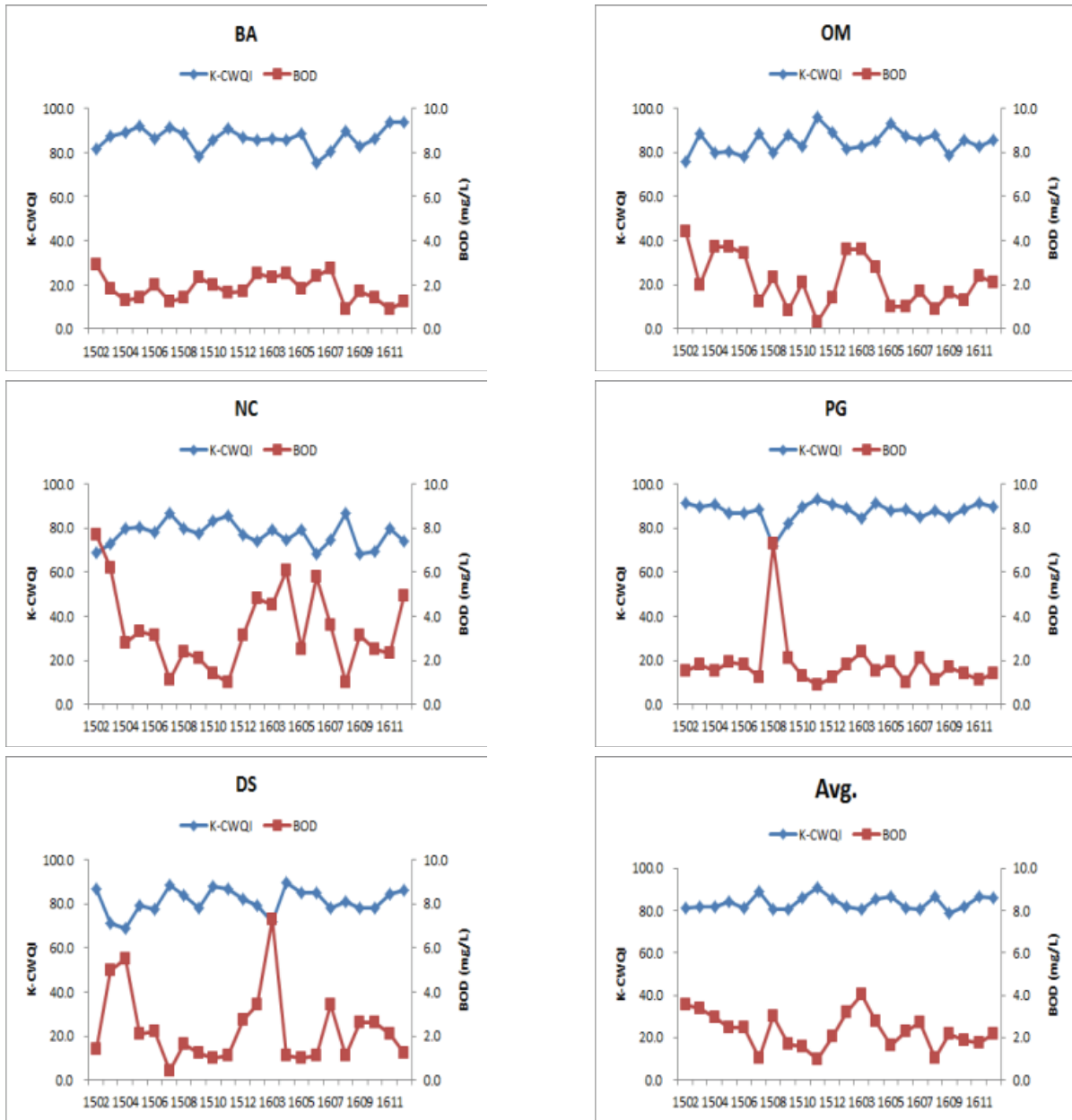


Fig. 4. Monthly Variation of K-CWQI and BOD from 2015 to 2016

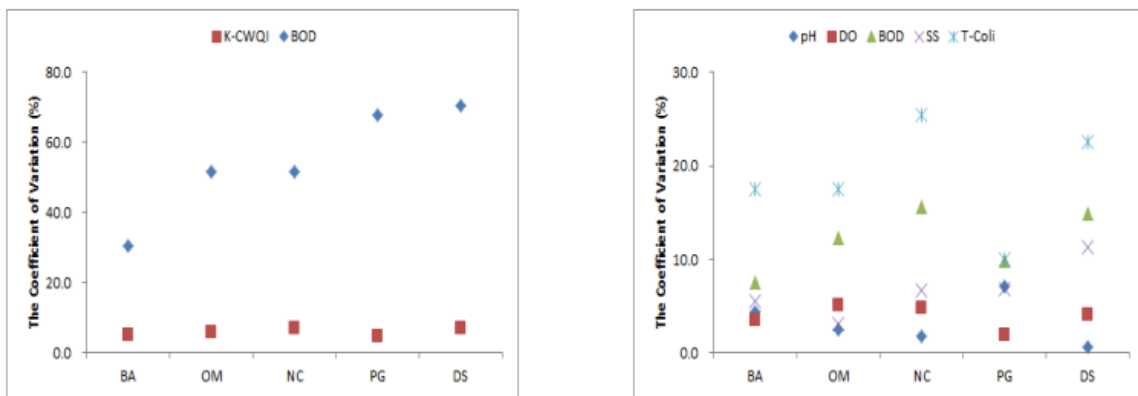


Fig. 5. Coefficient of Variation for K-CWQI, BOD and Subindex Function Values

4. 결 론

본 연구에서는 낙동강 본류 수질에 주요한 영향을 미치며, 비점오염원 발생에 기여율이 큰 금호강 유역을 대상으로 지류에 관한 조사결과를 활용하여 종합수질지표(K-CWQI)를 산정하고 생활환경기준(BOD)과 비교를 통해 수질평가에 관한 종합수질지표의 적용성을 검토하였다.

종합수질지표는 2006년 개발된 K-CWQI(Korea Comprehensive Water Quality Index)를 사용하였다. 19개 조사지점 중에서 선행 연구결과를 바탕으로 월 1회 조사한 5개 주요 지류(북안천, 오목천, 남천, 팔거천, 달서천)를 대상으로 평가는 2015~2016년 2년간의 조사결과를 활용하였다. 종합수질지표 산정결과, 전 기간에 대한 5개 지류의 K-CWQI는 대체로 70~90점 사이의 범위로 “약간좋음(II)” 등급 이상으로 평가되어 수질이 비교적 양호한 것으로 나타났다. 지류별로 살펴보면 팔거천, 북안천이 높은 점수를 받았으며, 낮은 점수를 받은 하천은 남천과 달서천 순으로 나타났다. 또한 오염도가 심한 수질항목을 상대적으로 식별하기 위해 무차원 부지수함수값(Subindex Function Value)을 산정한 결과 BOD와 T-Coli가 전반적으로 낮은 값을 보여 5개 주요 지류에서 오염도가 심한 항목이 거의 유사하게 나타났으며, 이를 통해 향후 지류에 관한 수질관리는 유기물질 제어 중심의 획일적 수질관리만은 타당하지 않으며, 비점오염원에 의해 유발되는 분원성오염 저감대책 등을 포함하는 지류별 특성에 맞는 맞춤형 수질관리가 필요할 것으로 판단된다. 또한 종합수질지표의 적용성을 검토하기 위해 총 110개 자료(2015~2016년)에 대한 K-CWQI 등급과 BOD 등급의 일치정도를 비교한 결과, K-CWQI 등급과 BOD 등급의 완전일치 및 1등급 차이가 전체의 93%에 해당하여 K-CWQI는 수질환경기준을 반영하면서 보완해 주는 기능이 있는 것으로 판단된다. 이와 같이 본 연구에서 활용한 종합수질지표(K-CWQI)는 기존 단일항목으로 수질을 평가하는 방식에 비해 다양한 수질항목을 평가에 반영하여 하천의 수질환경을 종합적으로 평가할 수 있고 하천의 수질상태를 100점 만점의 점수로 표현하여 대중의 이해도를 높임으로써 지류의 효율적인 수질관리에 기여할 수 있지만, 현재의 평가요소가 이화학적인 수질항목만으로 구성되어 있는 명확한 한계점이 있으므로 향후에는 지류의 생태환경까지도 고려할 수 있는 종합적인 평가지표에 관한 개발 및 적용이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 낙동강수계 환경기초조사사업의 연구비지원

(낙동강수계 지류 수질 및 유량 모니터링 연구사업)에 의해 수행되었습니다.

References

- Choi, J.Y. (2006) The Status of Comprehensive Evaluation in Water Environment and the Method of Advanced Evaluation. *Research of Nakdong-River*, No. 3(2006 Autumn), pp. 22-39.
- Choi, J.Y., and Shin, E.S. (1997) Development and Application of Water Quality Index to River Water Quality Management. *Journal of Korean Society on Water Quality*, Korean Society on Water Environment, Vol. 13, No. 4, pp. 415-425.
- Deiniger, R.A., and Jurate, M. (1971) *A Water Quality Index for Public Water Supplies*. Department of Environmental and Industrial Health, University of Michigan, Ann Arbor, MI, pp. 17-35.
- Dojlido, J., Raniszewski, J., and Woyciechowska, J. (1994) Water Quality Index Application for Rivers in vistula River Basin in Poland. *Wat. Sci. & Tech.*, Vol. 30, No. 10, pp. 57-64.
- Horton, R.K. (1965). An Index-number System for Rating Water Quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*, Vol. 37, No. 3, pp. 300-306.
- Im, T.H., Na, S.M., Shin, S.M., and Son, Y.G. (2016) Water Quality Analysis in Nakdong River Tributaries for the Determination of Priority Management Areas. *Journal of Korean Society of Environment Engineering*, Vol. 38, No. 10, pp. 558-565.
- Jung, S.W., and Park, J.H. (2005) Application of Korean Water Quality Index for the Assessment of River Water Quality in the Basin of Daecheong Lake. *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol. 21, No. 5, pp. 470-476.
- Lee, J.W., Jung, H.S., Yoon, J.H., and Cheon, S.Y. (2008) Review on Water Quality and Achievement of Water Quality Goal by Various Evaluation Methods in Geum River. *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol. 17, No. 6, pp. 373-380.
- Lee, J.W., Kim, J.Y., and Shin, K.S. (2010) Application and Water Quality Assessment of the Basin of Daecheong Lake using Korea-Comprehensive Water Quality Index. *Journal of Korean Society of Water Science and Technology*, Vol. 18, No. 2, pp. 85-92.
- MOE and NIER (2006) *Research for Developing Comprehensive Evaluation Method of Water Quality*.

Yang, H.K., and Choi, H.C. (2003) Estimation of Water Quality Environment in Youngsan and Seumjin River Basins. *J. of Korean Geographical Society*, Vol. 38, No. 1, pp. 16-31.

<i>Received</i>	October 20, 2017
<i>Revised</i>	October 25, 2017
<i>Accepted</i>	November 6, 2017

