



한강수계 중권역별 오염물질 추세분석 및 달성도 평가를 통한 우선관리물질 선정

Pollutants Classification based on Trend Analysis and Assessment of Water Pollutants Achievement in Subbasins of Han River Basin

김계웅^a · 송정현^b · 이도길^c · 황하선^d · 강문성^{e, †}

Kim, Kyeung · Song, Jung-Hun · Lee, Do Gil · Hwang, Ha-sun · Kang, Moon Seong

ABSTRACT

The objectives of this study were to analyze trends of water pollutants and to evaluate the achievement of water quality standards by subbasins in the Han River. The trends of 40 water pollutants at 232 water quality measurement points were analyzed. Chemical oxygen demand (COD), Total organic carbon (TOC), Total coliforms (TC), et cetera were found to be worsening trend. For evaluation of achievement, we evaluated water quality arithmetic mean with river environment standards and human health standards at representative points of the subbasin. Biochemical oxygen demand (BOD), TOC, Total phosphorus (T-P), Fecal coliforms (FC), TC exceeded water quality standards, and water quality of human health standards was all satisfied. So, we prioritized pollutants. If pollutants exceed water quality standards or were worse, they were classified first pollutants. Although BOD and T-P are first pollutants because of water quality standards excess, they are continuously improved. Also, it is better to maintain current status because water quality management system of BOD and T-P is well prepared. Meanwhile, TOC, TC, and FC exceed water quality standards. Furthermore, they were worse gradually, but there is a lack of management systems such as water quality standards of the effluence facilities. Therefore, it is necessary to supplement the system. The results of this study can be used as primary data for the establishment of water quality standards and selection of management pollutants.

Keywords: Pollutants; trend analysis; water quality standards; subbasin

1. 서 론

우리나라는 하천 수질관리를 위해 환경정책기본법을 기초로 먹는물관리법, 물환경보전법, 하수도법, 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 등에 근거하여 다양한 오염물질의 수질 기준을 수립하여 관리해오고 있으며(Park et al., 2013), 수립된 수질기준을 준수하기 위하여 중권역별 수질목표등급, 오염총량관리 단위유역 목표수질을 설정하여 관리하고 있다.

그러나 하천 수질기준이 환경정책기본법의 생활환경기준과 사람의 건강보호 기준으로 28종의 수질항목에 대해 설정되어 있는 것에 비해, 중권역별 수질목표등급과 오염총량제도의 목표수질은 BOD (Biochemical Oxygen Demand)와 T-P (Total-Phosphorus)에 한하여 설정되어있으며, 그 중 BOD는 수중의 식물성 플랑크톤 및 질산화박테리아의 작용, 생분해성 및 생물독성의 정도에 따라 측정치의 변동이 심하고, 난분해성 유기물의 측정이 불가능한 특징이 있어 수중 유기오염을 대표하는 관리대상 물질로 적용하기에 한계가 있다는 문제점이 지속적으로 제기되고 있다.

하천에서 측정되는 다른 수질항목에 대해서도 지속적인 연구가 이루어지고 있으며, Choi et al. (2015)은 한강수계 오염총량 단위유역에서 BOD, COD (Chemical Oxygen Demand), T-N (Total-Nitrogen), T-P, TOC (Total Organic Carbon) 등 15개의 수질 항목에 대해 오염원 및 오염부하량과 수질농도 간의 군집분석, 요인분석을 수행하여 유역특성이 유사한 지역을 분류하고 주요 요인을 분석하였으며, Lee et al. (2017)은 한강수계 주요 지류에서 유량과 BOD, COD, T-N, T-P, TOC 등 10개 수질 항목을 통계분석하여 지역적 및 계절적 수질변화를 분석한 바 있다. 또한, 미국 USGS에서는 1972년부터 미국 전 지역에서 측정된 영양물질, 유사, 주요 이온, 염도, 탄소

^a Ph. D student, Rural Systems Engineering, Seoul National University
^b Research Scholar, Department of Agricultural and Biological Engineering & Tropical Research and Education Center, University of Florida
^c Ph. D. Student, Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Florida
^d Researcher, Water Environmental Research Department, National Institute of Environmental Research
^e Professor, Department of Rural Systems Engineering, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Institute of Green Bio Science and Technology, Seoul National University
† Corresponding author
Tel.: +82-2-880-4582 Fax: +82-2-873-2087
E-mail: mskang@snu.ac.kr
Received: February 28, 2019
Revised: May 7, 2019
Accepted: May 14, 2019

살충제 등과 관련된 수질항목에 대해 회귀모델 등을 이용하여 지점별로 추세분석 연구를 수행한 바 있다 (Oelsner et al., 2017). 이 밖에도 Chang et al. (2008), Kim et al. (2011), Minaudo et al. (2015), Choi et al. (2017), Jamian et al. (2017), Yu et al. (2018), Stets et al. (2018) 등이 다양한 수질항목에 대한 특성 분석 연구를 수행하였으나, 유역의 대표 수질측정 지점을 대상으로 하천 수질과 오염원, 수질항목 간 관계를 분석해왔으며, 국내에서는 유역에 분포된 전반적인 수질측정망을 대상으로 이루어진 연구나 사람의 건강보호기준에 포함된 수질항목까지 고려한 연구는 미비하다.

한편, 하천의 수질기준 달성도를 평가한 연구로는 오염총량관리 단위유역의 초과율 평가, 목표수질 달성도 평가 및 방법론 개선 연구 (Park et al., 2013; Kim et al., 2015; Cheong et al., 2016; Jung et al., 2017)가 수행된 바 있으며, 중권역 대표지점에 대해서 Lee et al. (2017)이 TOC를 중심으로 목표수질 달성도를 평가한 바 있다. 수질기준과 관련된 평가 연구는 대부분 BOD와 T-P를 중심으로 이루어져 있으며, 타 수질항목에 대한 분석은 미비한 상황이다.

또한, 정책적으로 제2차 물환경관리 기본계획 (MOE, 2017)에서는 안전한 물환경 기반 조성을 목표로 기존의 28종의 수질항목에서 나아가 더 많은 유해물질 항목에 대한 관리 필요성 제시 및 관리기준 확대를 목표로 하고 있는 만큼, 이에 선행적

으로 다양한 수질항목에 대한 현황 및 항목별 특성을 분석하는 연구가 필요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 한강수계를 대상으로 수계 내 수질 측정망에서 측정되는 모든 수질항목에 대해 추세분석 및 수질목표 달성도 평가를 수행하고, 중권역별로 평가한 뒤 주요관리물질, 지속관리물질 등으로 분류하여, 수질항목별 현황 및 관리방안을 검토하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상지 선정 및 수질측정망 현황 조사

본 연구는 한강, 북한강, 임진강을 포함하는 한강수계를 대상으로 하였으며, 수계 내 24개 중권역 중 북한지역과 해수유통 구간인 한강하류 중권역을 제외한 21개 중권역을 대상으로 하였다. 한강수계 내 수질측정망과 총량측정망은 2016년 기준 총 479지점이 있으며 (물환경측정망운영계획 2016.3 환경부 고시 2016-58호), 본 연구에서는 수질측정망 중 하천에서 측정되는 지점과 총량측정망을 포함한 232지점에 대해서 분석하였다 (Fig. 1). Table 1은 수질측정망과 총량측정망에서 측정되는 수질측정항목과 수질측정주기를 나타내고 있다.

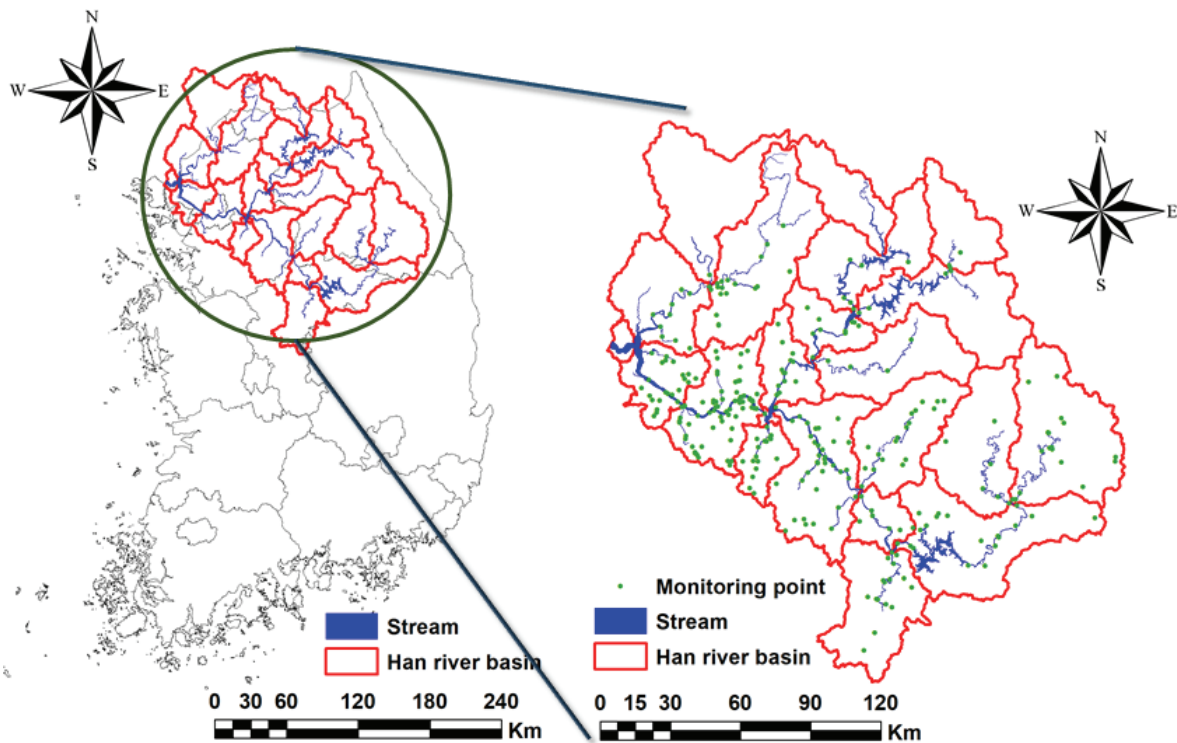


Fig. 1 Study area and water quality monitoring point

Table 1 Water quality parameters and measurement cycle of water quality monitoring network

Category		Water quality parameters and measurement cycle
Normal water quality monitoring network	Normal point	(12 times/year) Temperature, pH, Dissolved oxygen (DO), Biochemical oxygen demand (BOD), Chemical oxygen demand (COD), Total organic carbon (TOC), Suspended solid (SS), Total-nitrogen (T-N), Dissolved total nitrogen (DTN), Ammonia-nitrogen (NH ₃ -N), Ammonium-nitrogen (NO ₃ -N), Total phosphorus (T-P), Dissolved total phosphorus (DTP), Phosphate (PO ₄ -P), Phenols, Fecal coliforms (FC), Total coliforms (TC), Electrical conductivity (EC), Chlorophyll-a (Chl-a) (4 times/year) Cadmium (Cd), Cyanide (CN), Plumbum (Pb), Chromium (Cr ⁶⁺), Arsenic (As), Hydrargyrum (Hg), Antimony (Sb), Alkylbenzene Sulfonate (ABS)
	Representative point of subbasin	(12 times/year) Temperature, pH, DO, BOD, COD, TOC, SS, T-N, DTN, NH ₃ -N, NO ₃ -N, T-P, DTP, PO ₄ -P, Phenols, FC, TC, EC, Chl-a (4 times/year) Cd, CN, Pb, Cr ⁶⁺ , As, Hg, Sb, ABS (2 times/year) Trichloroethylene (TCE), Tetrachloroethylene (PCE), Carbon tetrachloride (CCl ₄), 1,2-dichloroethane, Dichloromethane, Benzene (C ₆ H ₆), Chloroform (CHCl ₃), 1,4-dioxane, Formaldehyde (CH ₂ O), Hexachlorobenzene (HCB) (1 times/year) Polychlorinated biphenyls (PCBs), Organophosphorus compound (Org-P), Bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP)
	Main point	(48 times/year) Temperature, pH, DO, BOD, COD, TOC, SS, T-N, DTN, NH ₃ -N, NO ₃ -N, T-P, DTP, PO ₄ -P, Phenols, FC, TC, EC, Chl-a (12 times/year) Cd, CN, Pb, Cr ⁶⁺ , As, Hg, Sb, ABS (2 times/year) TCE, PCE, CCl ₄ , 1,2-dichloroethane, Dichloromethane, C ₆ H ₆ , CHCl ₃ , 1,4-dioxane, CH ₂ O, HCB (1 times/year) PCB, Org-P
TPLM (Total Pollution Load Management) water quality monitoring network		(more than 36 times/year) Temperature, pH, DO, BOD, COD, TOC, SS, T-N, T-P, EC

수질측정망에서는 환경정책기본법 시행령 제2조에 따른 하천 생활환경기준에 해당되는 8개 항목, 사람의 건강보호기준에 해당되는 20개 항목과 그 외의 12개 항목을 포함한 총 40개의 수질항목 (Table 2)에 대해 농도가 측정되고 있으며, 본 연구에서는 수질측정망에서 측정되는 모든 수질항목을 검토 대상으로 설정하였다.

Table 2 Reviewed water quality parameters (Presidential Decree No.28720, 27, Mar, 2018)

Category	Water quality parameters
Water quality standards (8)	pH, BOD, TOC, SS, DO, T-P, TC, FC
Human health standards (20)	Cd, As, CN, Hg, Org-P, PCBs, Pb, Cr ⁶⁺ , ABS, CCl ₄ , 1,2-dichloroethane, PCE, Dichloromethane, C ₆ H ₆ , CHCl ₃ , DEHP, Sb, 1,4-dioxane, CH ₂ O, HCB
Other water quality (12)	Temperature, EC, COD, Phenols, NH ₃ -N, NO ₃ -N, DTN, T-N, PO ₄ -P, DTP, TCE, Chl-a

한편, 한강수계 내 설정된 수질기준은 수계 전체에 환경정책기본법에 따른 사람의 건강보호기준이 적용되며, 중권역별 대표지점에 중권역별 물환경 목표기준에 따른 생활환경기준과 1단계 한강수계 오염총량관리제도가 시행되고 있는 서울·인천·경기 지역에 속한 오염총량단위구역 말단 지점에 오염총량관리 목표수질이 설정되어있다. 본 연구에서는 환경정책기본법 시행령 (대통령령 제29514호 2019. 2. 8.) 별표 환경기준의 사람의 건강보호기준과 중권역별 물환경 목표기준 (환경부고시 제2018-86호, 2018. 1. 18)의 하천 생활환경기준에 따른 중권역별 수질 목표등급을 활용하였다. 수질등급은 환경정책기본법 시행령 별표 환경기준에 제시된 수질항목별 농도에 따라 달성도 평가를 수행하였다.

2. 수질항목별 추세분석

본 연구에서는 40개의 수질항목을 대상으로 선형회귀분석을 수행하여 시간에 따른 추세를 분석하였다. 추세분석은 수계 내 모든 지점에서 수질항목별로 선형회귀분석하여 기울기 0을 기준으로 증가 또는 감소추세 지점을 구분한 후, 중권역

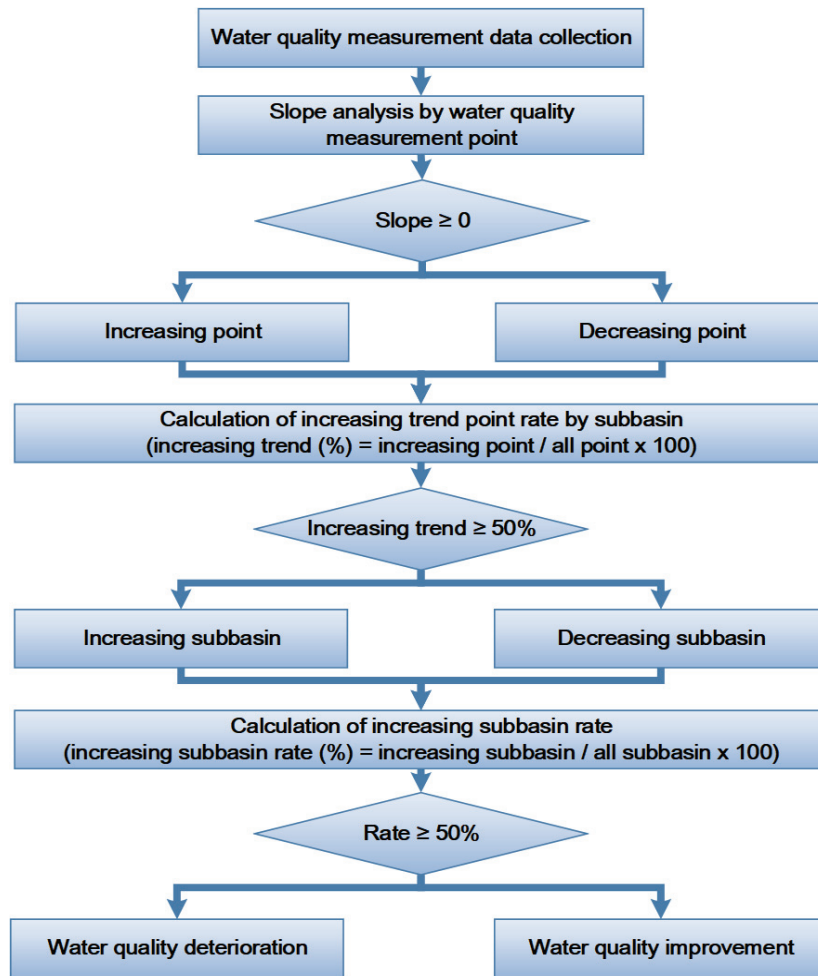


Fig. 2 Flow chart of trend analysis

별로 중권역 내 수질측정지점의 증가추세인 지점 수가 총 지점 수의 50% 이상인 중권역은 증가추세 중권역으로 분류하였다. 그 후 22개의 중권역 중 증가추세 중권역 비율이 50% 이상이면 “수질악화”, 50% 미만은 “수질개선”으로 정의하였다 (Fig. 2).

3. 수질항목별 수질기준 달성도 평가

수질기준 달성도는 중권역 대표지점에서 하천 생활환경기준과 사람의 건강보호 기준에 포함된 수질항목을 평가하였다. 하천 생활환경기준은 수질 및 수생태계 목표에 따라 중권역별로 다른 등급을 적용하였으며, 사람의 건강보호기준은 모든 중권역에서 동일한 기준을 적용하였다.

수질기준의 초과여부는 수질 및 수생태계 목표기준 평가규정(환경부고시 제2015-255호)에 따라 각 중권역 대표지점에 수질기준이 있는 수질항목의 측정 값을 산술평균한 농도를 목표기준과 비교하여 중권역별 초과/달성여부를 분석하였다.

이후 수질항목별로 수질기준을 만족하는 중권역의 개수가 90% 이상이면 “기준달성”, 10% 미만이면 “기준초과”로 분류하였다. 수질기준은 모든 목표지점에서 목표수질을 달성해야 하므로 초과지점이 없어야 하나, 본 연구에서는 미국 TMDL 수립시 수체 손상도 평가에서 10% 이상이 수질기준을 초과할 때 대상물질로 고려 (NRC, 2001)하는 등의 안전율 개념을 준용하여 달성율 90%의 개념을 적용하였다 (Fig. 3).

4. 관리물질 우선순위 선정

추세분석 결과와 달성도 평가 결과에 따라 수질오염물질의 수계 내 관리우선순위를 도출하였으며, Table 3과 같다. 수질기준을 초과하는 물질과 수질기준을 초과하지는 않으나 추세가 악화되는 항목을 1순위 관리물질로 선정하였으며, 수질이 악화되지만 수질기준을 초과하지 않는 항목을 2순위 관리물질로, 그 밖의 수질항목은 3순위 관리물질이라 정의하였다.

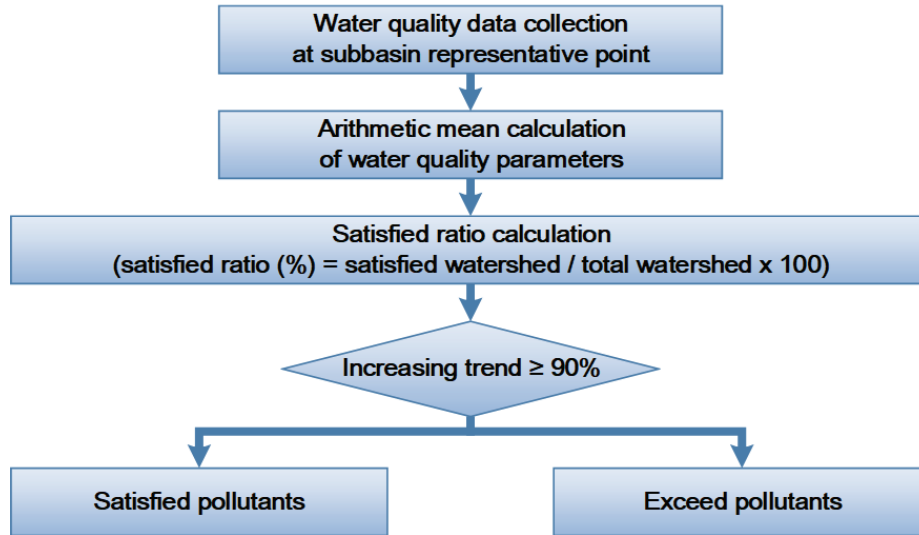


Fig. 3 Flow chart of assessment of water quality standards satisfaction

Table 3 Classification of pollutants

Type by trend analysis	Water quality standard existence	Assessment of water quality standards satisfaction	Classification
Worse	Yes	Exceed	1st pollutants
		Satisfied	1st pollutants
	No	-	2nd pollutants
Mitigation	Yes	Exceed	1st pollutants
		Satisfied	3rd pollutants
	No	-	3rd pollutants

III. 결과 및 고찰

1. 수질항목별 추세분석 결과

추세분석을 위한 자료는 환경부 물환경정보시스템으로부터 취득하였으며, 2006년부터 2015년까지 일반 및 총량측정망 총 232개 지점의 수질 자료를 분석하였다. 한편, 측정망 지점별로 측정횟수가 10회 미만인 수질항목은 분석에서 제외하였다.

중권역별 수질농도 추세분석 결과, 사람의 건강보호 기준에 속하는 20개 수질항목은 As와 Sb를 제외하고 모든 중권역에서 개선되는 것으로 나타났으며, 두 항목 또한 각각 2개, 3개 중권역을 제외하고 모두 개선되어 수계 전체에서 개선되는 것으로 나타났다. 나머지 항목들은 COD, TOC, EC, TC, DTN, NO₃-N, Chl-a, FC, T-N, PO₄-P 항목은 악화되는 것으로 나타났으며, DO, BOD, SS, T-P, Phenols, NH₃-N, DTP는 개선되는 것으로 나타났다 (Table 4). Fig. 4는 수질항목에 대한 중권역별 추세분석결과를 도시한 그림이다. 수질항목 중 pH

와 Temperature는 증감 추세에 따른 수질악화 여부를 파악할 수 없기 때문에 악화 또는 개선으로 평가하지 않았다. 한편, Jamian et al. (2017)은 말레이시아의 Sungai Sarawak에서 수질 항목의 경향성 분석을 수행하여 COD를 제외하고, BOD, DO, SS 등은 경향이 없는 것으로 나타난다고 보고한 바 있으며, Minaudo et al. (2015)은 프랑스의 Loire 강에서 Chl-a, NO₃-N, PO₄-P의 경향을 분석하여 1980년 이후 지속적으로 감소가 있음을 확인하는 연구를 진행한 바 있다. 또한, Oelsner et al. (2017)은 미국 수질측정망에서 측정된 모든 수질항목에 대해 유량 및 계절 변화를 반영할 수 있는 유량-부하량 회귀식을 수질항목별로 선정하고, 각 지점에 대해 회귀식을 도출하는 연구를 진행한 바 있다. 이처럼 수질 추세를 분석하는 다양한 연구가 진행되었으나, 대상 지역의 특성에 따라 결과가 상이하게 나타나고, 수질 항목 간 경향도 다르게 나타나기 때문에 본 연구의 결과와 직접적인 비교에는 어려움이 있었으며, 악화 대상물질을 중심으로 향후 지역특성 및 수질항목간 인과관계 등과 연관된 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

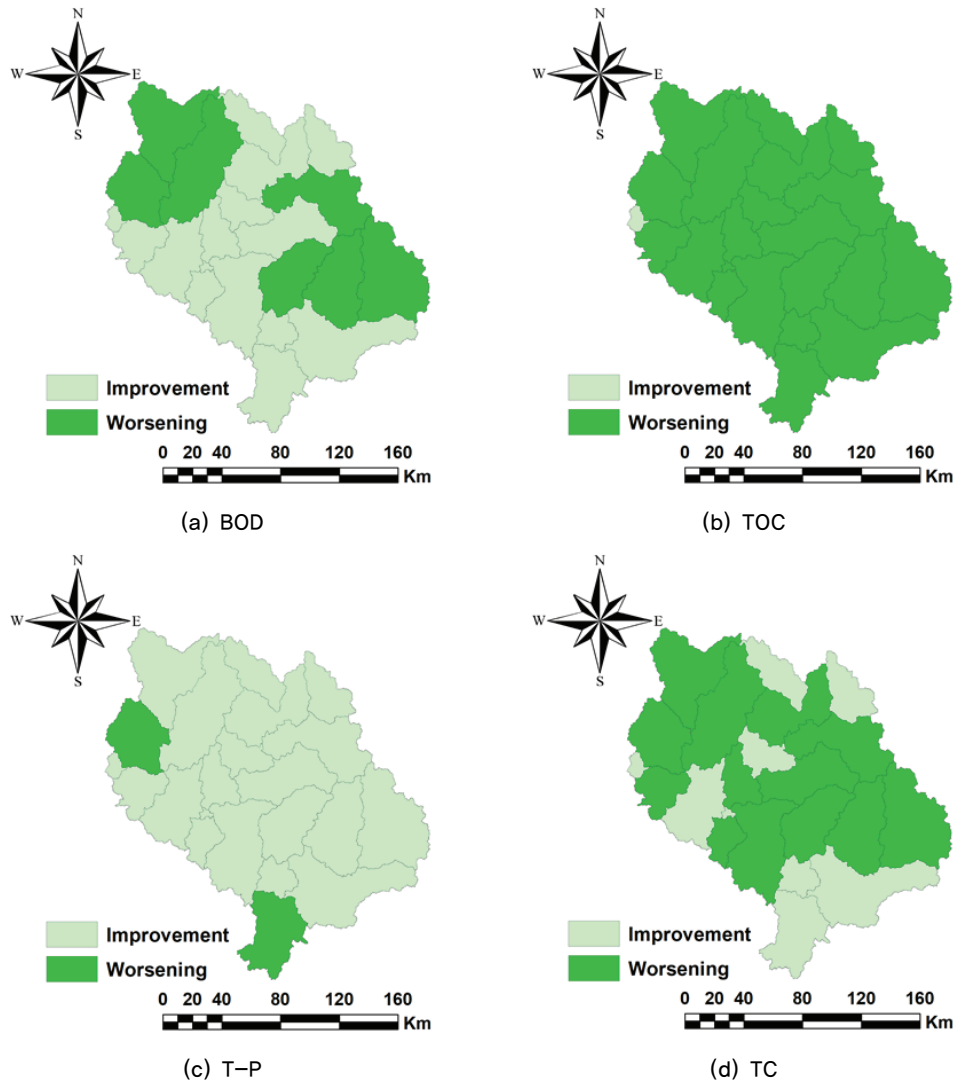


Fig. 4 Result of trend analysis by subbasin

Table 4 Trend analysis result of all pollutants (2006~2015)

Category	DO	BOD	COD	SS	T-N	T-P	TOC	Phe*	EC	DTN	NO ₃ -N	DTP	NH ₃ -N	PO ₄ -P	Chl-a	FC	TC	As	Sb
Total subbasin	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Worse subbasin	9	7	14	6	11	2	21	0	19	13	14	9	9	11	14	18	13	2	3
Worse subbasin ratio (%)	42.9	33.3	66.7	28.6	52.4	9.5	100.0	0.0	90.5	61.9	66.7	42.9	42.9	52.4	66.7	85.7	61.9	9.5	14.3
Trend analysis result	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓

* *: Phenols

** ↓: Mitigation, ↑: Worse

2. 수질항목별 수질기준 달성도 평가

검토대상물질(총 40종) 중 수질기준이 있는 항목은 Table 5와 같이 총 28항목이었으며, 이에 대한 달성도 평가를 수행하였다.

중권역 대표지점에서 기준초과 분석결과, 하천 생활환경기준이 있는 수질항목 중 pH, DO, SS는 기준달성, BOD, TOC, T-P, FC, TC는 기준초과로 나타났다 (Table 6). Fig. 5는 중권역별 달성도 평가를 나타낸 그림이다. 또한, 사람의 건강보호 기준에 포함되는 수질항목 중 물환경정보시스템에 측정자료가 없는 CHCl_3 을 제외한 총 19종의 경우, 모든 중권역에서 기준달성으로 나타났다.

Table 5 Status of water quality standard of pollutants

Water quality standard existence		Water quality parameters
Yes	Water quality standards	pH, BOD, TOC, SS, DO, T-P, TC, FC
	Human health standards	Cd, As, CN, Hg, Org-P, PCBs, Pb, Cr^{6+} , ABS, CCl_4 , 1,2-dichloroethane, PCE, Dichloromethane, C_6H_6 , CHCl_3 , DEHP, Sb, 1,4-dioxane, CH_2O , HCB
No		Temperature, EC, COD, Phenols, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, DTN, T-N, $\text{PO}_4\text{-P}$, DTP, TCE, CHl-a

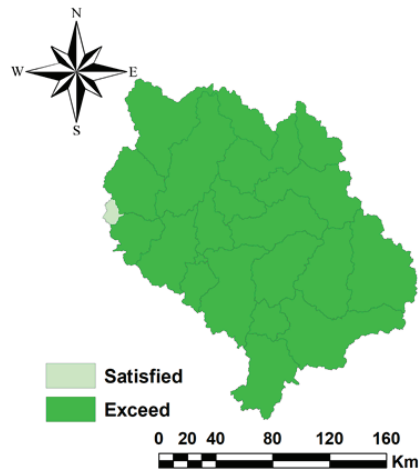
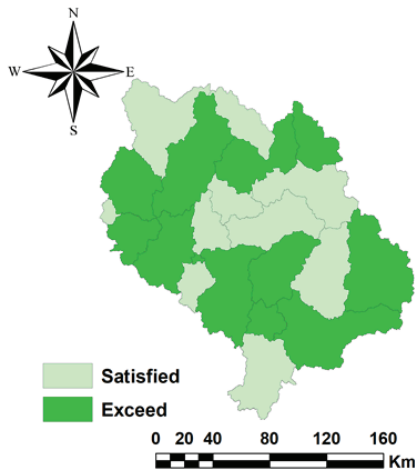
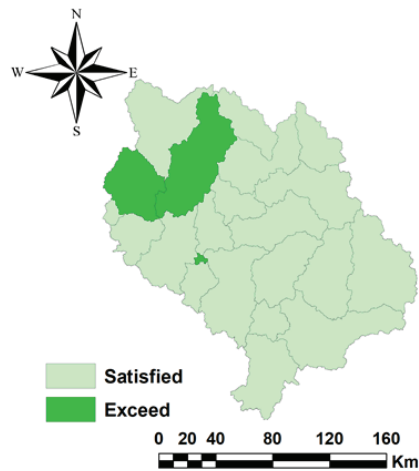
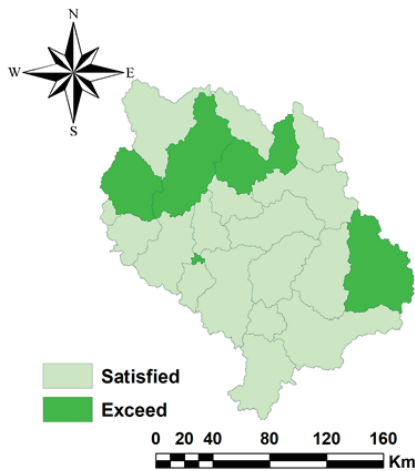


Fig. 5 Result of evaluation of achievement by subbasin

Table 6 Assessment of water quality standard satisfaction at subbasin representative point

Category	pH	DO	BOD	SS	T-P	TOC	FC	TC
Excess subbasin number	0	0	5	2	12	3	21	21
Exceed& satisfied	0	0	X	0	X	X	X	X

O: Satisfied, X: Exceed

3. 관리물질 우선순위 선정결과 및 분석

추세분석과 수질기준 달성도 평가결과에 따라 우선순위로 1순위, 2순위, 3순위 물질을 분류하였으며, 분류결과는 Table 7과 같다. BOD, TOC, T-P, FC, TC 항목이 수질경향 추세가 악화되거나, 수질기준을 초과하는 물질로 나타나 1순위 물질로 분류되었으며, EC, COD, DTN, NO₃-N, Chl-a는 하천 수질기준이 없어 수질기준의 초과여부를 평가할 수는 없으나 추세가 악화되고 있어 2순위 물질로 분류되었다.

Table 7 Classification result of all pollutants by trend analysis and water quality standard satisfaction

Classification	Water quality parameters
1st pollutants	BOD, TOC, T-P, TC, FC
2nd pollutants	EC, COD, DTN, NO ₃ -N, Chl-a
3rd pollutants	T-N, SS, etc.

본 연구에서 1순위 관리물질로 분류된 수질항목의 관리현황으로, BOD는 환경기초시설 및 개인하수처리시설의 방류수 수질기준, 산업계 개별배출시설의 배출허용기준이 있어 하천으로의 유출 전부터 관리되고 있으며, 오염총량관리제도 및 물환경보전법의 제10조 2의 물환경목표기준 달성을 위한 대상물질로 관리되고 있는 등 제도적 기반이 확고히 갖춰져 있어 현 상황에서도 충분한 관리가 이뤄지고 있다. 본 연구에서 BOD는 수질기준을 달성하지 못하기 때문에 주요관리물질로 분류되었으나, 추세가 지속적으로 개선되고 있으며, 제도적으로도 기반이 조성되어 있으므로 현 상황이 지속적으로 유지될 경우 충분한 관리가 이루어질 것으로 사료된다.

T-P 또한 개인하수처리시설을 제외하고 환경기초시설 및 산업계 개별배출시설의 수질기준이 있어 배출원의 농도는 관리되고 있으며, 일부 지역에서 오염총량관리제도 대상물질로서 지정되어 있다. 또한 수질기준을 초과하기 때문에 주요관리물질로 분류되어 있으나, 추세는 대부분 중권역에서 지속적으로 감소하고 있어 현재의 상태를 유지할 경우 수질개선의

의 효과가 있을 것으로 사료된다.

TOC는 현재 수질기준을 초과하는 중권역의 수는 많지 않으나, 추세는 모든 중권역에서 높아지는 것으로 나타났으며, 환경기초시설, 개인하수처리시설, 산업계 개별배출시설의 수질기준이 존재하지 않는 상태이다. 향후 배출원의 수질기준 마련을 통한 관리가 필요할 것으로 사료된다.

TC와 FC는 농도추세가 지속적으로 증가하고 있으며, 수질기준 또한 초과하고 있는 것으로 나타났다. 총대장균군은 환경기초시설과 산업계 개별배출시설은 수질기준을 갖고 있으나, 수질개선을 위해서는 수질기준의 강화가 필요할 것으로 생각되며, 분원성대장균군은 수질기준이 존재하지 않아 수질기준 설정을 통한 관리가 필요할 것으로 사료된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 한강수계를 대상으로 하천에서 측정되는 총 40종의 검토대상물질에 대해 추세분석 및 수질기준 달성도 평가를 수행하고, 분석결과에 따라 수질항목을 각각 분류하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 수질농도 추세분석 결과, COD, TOC, EC, TC, DTN, NO₃-N, Chl-a, FC, T-N, PO₄-P, As, Sb 항목은 악화되는 것으로 나타났으며, DO, BOD, SS, T-P, Phenols, NH₃-N, DTP는 개선되는 것으로 나타났다.
2. 하천 생활환경기준이 있는 수질항목을 중권역 대표지점에서 분석하였으며, pH, DO, SS는 기준달성, BOD, TOC, T-P, FC, TC는 기준초과로 나타났다. 또한, 사람의 건강보호 기준에 포함되는 수질항목 중 물환경정보시스템에 측정자료가 없는 CHCl₃을 제외한 총 19종의 경우, 중권역 전 지점에서 기준달성으로 나타났다.
3. BOD, TOC, T-P, FC, TC 항목은 수질경향 추세가 악화되거나, 수질기준을 초과하는 물질로 나타나 주요관리물질로 분류하였으며, EC, COD, DTN, NO₃-N, Chl-a는 지속관리물질로 분류하였다.
4. 1순위 관리물질 중 BOD와 T-P는 감소추세에 있으며, 제도적 기반이 탄탄하여 현재 상태를 유지할 경우 수질이 충분히 감소될 것으로 사료되며, TOC, TC, FC는 추세가 지속적으로 증가하고, 제도적으로 미비한 부분이 있어 향후 방류수 수질기준 등의 제도적 보완이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구결과는 향후 수질기준 마련, 주요 수질관리 항목 선정 등을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였음(11-1480523-003268-01).

REFERENCES

1. Chang, H., 2008. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea. *Water Research* 42: 3285-3304.
2. Cheong, E., H. Kim, Y. Kim, and D. Shin, 2016. Application of the load duration curve (LDC) to evaluate the rate of achievement of target water quality in the Youngsan · Tamjin River watersheds. *Journal of Korean Society on Water Environment* 32(4): 349-356 (in Korean). doi:10.15681/KSWE.2016.32.4.349.
3. Choi, O. Y., K. H. Kim, and I. S. Han, 2015. A study on the spatial strength and cluster analysis at the unit watershed for the management of total maximum daily loads. *Journal of Korean Society on Water Environment* 31(6): 700-714 (in Korean). doi:10.15681/KSWE.2015.31.6.700.
4. Choi, O. Y., H. T. Kim, H. S. Seo, and I. S. Han, 2017. Analysis of water quality changes & characterization at the watershed in Han River basin for target indicator in TMDLs. *Journal of Korean Society on Water Environment* 33(1): 15-33 (in Korean). doi:10.15681/KSWE.2017.33.1.15.
5. Jamian, Y., Z. Lamat, and N. Rali, 2017. Trend analysis of water quality at Sungai Sarawak. *Pertanika Journal Sciences & Technological* 25(S): 55-62.
6. Jung, K. Y., H. T. Kim, S. S. Kim, S. Kim, D. S. Shin, and G. H. Kim, 2017. Application of the load duration curve (LDC) to evaluate the achievement rate of target water quality in the Nakdong River unit watersheds. *Journal of Environmental Science International* 26(4): 433-445 (in Korean). doi:10.5322/JESI.2017.26.4.433.
7. Kim, Y., and S. Lee, 2011. Evaluation of water quality for the Han River tributaries using multivariate analysis. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 33(7): 501-510 (in Korean). doi:10.4491/ksee.2011.33.7.501.
8. Kim, E., J. Ryu, H. Kim, Y. Kim, and D. Shin, 2015. Application of the load duration curve (LDC) to evaluate the achievement rate of target water quality in the Han-River watersheds. *Journal of Korean Society on Water Environment* 31(6): 732-738 (in Korean). doi:10.15681/KSWE.2015.31.6.732.
9. Lee, J. S., S. Lee, and J. Lee, 2017. Evaluation of attainment ratio on water quality goal of the mid-watershed representative station. *Journal of Korean Society on Water Environment* 33(5): 525-530 (in Korean). doi:10.15681/KSWE.2017.33.5.525.
10. Lee, Y. J., M. Park, J. Son, J. Park, G. Kim, C. Hong, D. Gu, J. Lee, C. Noh, K. Y. Shin, and S. J. Yu, 2017. Spatial and seasonal water quality variations of Han River tributaries. *Journal of Environmental Impact Assessment* 26(6): 418-430 (in Korean). doi:10.14249/eia.2017.26.6.418.
11. Minaudo, C., M. Meybeck, F. Moatar, N. Gassama, and F. Curie, 2015. Eutrophication mitigation in rivers: 30 years of trends in spatial and seasonal patterns of biogeochemistry of the Loire River (1980-2012). *Biogeosciences* 12: 2549-2563. doi:10.5194/bg-12-2549-2015.
12. MOE, 2017. The second master plan of water environment management ('16~'25), Ministry of Environment (in Korean).
13. National Research Council, 2001. Assessing the TMDL approach to water quality management. National Academy Press, Washington, DC.
14. Oelsner, G. P., L. A. Sprague, J. C. Murphy, R. E. Zuellig, H. M. Johnson, K. R. Ryberg, J. A. Falcone, E. G. Stets, A. V. Vecchia, M. L. Riskin, L. A. De Cicco, T. J. Mills, and W. H. Farmer, 2017. Water-quality trends in the nation's rivers and streams, 1972-2012—data preparation, statistical methods, and trend results (ver. 2.0, October 2017). U.S. *Geological Survey Scientific Investigations Report* 2017-5006, 136. doi:10.3133/sir20175006.
15. Park, J. D., J. H. Park, S. Y. Oh, and J. K. Lee, 2013. Evaluation of stream water quality to select target indicators for the management of total maximum daily loads. *Journal of Korean Society on Water Environment* 29(5): 630-340 (in Korean).
16. Stets, E. G., C. J. Lee, D. A. Lytle, and M. R. Schock, 2017. Increasing chloride in rivers of the conterminous U.S. and linkages to potential corrosivity and lead action level exceedances in drinking water. *Science of the Total Environment* 613-614: 1498-1509. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.07.119.

17. Yu, S., H. Cho, I. Ryu, J. Son, M. Park, and B. Lee, 2018. Characteristics of spatial and temporal organic matter in the Han River watershed. *Journal of Korean Society on Water Environment* 34(4): 410-423 (in Korean). doi:10.15681/KSWE.2018.34.4.409.