

Study Note

진위천 단위유역의 유량-수질 특성 및 하천 등급화 평가

조용철 · 최진우 · 노창완 · 권필상 · 김상훈 · 유순주

국립환경과학원 한강물환경연구소

Evaluation of Discharge-Water Quality Characteristics and River Grade Classification of Jinwi River Unit Basin

Yong-Chul Cho · Jin-Woo Choi · Changwan Noh ·
Phil-Sang Kwon · Sang-hun Kim · Soonju Yu

Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

요약: 본 연구는 진위천 단위유역의 수질오염총량제도에 따른 유량 및 수질 특성을 정확히 파악하고 목표 수질을 달성하기 위하여 수질 개선이 우선적으로 필요한 총량 지점을 선정하여 관리 방안을 제시하는 것이다. 진위천 단위유역의 2014년부터 2016년까지 14개 총량 지점을 대상으로 유량 및 수질 특성, 통계 분석, 유달부하량 및 유달부하 밀도 산정, 하천 등급화 등을 평가하였다. 진위천 단위유역의 유량은 평균 22,411 m³/s이고 황구지천의 유량이 32.8%를 차지하였으며 지류 하천에 따른 공간적으로 수질특성이 뚜렷하게 나타났다. 주성분 분석 결과 오산천과 황구지천은 유기오염 간접지표 및 계절적 요인, 성은천은 유기오염 간접지표 요인, 관리천은 계절적 요인이 수질에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 유달부하량 산정 결과 HG-3 지점에서 6,470.4 BOD kg/day, 6,846.7 TN kg/day로 높게 나타났으며 유달부하 밀도는 HG-4 지점에서 220.9 BOD kg/day/km², 22.4 TP kg/day/km²로 높게 나타났다. 하천 등급화 방법을 이용한 진위천 단위유역의 수질 개선이 우선으로 필요한 총량 지점은 HG-3 지점으로 나타났다.

주요어: 진위천, 수질 개선, 지류 하천, 유달부하량, 하천 등급화

Abstract: The aim of this study is to examine the characteristics analysis of the discharge and water quality based on TPLMS (Total Pollution Load Management System) in the Jinwi River unit basin,

First Author & Corresponding Author: Yong-Chul Cho, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Korea, Tel: +82-31-770-7238, E-mail: yc800222@korea.kr

Co-Authors: Jin-Woo Choi, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Korea, Tel: + 82-31-770-7239, E-mail: jinwoo30@korea.kr

Changwan Noh, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Korea, Tel: + 82-31-770-7242, E-mail: acewany@korea.kr

Phil-Sang Kwon, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Korea, Tel: + 82-31-770-7225, E-mail: kps1982@korea.kr

Sang-hun Kim, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Korea, Tel: + 82-31-770-7220, E-mail: haemy@korea.kr

Soonju Yu, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Korea, Tel: +82-31-770-7201, E-mail: ysu1221@korea.kr

Received: 23 November, 2018. Revised: 6 December, 2018. Accepted: 7 December, 2018.

and to propose a management plan by selecting the point that needs improvement of water quality in order to achieve the target water quality. We evaluated the discharge and water quality characteristics, statistical analysis, daily delivery load and daily delivery density, grade classification, for 14 total pollution load site's from 2014 to 2016 year in Jinwi river unit basin. The average discharge of Jinwi river unit basin is 22.411 m³/s and discharge of Hwangguji River is 32.8% and the water quality characteristics along the tributary river were clarified spatially. As the result, it was analyzed that Seongeun River is an indirect indicator of organic pollutants, Gwanri River is a seasonal factor, Osan River and Hwangguji River both affect water quality. Estimation of delivered pollutant loads at the HG-3 site was 6,470.4 BOD kg/day, 6,846.7 TN kg/day and delivered pollutant loads density increased to 220.9 BOD kg/day/km², 22.4 TP kg/day/km² at the HG-4 site. This result demonstrates that the total pollution load site needed to improve water quality of the Jinwi River unit basin was HG-3 site.

Keywords: Jinwi River, Water Quality Improvement, Tributary, Daily Delivery Load, Grade Classification

I. 서론

최근 고도경제 산업사회의 국가정책에 따라 국민들의 생활수준이 높아졌으나 환경오염은 악화되고 있다. 특히 하천 유역 시가지의 개발 확산과 하천의 인위적인 변경에 따라 자정 능력을 잃어 수질오염을 가속하고 있으며 산업폐수 및 생활하수 등의 방류로 오염물질이 하천으로 유입되면서 하천 수질의 악화가 심화하고 있다(Cho 2011). 우리나라는 1998년 4대강 물 관리 종합대책을 보완하여 개별 배출원에 대한 농도규제에서 오염물질의 총량을 관리하는 유역 단위 기반의 하천 수질 관리로 수질오염총량관리제도(Total Pollution Load Management System, TPLMS)를 시행하고 있다(Choi et al. 2017).

TPLMS는 수계구간별 목표 수질을 정하고, 목표 수질을 달성, 유지하기 위하여 오염물질의 배출 총량을 관리하는 제도로서 오염 물질량을 줄일수록 해당 지역의 개발이 가능하다. 2008년 기타 수계 수질오염총량관리 기본방침이 지정되어 2009년 진위천이 TPLMS 대상 지역으로 선정되었다. 2010년 환경부로부터 기본계획이 승인되었으나 추가 삭감계획 및 지역개발부량 증가로 2012년 기본계획 변경신청을 하여 2013년 환경부에서 기본계획 변경 승인을 하여 관리 지점인 진위A 단위유역의 목표 수질을 생물화학적 산소요구량 기준으로 2009년 기준수질 7.6 mg/L에서

2020년 목표수질 6.6 mg/L로 고시하였다. 환경부에서는 2013년부터 2020년까지 진위천 단위유역의 TPLMS 시행계획이 시작되어 유량 및 수질을 조사하고 있으며, 전국오염원조사 자료를 이용하여 TPLMS 이행평가를 시행하고 있다(Han et al. 2014b).

하천의 유량과 수질 자료는 TPLMS 계획수립에 관련하여 유역 현황 파악, 기준유량 산정, 단위유역의 목표 수질 설정 및 평가, 수질 개선 대상유역 및 우선순위 선정, 오염물질 삭감계획 수립 등을 위한 기초자료로 활용된다(Kim & Yi 2011). 그리고 효과적인 유역관리 정책을 추진하기 위해서는 과학적이고 체계적인 방법을 통하여 유역 내 오염물질의 거동과 오염부하량을 정확하게 파악하여야 하는데, 이를 위해서는 동일지점에서 유량측정과 수질을 조사하여야 한다. 진위천 유역의 TPLMS가 시행되면서 단위유역 및 총량 지점에서 유량측정과 수질을 조사를 하여 많은 양의 자료가 수집되고 오염부하량 자료 확보가 가능해졌으나 데이터의 분석 및 수질예측에 관한 분석은 미흡한 실정이다. 따라서 진위천 단위유역의 하천 수질을 관리하기 위한 계획을 수립하기 위해서는 정확한 유량측정과 수질 자료의 획득, 자료 분석이 필수적이다.

우리나라의 강우특성은 평수기와 홍수기에 직접유출에 의한 오염물질 유입이 상대적으로 크지만, 강우

의 영향이 적은 갈수기에는 대부분 오염물질이 점오염원과 기저 유출에 의해 유입된다(Choi et al. 2015). 진위천의 유입하는 하천은 도시화와 인구 밀집으로 인한 점오염원과 비점오염원 등 다양한 오염원이 분포하고 있다. 이러한 유입 하천으로부터 점오염원 및 기저 유출에 의해 배출되는 오염물질들이 진위천 본류에 수질 악화를 초래할 수 있다. 따라서 진위천 본류에 유입하는 주요 하천을 대상으로 수질특성을 파악하고 진위천 본류 기여율 분석을 통한 오염원 선별이 중요하다. 이러한 분석을 통하여 진위천 본류 수질의 오염 기여도가 높은 유입 하천 선정 및 주요 요인 파악이 가능하여 진위천 단위유역의 수질 오염 관리를 위한 합리적이고 효과적인 정책 및 수질 개선 방안이 수립될 수 있다.

최근까지 TPLMS를 위한 연구를 살펴보면 단위유역의 수질 변화 유형을 제시하는 연구(Park et al. 2010), 유량을 고려하여 수질 자료의 특성을 파악하고 효율적인 운영 및 정책개발에 필요한 자료와 방법을 제시하는 연구(Cho 2011), TPLMS 시행에 따른 지역개발과 삭감 계획 평가를 통하여 단위유역의 목표 수질과 목표 부하량을 달성하기 위한 방향을 제시하는 연구(Han et al. 2014a), TPLMS 대상 물질의 확대를 위한 수질 경향 및 수질 특성을 통하여 하천 수질 관리 대상 물질의 적절성을 제시하는 연구(Choi et al. 2017) 등으로 TPLMS를 위한 정책과 방향을 제시하는 연구들이 진행되어 왔다. 최근 하천의 수질 개선을 위한 인식이 본류 중심에서 지류 중심으로 변화하고 있으며 지류 하천의 장기간 유량 및 수질 모니터링 자료를 축적하고 관리하는 유역관리 체계를 실시하고 있다. 유량 및 수질 모니터링을 통한 수질 오염물질을 정량적으로 파악하고 오염원 파악 및 수질 개선 유역을 선정하고 지역적 특성을 고려한 표준화된 개선 방안을 제시하는 것이 필요하다. Lim et al.(2010)은 금강에 유입하는 오염물질의 양을 정량적으로 파악하여 합리적인 환경 관리방안을 모색하였으며 영산강 수계 및 낙동강 수계를 대상으로 유량·수질 모니터링 자료를 이용한 지류·지천의 수질 특성 평가를 하였다(Jung et al. 2013; Son et al. 2017). 또한 충청남도의 주요 지류하천 유역을 정확

히 파악하고 수질개선이 우선으로 필요한 하천유역을 선정하는 연구가 보고되고 있다(Park et al. 2011; Cho et al. 2012). 따라서 본류 구간의 수질을 개선하기 위해서는 지류 하천의 수질 개선이 필요하다.

본 연구는 우리나라 기타 수계 최초로 시행된 TPLMS에 따른 진위천 단위유역의 2020년 목표 수질을 수립하기 위해 유량과 수질을 종합적으로 고려한 물 환경 특성을 파악할 필요가 있다고 판단하였다. 진위천 단위유역의 유량 및 수질 특성을 정확히 파악하고 지류 하천을 대상으로 통계분석을 활용한 주요 요인을 파악하였다. 그리고 오염부하량과 오염부하량 밀도를 파악 후 기여율을 분석하였으며 하천 등급화 방법을 이용한 중점관리가 필요한 총량지점을 선정하여 개선 방안을 제시하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 대상 유역

진위천은 한강권역 안성천 수계로 유입하는 하천이며 TPLMS 대상 지역이며 오산천, 황구지천, 성은천, 관리천 등을 지류로 하고 있으며 유역면적은 734.29 km²이다. 토지이용 현황은 2012년 기준으로 전(Upland) 8.9%, 답(Paddy) 19.1%, 대지(Site area) 23.2%, 임야(Forest) 35.6%, 기타(Others) 13.2%로 임야를 제외한 도시·농촌 복합지역이다(Han et al. 2014a). 진위천 TPLMS 유역구간은 진위천과 오산천 및 황구지천의 발원지부터 안성천 합류점 전까지이며 유역으로 정의되는 경기도 평택시 궁안교에 위치한 진위A 단위유역이다. 대상 유역의 상류 지역은 인구가 많고 시가지가 집중되어 있으며, 하류 지역은 농경지와 축산 등이 집중되어 있다. 본 연구지점은 진위천 TPLMS 총량지점과 동일하며 유량 및 수질 모니터링 지점을 Figure 1에 나타냈다. 2013년 환경부가 진위천 유역 수질오염총량관리 기본계획을 승인함에 따라 군포시, 의왕시, 수원시, 용인시, 화성시, 오산시, 평택시, 안성시 등 경기도 8개 지자체를 대상으로 TPLMS가 실시되었다. 용인시가 200.71 km²의 유역면적을 차지하고 있으며 지자체

Table 1. Area of 8 city in the Jinwi River basin

City	Gunpo	Uiwang	Suwon	Yongin	Hwaseong	Osan	Pyeongtaek
Area (Km ²)	4.17	10.78	121.05	200.71	177.55	42.77	142.55
Ratio (%)	11.4	20.0	100	33.9	25.8	100	31.5

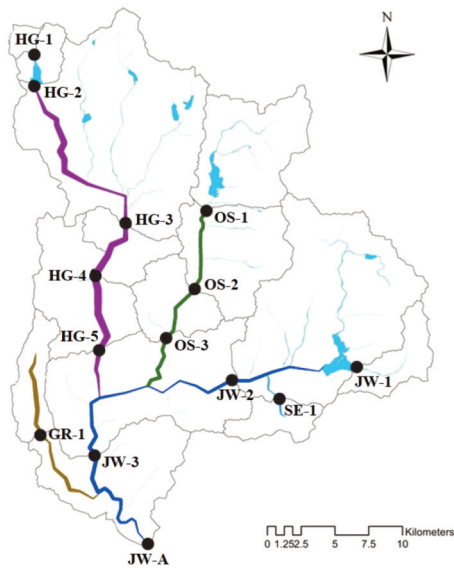


Figure 1. Sampling locations for discharge and water quality monitoring in the Jinwi River unit basin. Jinwi River (JW-1, JW-2, JW-3, JW-A), Seongeun River (SE-1), Osan River (OS-1, OS-2, OS-2), Hwangguji River (H-1, HG-2, HG-3, HG-4, HG-5), Gwanri River (GR-1).

별 진위A 단위유역의 점유율은 수원시와 오산시가 100%로 나타났다(Table 1).

2. 유량측정 및 수질분석

본 연구를 위한 조사 기간은 2014년 1월부터 2016년 12월까지이며 3년 동안 평균 8일 간격으로 연간 36회 이상 유량(Discharge)과 수질을 모니터링 하였다. 유량측정은 현장 상황과 수심 및 유속 등을 고려하여 측정자가 안전하고 정확하게 측정하는 방법(도섭법, 교량법, 횡측선법)을 선택하였으며 측정기기는 음향 도플러 유속계(Acoustic Doppler Velocimeter, ADV)와 초음파 유속분포 측정기(Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)를 사용하였다. ADV 유속 측정은 0.2 m/sec 이하인 경우 120초 이상 측정, 0.2

m/sec 초과인 경우 40초 이상 측정하였다(Minister of Land, Infrastructure and Transport 2004). ADCP 유량측정은 평균수위에서 4회 측정하였으며 유량 편차가 5% 이상일 경우에는 8회 측정하였다. 수질은 현장에서 다항목 수질 측정기기(YSI 660 XML, USA)로 수온(Water Temperature, WT), 수소이온농도(pH), 전기전도도(Electrical Conductivity, EC), 용존산소(Dissolves Oxygen, DO) 등을 측정하였으며 실험실에서 생물화학적 산소요구량(Bio-chemical Oxygen Demand, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD), 부유물질(Suspended Solid, SS), 총질소(Total Nitrogen, TN), 총인(Total Phosphate, TP), 총유기탄소(Total Organic Carbon, TOC) 등을 환경부 수질오염 공정 시험기준에 따라 분석하였다(Ministry of Environment 2016).

3. 데이터의 통계분석

하천의 수질해석을 객관적으로 평가하기 위해 신뢰성이 높은 SPSS (Statistical Package for the Social Science win 22.0 ver)라고 하는 통계 소프트웨어를 이용하여 통계분석(Statistics Analysis)을 수행 후 도출된 결과를 해석하였다. 통계분석을 수행하기 전 월평균 유량 자료 및 수질 항목 10개 자료에 대하여 평균은 0이고 표준편차가 1인 무차원수 데이터로 변경하기 위한 정규화(Normalization)를 거친 표준점수(Z-Score)를 산정하여 통계분석에 적용하였다. 진위천에 유입하는 지류 하천의 수질특성 및 주요 요인을 파악하기 위하여 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)을 수행하였다. PCA는 변수 간의 상관관계가 있는 다차원의 데이터를 차원을 축소하여 복잡한 원 자료의 변수 보다 같거나 적은 변수들을 이용하여 자료를 해석할 수 있다(Yoo et al, 2010; Kim et al, 2016). PCA의 적용성을 알아보기

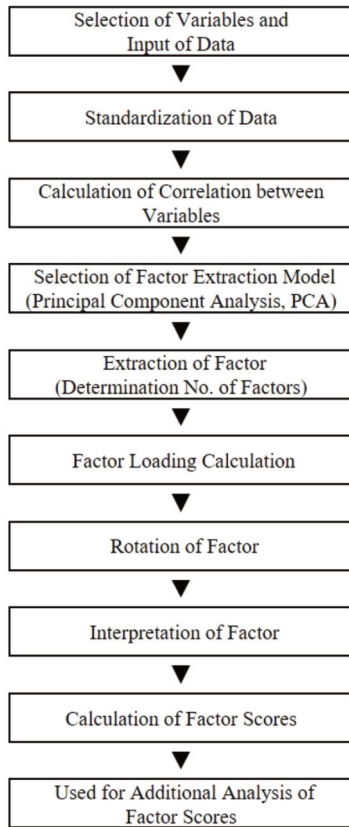


Figure 2. Process of principal component analysis (PCA).

위하여 Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)와 Bartlett's 검정을 수행하였으며 PCA의 분석과정을 Figure 2에 제시하였다.

4. 유달부하량과 유달부하 밀도 산정

해당 유역 하천의 효율적인 수질 관리를 위해서는 하천으로 유입되는 오염원으로부터 배출부하량과 하천 말단까지 도달한 유달부하량에 대한 거동 규명의 정량화가 필요하다(Jung et al., 2016). 또한 오염물질의 거동분석, 유량-수질의 상관성 분석, 수질 모형화의 입력 자료를 구축하기 위해서는 동일지점, 동일시간에 유량과 수질을 동시에 측정해야 한다(Park & Rhee 2014). 이에 따라 본 연구에서는 진위천 단위유역 14개 총량 지점에 대하여 유량과 수질을 측정된 자료를 바탕으로 식 (1)을 사용하여 유달부하량(kg/day)을 산정하였다.

$$\text{Delivery load (kg/day)} = \text{Discharge (m}^3/\text{sec)} \times \text{Water Quality (mg/L)} \times 86.4 \quad (1)$$

그리고 유역면적에 따른 오염 부하를 알아보고자 유달부하량에 대한 총량 지점의 유역면적을 나누어 유달부하 밀도(kg/day/km²)를 산정하였다. Jung et al.(2013)은 유달부하 밀도는 하천 수질에 잠재력과 직접적인 영향을 주는 인자로 유역면적당 오염 부하가 크면 수질 오염도가 증가한다고 보고하였다.

5. 수질 개선 등급화를 위한 방법

일반적인 하천 등급화 방법은 갈수기의 기준유량 또는 건전한 수생태계 기능을 확보하기 위한 하천의 최소 유지 유량 0.1 m³/s을 결정할 수 있는 표준적인 방법을 적용하고, 수질은 갈수기의 평균 수질을 사용한다(Lim et al. 2010). 본 연구에서는 진위천에 유입하는 총량 지점의 수질 개선 대상 우선순위를 선정하기 위한 등급화 방안으로 유량과 BOD 항목으로 오염물질 현황을 파악 후 4개의 그룹으로 분류하였다. 분류 방법은 X축에 수질 항목 BOD와 Y축에 유량을 로그(log) 형태로 나타내어 X축과 Y축의 교차지점 기준으로 유역 현황을 파악하였다. 하천 등급화 기준은 X축에 진위A의 하천 생활환경 기준 IV 등급(약간 나쁨)인 BOD 목표 수질 6.6 mg/L 기준이며 지류 하천의 평균 유량 3.3 m³/s을 교차하도록 하였다. 이를 바탕으로 BOD와 유량에 따른 A등급에서 D등급까지 4개의 그룹으로 분류하여 수질 개선이 필요한 총량 지점을 선정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 유량측정 성과의 평가

진위A 단위유역의 평균 유량 범위는 0.090~22.411 m³/s로 나타났으며 총량 지점의 평균 유량 5.1 m³/s 이상인 지점은 황구지천의 HG-3, HG-4, HG-5 지점, 진위천의 JW-3, JW-A 지점 등으로 나타났다. HG-3 지점은 수원시 하수처리장의 인위적인 영향으로 평균 유량 8.973 m³/s로 매회 평균 이상으로 유량 흐름 조건을 유지하였으며 SE-1 지점은 평균 유량 0.090 m³/s로 나타나 건전한 수생태계

Table 2. Analysis of water flow measurement result data by year (2014-2016)

Site's Name	Ratio of water surface (m)			Number of Verticals (N)			Maximum section discharge rate (%)			Uncertainty (%)		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
JW-1	5.3	4.3	4.2	16	20	22	13.4	10.1	9.1	9.1	7.7	7.5
SE-1	2.9	3.0	3.6	10	17	19	19.7	14.5	11.8	12.7	10.0	9.4
JW-2	10.6	9.6	8.1	22	27	24	10.2	7.1	7.8	6.6	5.4	5.9
OS-1	11.8	14.7	14.4	23	33	33	10.9	6.4	6.9	6.6	4.5	4.6
OS-2	27.6	28.0	-	31	33	-	5.3	5.2	-	5.2	4.8	-
OS-3	20.6	45.1	48.6	35	38	38	6.4	5.9	5.5	4.0	4.0	3.8
HG-1	7.2	7.9	8.0	18	24	25	10.7	8.3	7.5	8.1	7.5	7.1
HG-2	4.7	8.2	8.5	13	20	23	13.6	11.4	10.1	9.3	7.8	7.9
HG-5	47.3	48.9	50.6	32	33	33	5.6	5.5	5.4	4.2	4.1	4.1
GR-1	7.2	9.3	8.3	17	23	24	15.2	9.9	7.8	9.1	6.4	6.1

기능을 확보하기 위한 하천의 최소 유지 유량 0.1 m³/s 이하로 나타나 수량 확보가 필요한 총량 지점으로 판단된다.

유량측정 성과 자료의 신뢰성 제고를 위하여 수면 폭에 따른 측선 수, 최대구간유량비, 불확도 등을 국제 표준화 기구 (International Organization for Standardization, ISO 748)와 미국지질조사국 (United States Geological Survey, USGS 1992) 등 유량측정기준에 근거하여 분석하여 Table 2에 나타냈다. 지점의 특성상 도섭법 측정이 불가하여 ADCP를 사용하는 HG-3, HG-4, JW-3, JW-A 등 4개 지점에 대해서는 현재까지 국내에서 ADCP 유량측정 성과 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 평가 대상에서 제외하였다. ISO 748에는 평균 10 m 미만의 수면 폭을 가진 측선 수 기준은 20개 미만의 측선수를 확보하는 것으로 제시하고 있으나 본 연구에서는 정확하고 고품질의 유량 자료를 산출하기 위하여 수면 폭에 따른 측선 수를 증가하여 유량측정을 하였다. 그 결과 2014년 평균 22개의 측선 수에서 2016년 평균 27개의 측선 수를 배치하여 1.2배 이상 증가하였다. 측선 수 증가로 최대구간유량비와 불확도는 매년 낮아지는 것으로 나타나 유량 자료 품질향상에도 기여하는 것으로 나타났다. 그러나 수면 폭이 작은 소하천의 경우 측선 수의 최대 배치의 한계가 있어 최대구간유량비와 불확도의 기준을 적용하기가 어렵다. USGS에서 불확도는 유량측정 성과의 품질 등급을

개선하고 유량 품질관리(Quality Control)에 활용되었으나 최근에는 유량측정 자료의 신뢰성을 평가하는 절대적인 의미는 없다고 하였다. 향후 하천의 규모 따른 유량측정 방법 개선 및 유량측정 기준이 마련된다면 하천에 효율적인 유량측정 및 품질 높은 유량 자료를 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 진위천 단위유역의 수질 평가

진위천 단위유역의 14개 총량 지점을 대상으로 수질 항목에 대한 산술평균 자료를 Table 3에 나타냈으며 BOD, COD, SS, TN, TP, TOC 등 6개 항목에 대한 월평균 자료의 분포를 Box Plot으로 Figure 3에 나타냈다. 진위천 상류에 있는 JW-1 지점은 평균 BOD 0.8 mg/L로 수질 환경기준 Ia(매우 좋음) 등급, JW-2 지점은 평균 BOD 1.5 mg/L로 수질 환경기준 Ib(좋음) 등급으로 나타났으나 오산천과 황구지천 합류 후인 JW-3 지점은 평균 BOD 5.7 mg/L로 수질 환경기준 IV(약간 나쁨) 등급으로 나타났으며 말단 지점인 JW-A 지점은 평균 SS 20.9 mg/L, 평균 BOD 6.8 mg/L로 수질 환경기준 IV(약간 나쁨) 등급으로 나타났다. Park et al (2017)은 수질부하곡선식을 이용한 진위천의 말단 지점의 수질 초과에 기여하는 지류를 분석한 결과 황구지천, 오산천, 진위천 지류가 합류되는 진위A 지점에서 수질의 41% 정도가 목표 수질을 초과하고 있으며 황구지천 지류와 오산천 중·하류에 대한 지류가 진위천 말단 지점의

Table 3. Average concentration of water quality data in the monitoring sites (2014-2016)

Site's Name	Analysis N	Discharge (m ³ /s)	WT (°C)	pH	EC (μS/cm)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TOC (mg/L)
JW-1	114	0.115	14.3	7.9	244	11.1	0.8	3.4	2.6	1.862	0.025	2.1
SE-1	116	0.090	15.1	7.6	377	10.7	2.2	5.2	5.8	2.264	0.063	3.5
JW-2	116	0.915	17.0	7.9	315	12.1	1.5	4.7	6.6	2.245	0.055	3.1
OS-1	116	1.115	20.1	7.6	2057	9.8	2.0	7.1	8.4	8.982	0.177	5.0
OS-2	116	1.966	18.0	7.8	1362	10.9	2.6	6.4	16.1	6.203	0.239	4.5
OS-3	116	3.626	19.6	7.5	1089	9.8	6.5	9.6	12.1	10.264	0.604	6.7
HG-1	116	0.108	18.0	7.6	558	10.3	3.4	7.1	9.5	9.779	0.211	5.2
HG-2	45	0.357	14.7	8.4	424	10.7	7.5	14.6	24.6	3.795	0.138	6.8
HG-3	116	8.973	20.3	7.4	1220	8.3	7.4	10.4	15.0	9.062	0.604	6.9
HG-4	115	8.825	19.5	7.4	1451	8.1	5.9	9.7	11.6	8.448	0.617	6.8
HG-5	115	7.361	19.1	7.7	1219	10.0	5.7	9.9	14.0	8.639	0.569	6.9
JW-3	115	15.187	17.6	7.7	1122	10.1	5.7	10.0	16.8	8.198	0.497	6.9
GR-1	116	0.575	17.4	7.8	613	10.2	5.4	9.6	19.3	5.769	0.266	6.6
JW-A	112	22.411	16.3	7.8	1057	9.4	6.8	11.4	20.9	8.117	0.489	7.8

BOD 목표 수질 초과에 상당한 기여를 하고 있는 것으로 판단한다고 보고하였다. 오산천 상류에 있는 OS-1, OS-2 지점은 기흥저수지의 방류수와 공장단지 배출수의 영향을 받아 비슷한 수질 농도를 나타냈고 하류에 있는 OS-3 지점은 시가지와 대규모 공공하수처리시설이 있어 평균 BOD 6.5 mg/L로 수질

환경기준 IV(약간 나쁨) 등급, 평균 TP 0.604 mg/L로 수질 환경기준 VI(매우 나쁨) 등급으로 나타나 유기물과 영양염류 지표 항목에서 높은 농도의 수질을 나타냈다. 황구지천의 HG-2 지점은 평균 SS 24.6 mg/L, 평균 COD 14.6 mg/L로 수질 환경기준 VI(매우 나쁨) 등급으로 나타나 높은 수질을 나타냈으며

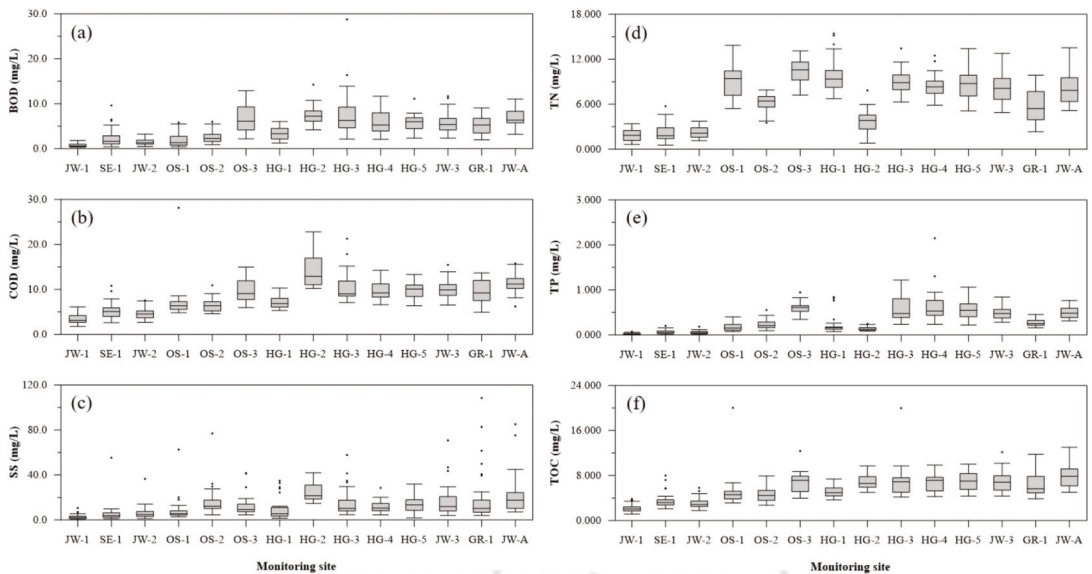


Figure 3. Statistical analysis of water quality of monitoring site's in Jinwi River using the box Plot (a) BOD, (b) COD, (c) SS, (d) TN, (e) TP, (f) TOC.

수질 농도의 변동 폭도 큰 것으로 나타났다. 이러한 이유는 HG-2 지점은 왕송 저수지 수문 방류구 80 m 하류에 있어 방류수의 직접 영향을 받으며 저·갈 수기에 수문 조작 여부에 따라 조류 및 수생식물의 증식으로 인한 내부생산이 증가한 유기오염물질들이 수문개방으로 방류구를 통해 유출되면서 수질에 영향을 미치는 것으로 판단된다. HG-3 지점은 평균 BOD 7.4 mg/L로 수질 환경기준 IV(약간 나쁨) 등급, 평균 TP 0.604 mg/L로 수질 환경기준 VI(매우 나쁨) 등급으로 높게 나타났다. 이러한 이유는 유역에 위치한 대규모 공공하수처리시설(시설용량 520,000 m³/day)과 분뇨처리시설(시설용량 500 m³/day)의 영향으로 판단된다(Ministry of Environment 2016). SE-1 지점은 모든 항목에서 양호한 수질을 나타냈으며 GR-1 지점은 평균 COD 5.4 mg/L로 수질 환경기준 V(나쁨) 등급을 나타냈다.

3. 주성분 분석 결과

진위천 본류의 유량과 수질에 영향을 미치는 오산천, 황구지천, 성은천, 관리천 등 지류 하천을 대상으로 주요 요인을 파악하기 위해 PCA를 수행하였다. 주성분 분석의 적용성을 알아보기 위하여 표본 적합

도 검증 방법 KMO test와 단위행렬 검증 Bartlett's test를 실시하였다. 진위천 지류 하천을 대상으로 KMO test 결과 0.5 이상으로 적용성이 높은 것으로 분석되었으며 Bartlett's test 결과 0.000(p<0.05)으로 분석되어 유의성이 높은 것으로 나타났다. 직각 회전 Varimax 방법을 이용한 회전 후의 주성분 로딩 값 결과를 Table 4에 나타냈다. PCA는 공분산 행렬의 고유 벡터 분해를 사용하여 데이터의 최대 차원 값을 PC1, PC2, PC3 순으로 나타낸다. 또한 PCA의 요인을 설명하기 위한 인자는 Kim et al.(2007)의 선행 연구 결과에서 하천 유역의 환경 특성을 고려하여 유기오염 요인(BOD, COD, EC), 영양염류오염 요인(TP, TN), 계절적인 요인(수온, SS, TP), 하천물질대사 요인(pH, DO) 등으로 설명인자를 기본으로 하였다.

PCA 결과 성은천은 3개의 주성분으로 전체 수질의 74.854%를 설명할 수 있다. PC1은 COD, TOC, BOD로 분류되어 생활하수에 의한 유기오염 간접지표의 요인으로 해석할 수 있다. PC2는 TP, 유량, TN, EC로 분류되어 인근의 축산폐수와 산업폐수에 기인하는 요인으로 해석할 수 있다. PC3는 DO, 수온, pH, SS로 분류되어 계절적인 요인이 수질에 관련이 있음을 나타냈다. 오산천은 4개의 주성분으로

Table 4. Comparison of loading values rotated component matrix

Variable	Seongeun River			Osan River				Hwangguji River			Gwanri River		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC4	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
Discharge	-0.129	0.845	-0.229	0.261	0.122	0.898	-0.058	0.206	0.643	0.434	0.385	-0.021	0.856
WT	-0.351	0.193	-0.718	-0.094	0.919	-0.123	0.090	-0.105	-0.051	0.903	0.940	0.185	0.089
pH	-0.294	0.052	0.660	0.009	-0.496	-0.171	-0.711	0.095	-0.832	-0.002	0.365	0.370	-0.317
EC	0.053	-0.707	0.312	-0.118	0.528	-0.743	0.202	-0.057	0.783	0.053	0.306	0.705	-0.470
DO	0.155	-0.239	0.902	0.083	-0.947	-0.037	-0.143	-0.114	-0.351	-0.825	-0.918	-0.095	-0.190
BOD	0.889	-0.080	0.120	0.609	-0.330	0.515	0.345	0.913	0.191	-0.099	-0.365	0.810	0.241
COD	0.945	0.041	-0.083	0.940	-0.110	0.182	0.110	0.890	-0.220	0.141	0.306	0.838	0.299
SS	0.291	0.354	0.604	0.620	0.262	0.276	-0.583	0.784	-0.256	0.182	0.290	0.236	0.863
TN	0.019	0.759	0.351	0.179	0.155	-0.042	0.922	-0.291	0.641	-0.500	-0.967	0.015	-0.050
TP	0.196	0.911	0.069	0.245	0.033	0.709	0.529	0.416	0.666	0.240	-0.256	0.348	0.807
TOC	0.908	0.103	0.244	0.941	-0.108	0.164	0.060	0.833	0.263	-0.082	0.114	0.825	0.224
% of Variance	26.219	26.009	22.626	24.664	22.801	20.993	19.834	29.743	26.525	18.768	31.159	26.312	24.492
KMO test	0.566			0.678				0.678			0.663		

Extraction method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization

Table 5. Daily delivery load in the tributaries Jinwi River

Tributary (River)	Site's Name	BOD (kg/day)	Ratio (%)	COD (kg/day)	Ratio (%)	TN (kg/day)	Ratio (%)	TP (kg/day)	Ratio (%)
Seongeun	SE-1	17.2	0.1	44.7	0.2	26.7	0.1	1.0	0.1
Osan	OS-1	237.0	1.3	847.0	3.0	780.8	3.3	16.5	1.0
	OS-2	476.3	2.6	1,080.4	3.8	952.6	4.0	41.7	2.6
	OS-3	2,185.6	11.8	3,008.0	10.6	2,940.1	12.5	182.2	11.3
Hwangguji	HG-1	35.9	0.2	74.8	0.3	70.2	0.3	2.7	0.2
	HG-2	236.5	1.3	471.0	1.7	104.2	0.4	4.2	0.3
	HG-3	6,470.4	34.8	8,422.1	29.6	6,846.7	29.0	488.4	30.3
	HG-4	4,847.3	26.1	7,530.4	26.4	6,398.9	27.1	491.8	30.5
	HG-5	3,708.6	20.0	6,316.7	22.2	5,236.4	22.2	353.3	21.9
Gwanri	GR-1	359.2	1.9	691.6	2.4	221.1	0.9	29.3	1.8

전체 수질의 88.292%를 설명할 수 있다. PC1은 TOC, COD, SS, BOD로 분류되어 인근 도시구간의 생활폐수의 유입으로 인한 유기오염 간접지표의 요인으로 해석할 수 있다. PC2는 DO와 수온 항목에서 요인 부하량이 높게 나타나 계절적인 요인으로 해석할 수 있으며 PC3는 공장단지의 산업폐수에 의한 인위적인 요인으로 유량과 EC에서 요인 부하량이 높게 나타났다. PC4은 TN, pH에서 요인 부하량이 높게 나타나 무기오염 물질 및 하천 내 물질대사 요인이 수질에 관련이 있음을 나타냈다. 황구지천은 3개의 주성분으로 전체 수질의 75.036%를 설명할 수 있다. PC1은 BOD, COD, TOC, SS로 분류되어 황구지천 상류에 위치한 왕송저수지의 방류수와 공공하수처리장의 방류수에 영향으로 유기오염 간접지표 요인이 수질에 관련이 있음을 판단된다. PC2는 pH, EC, TP, TN, 유량으로 분류되어 양염류 간접지표 및 하천 내 물질대사 요인으로 해석할 수 있다. 이러한 이유는 황구지천에 위치한 대규모 공공하수처리시설의 방류수에 인위적인 영향으로 판단된다. PC3은 수온, DO로 분류되어 계절적인 요인이 수질에 관련이 있음을 나타냈다. 관리천은 3개의 주성분으로 전체 수질의 81.963%를 설명할 수 있다. PC1은 TN, 수온, DO로 분류되어 질소계열 물질 및 계절적인 요인, PC2는 COD, TOC, BOD, EC, pH로 분류되어 유기오염 간접지표 및 하천 내 물질대사 요인, PC3은 SS, 유량, TP로 분류되어 인계열 물질 및 계절적인 요인

이 수질에 관련이 있음을 나타냈다.

4. 유달부하량 및 유달부하 밀도 산정

진위천은 지류 하천인 오산천, 황구지천, 성은천, 관리천 등으로부터 유기오염물질과 N, P의 유입으로 수질에 영향을 받을 수 있다. Table 5는 진위천 본류에 유입하는 지류 하천의 유달부하량과 기여율을 나타냈다. 유달부하량이 낮게 나타난 지점은 SE-1 지점으로 17.2 BOD kg/day, 44.7 COD kg/day, 26.7 TN kg/day, 1.0 TP kg/day로 나타났으며 유달부하량이 높게 나타난 지점은 HG-3 지점으로 6,470.4 BOD kg/day, 8,422.1 COD kg/day, 6,846.7 TN kg/day로 높은 유달부하량을 나타냈다. HG-3 지점은 공공하수처리시설에서 배출하는 방류량이 하천 유량을 차지하고 있어 점오염원의 영향을 받았을 것으로 판단된다. Park et al.(2017)은 BOD 및 TP 배출부하량의 경우 공공하수처리시설이 포함된 유역에서 배출부하량이 가장 높게 나타났다고 보고하였다. 오산천은 상류 OS-1 지점부터 하류 OS-3 지점으로 유하 하면서 BOD, COD, TN, TP의 유달부하량이 증가하였다. 하지만 황구지천은 상류 HG-1 지점부터 중류 HG-3 지점으로 가면서 BOD, COD, TN, TP의 유달부하량이 증가하다가 HG-3 지점부터 하류 HG-5 지점으로 가면서 BOD, COD, TN의 유달부하량이 감소하는 특징을 나타냈다. 진위천에 유입하는 지류 하천의 기여율은 황구지천(82.4%), 오산

Table 6. Daily delivery density in the tributaries Jinwi River

Tributary (River)	Site's Name	Area (km ²)	BOD (kg/day/km ²)	Ratio (%)	COD (kg/day/km ²)	Ratio (%)	TN (kg/day/km ²)	Ratio (%)	TP (kg/day/km ²)	Ratio (%)
Seongeun	SE-1	15.57	1.1	0.2	2.9	0.4	1.7	0.3	0.1	0.2
Osan	OS-1	57.16	4.1	0.9	14.8	1.9	13.7	2.2	0.3	0.7
	OS-2	52.89	9.0	1.9	20.4	2.7	18.0	2.9	0.8	1.9
	OS-3	27.23	80.3	16.9	110.5	14.5	108.0	17.6	6.7	15.7
Hwangguji	HG-1	4.23	8.5	1.8	17.7	2.3	16.6	2.7	0.6	1.5
	HG-2	10.93	21.6	4.5	43.1	5.7	9.5	1.6	0.4	0.9
	HG-3	154.47	41.9	8.8	54.5	7.2	44.3	7.2	3.2	7.4
	HG-4	21.94	220.9	46.4	343.2	45.1	291.7	47.5	22.4	52.6
	HG-5	52.46	70.7	14.9	120.4	15.8	99.8	16.3	6.7	15.8
Gwanri	GR-1	20.50	17.5	3.7	33.7	4.4	10.8	1.8	1.4	3.4

천(15.6%), 관리천(1.9%), 성은천(0.1%) 순으로 나타났다. 특히 황구지천 HG-3 지점 유달부하량 기여율이 BOD(34.8%), COD(29.6%), TN(29.0%), TP (30.3%)로 높게 나타났다. Chung et al.(2013)은 진위천 상류에서 하류로 이동함에 따라 유입 지류에 의한 수질 오염도가 증가 및 유달부하량이 증가하여 유입 지류에 대한 제어가 필요하다고 하였다.

진위천 단위유역 총량 지점의 수질오염 잠재력을 알아보기 위하여 유달부하 밀도와 기여율을 산정하여 Table 6에 나타냈다. 유달부하 밀도 산정 결과 HG-4 지점에서 220.9 BOD kg/day/km², 22.4 TP kg/day/km²로 매우 높은 유달부하 밀도를 나타냈다. Yoon et al.(2002)는 단위면적당 유달부하량이 커지면 수질 오염도가 증가한다고 보고하였으며 Na et al.(2015) 또한 유달부하 밀도는 수질오염의 잠재력을 나타내는 지표로 단위면적당 오염물질 부하가 높아지면 수질오염도 역시 증가함을 의미한다고 보고하였다.

5. 하천 등급화 방법을 이용한 수질 개선 우선순위 선정

하천 수질을 개선하기 위해서는 수질 개선이 필요한 하천유역을 선정하여 적합한 목표 수질을 시행할 수 있으며 지역별 특성을 고려한 수질 개선방안이 수립·시행되어야 한다. 이를 위해서는 유량 및 수질 모니터링 결과에 기초한 하천 등급화 방법이 시행되어야 한다(Na et al, 2015). Figure 4는 유량과 유기

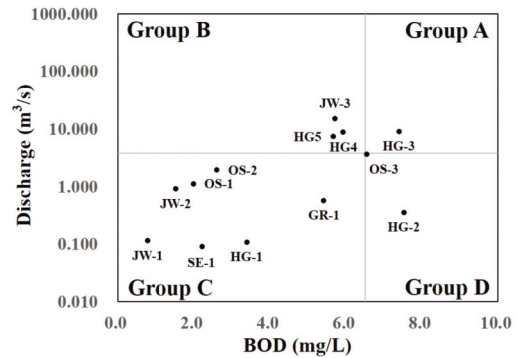


Figure 4. Grade classification results according to water quality and discharge.

염물질 지표 항목인 BOD를 기준으로 진위천의 총량 지점의 수질 개선 우선순위를 선정하고자 하천 등급화 결과를 나타냈다.

Group A는 하천에 유량이 많고 유기오염물질 농도가 높아 수질 개선 대책이 우선으로 필요한 지점으로 HG-3 지점으로 나타났다. Group B는 평균 유량을 유지하면서 낮은 유기오염물질 농도를 나타내는 물 환경 관리 측면에서 양호한 지점으로 HG-4, HG-5 지점, 오산천의 OS-3 지점으로 나타났다. Group C는 수질 측면보다는 평상시 평균 유량을 유지할 수 없어 수량(Water Flow) 확보에 관심을 기울여야 할 지점으로 SE-1, OS-1, OS-2, HG-1, GR-1 지점으로 나타났다. Group D는 평상시 유량이 적고 유기오염물질의 농도가 높아 수질 개선대책 및 수량 확보에도 관심을 기울여야 할 총량 지점으로

HG-2 지점으로 나타났다. 특히 황구지천의 HG-4, HG-5 지점은 유달부하량과 유달부하 밀도가 높게 산정되었으나 물 환경 관리 측면에서 양호한 지점으로 오염잠재력이 낮은 것으로 판단된다. Jung et al.(2016)은 유역의 특성이 고려되지 않은 유달부하량이 직접적인 수질 악화를 의미하지 않는다고 보고하였으며 Yoon et al.(2006)은 유달부하량에 따른 하천의 수질을 판단하기 위해서는 깊이 있는 연구가 필요하다고 보고하였다. 하천 등급화 방법을 이용한 중점관리가 우선으로 필요한 총량 지점은 황구지천의 HG-3 지점으로 오염원 조사 및 수질 관리방안이 제시되어야 할 것으로 판단된다. Park et al.(2017)은 진위천 유역에서 지류 하천인 황구지천의 집중 관리가 선행되어야 하며 황구지천 중류 구간에서 추가적으로 비점산감 계획이 필요하다고 보고하였다.

IV. 결론

본 연구는 진위천 단위유역의 유량 및 수질 특성을 정확히 파악하고 단위유역의 목표수질을 달성하기 위한 수질 개선 관리가 우선으로 필요한 총량지점을 선정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

진위천 단위유역의 유입 지천 중 황구지천의 유량이 32.8%를 차지하였으며 유출 특성은 아산만 배수갑문의 영향을 받는 진위천 하류에 위치한 총량 지점에서 유량 역전현상이 나타났으며 황구지천 중류에서 하류까지 유량 역전현상이 나타났다. 이러한 이유는 중류에 위치한 대규모 공공하수처리시설이 있어 인위적인 영향으로 유량이 급격히 증가하고 하류에 위치한 하천 시설물인 보(Weir, 안녕보, 발산보)와 양수장 등이 운영으로 인한 것으로 판단된다. 또한 수면 폭에 따른 측선 수 증가 배치, 최대구간유량비 및 불확도 등의 유량자료의 이상치 여부를 판별 및 보완하다면 품질 높은 유량자료를 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

진위천 단위유역 지류 하천의 수질 특성은 공간적 및 주변 환경 영향으로 수질 특성이 상이하게 나타났으며 수질 오염도는 황구지천, 오산천, 관리천, 성은천 순으로 나타났다. 황구지천은 상류에 위치한 왕송

저수지의 방류수와 공공하수처리시설의 영향으로 수질이 악화되는 것으로 판단된다. 오산천은 도시구간에 위치하고 있으며 생활하수의 유입으로 인한 수질에 영향을 주는 것으로 판단된다. 수질자료의 객관적인 해석을 위한 통계분석 결과 지류 하천에 따른 주요 요인이 상이하게 나타나 하천 유역의 환경특성 인자를 고려한 수질 개선 방안이 필요하다고 판단된다.

효율적인 수질관리를 위해서는 유달부하량에 대한 거동 규명의 정량화가 필요하며 황구지천의 공공하수처리시설에서 배출하는 방류량이 하천 유량을 차지하고 있는 지점에서 유달부하량 값이 높게 나타났다. 이러한 이유는 점오염원의 영향 및 유입 가능성이 높기 때문으로 판단된다. 진위천의 유달부하량 기여율은 황구지천(82.4%), 오산천(15.6%), 관리천(1.9%), 성은천(0.1%) 순으로 나타났다. 또한 진위천 단위유역 총량 지점 별 유달부하 밀도를 산정하여 비교 분석 하여 우선적으로 관리가 필요한 대상 지점을 선정하여 효율적인 수질관리 정책을 수립하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

하천 등급화 결과 진위천 유역에 수질개선을 위한 총량지점은 유량이 많고 유기오염물질이 높은 지점으로 나타났으며 이러한 하천 유역에 수질 개선을 위해서는 유역 내 오염원 저감을 위한 환경기초시설의 신설 및 확충이 필요하다고 판단되며 진위천 단위유역의 목표 수질을 관리하기 위해서는 지류 하천의 관리가 중요하다고 판단된다. 이러한 연구는 향후 하천 수질개선에 요구되는 의사결정의 기초자료로 활용될 수 있으며 진위천 유역 TPLMS 시행계획에 따른 정책수립과 이행평가에 필요한 자료와 방법을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(2018-03-03-002).

References

Cho BW, Choi JH, SJ, Kim YI. 2012. Selection

- priority of tributary catchments for improving water quality using stream grouping method. *Journal of Society on Water Environment*. 28(1): 813-818. [Korean Literature]
- Cho HK. 2011. A study on the related characteristics of discharge-water quality in Nakdong River. *Journal of the Environmental Sciences*. 20(3): 373-384. [Korean Literature]
- Choi OY, Kim HT, Seo HS, Han IS. 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. [Korean Literature]
- Choi YH, Kum DH, Ryu JC, Jang YH, Kim YS, Jeon JH, Kim KS, Lim KJ. 2015. A Study of total nitrogen pollutant load through baseflow analysis at the watershed. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 31(1): 55-66. [Korean Literature]
- Chung IY, Bang KC, Kim JH, Kwak SM, Lee DJ, Park SY, Yang HJ, Lee HJ. 2013. Characteristics of Water Quality and Delivered Pollutant Loading Evaluation to Jinwi Stream and Tributaries. *Korean Society of Water & Wastewater Conference*. 410-411. [Korean Literature]
- Han MD, Ahn KH, Ryu JC, Son JY, Park BK, Kim YS. 2014a. Evaluation of the Development and Reduction Scheme under Implementation Plan of Total Maximum Daily Loads in the Jinwi Watershed. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 36(6): 451-459. [Korean Literature]
- Han MD, Son JY, Ryu JC, Ahn KH, Kim YS. 2014b. The effects of pollutants into sub-basin on the water quality and loading of receiving streams. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 36(9): 648-658. [Korean Literature]
- ISO 748. 1979. Liquid flow measurement in open channels-velocity area methods : International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, International Standard Organization. pp. 23
- Jung KY, Ahn JM, Kim KS, Lee IJ, Yang DS. 2016. Evaluation of Water Quality Characteristics and Water Quality Improvement Grade Classification of Geumho River Tributaries. *Journal of Environmental Science International*. 25(6): 767-787. [Korean Literature]
- Jung KY, Kim GH, Lee JW, Lee IJ, Yoon JS, Lee KL, Im TH. 2013. Selection of priority management target tributary for effective watershed management in Nam-River Mid-watershed. *Journal of Korean Society Water Environment*. 29(4): 514-522. [Korean Literature]
- Jung SJ, Kim KS, Seo DJ, Kim JH, Lim BJ. 2013. Evaluation of Water Quality Characteristics and Grade Classification of Yeongsan River Tributaries. *Journal of Society on Water Environment*. 29(4): 504-513. [Korean Literature]
- Kim JH, Lee SW, Cha SM. 2016. *Environmental statistics & data analysis*. Hannarae publishing.
- Kim MA, Lee JK, Zoh KD. 2007. Evaluation of the Geum River by multivariate analysis: principal component analysis and factor analysis. *Journal of Korean Society on Water Environmental*. 23(1): 161-168. [Korean Literature]

- Kim YI, Yi SJ. 2011. Problems and Improvement Schemes of TMDL Implementation. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 33(6): 385-389. [Korean Literature]
- Lim BS, Cho BW, Kim YI, Kim DY. 2010. Application of Priority Order Selection Technique for Water Quality Improvement in Stream Watershed by Relationship of Flow and Water Quality. *Journal of Society on Water Environment Engineers*. 32(8): 802-808. [Korean Literature]
- Minister of Land, Infrastructure and Transport. 2004. Hydrological Observation Manual.
- Ministry of Environment. 2016. A Survey on water quality and flow for Total Maximum Daily Loads management in Jinwi Stream Basin in 2016.
- Na SM, Lim TH, Lee JY, Kwon HK, Cheon SU. 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. [Korean Literature]
- Park BK, Ryu JC, Na EH, Seo JY, Kim YS. 2017. Study on the Application of Spatial-analysis of Pollutants and Load Duration Curve for Efficient Implementation of TMDLs system. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 39(12): 655-663. [Korean Literature]
- Park JD, Kim JL, Rhew DH, Jung DI. 2010. A study on the water quality patterns of unit watersheds for the management of TMDLs. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 26(2): 279-288. [Korean Literature]
- Park JS, Rhee KH. 2014. Items and Indicators of Evaluation for Decision of Priority in Improving River Water Quality. *The Korea Spatial Planning Review*. 80: 83-100. [Korean Literature]
- Park SH, Moon EH, Choi JH, Cho BW, Kim HS, Jeong WH, Yi SJ, Kim Yi. 2011. Analysis of Distribution Characteristics of Flow rate and Water Quality in Tributary at Chungcheongnam-do. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 33(10): 739-747. [Korean Literature]
- Son YG, Na SM, Lm TH, Kim SH. 2017. Water Quality Analysis in Nakdong River Tributaries Using 2012-2016 Monitoring Data. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 33(6): 680-688. [Korean Literature]
- USGS. 1992. Determination of Error in Individual Discharge Measurement, Open-File Report pp. 92-144.
- Yoo JY, Choi MH, Kim TW. 2010. Spatial Analysis of Drought Characteristics in Korea Using Cluster Analysis. *Journal of Korea Water Resources Association*. 43(1): 15-24. [Korean Literature]
- Yoon YS, Hwang DJ, Park JM, Lim TH, Yang SY. 2002. Contribution of the Side Streams to the Contamination of Main Streams for the Nakdong River. *Korean Society of Water & Wastewater Conference*. 97-99. [Korean Literature]
- Yoon YS, Yu JJ, Kim MS, Lee HJ. 2006. Computation and assessment of delivery pollutant loads for the streams in the Nakdong River basin. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 22(2): 277-287. [Korean Literature]