Journal of Wetlands Research
Vol. 20, No. 2, May 2018, pp. 136-144

ISSN 1229-6031 (Print) / ISSN 2384-0056 (Online)
DOI https://doi.org/10.17663/JWR.2018.20.2.136

FDC 및 초과율을 이용한 청미천 유역에서의 오염원 추적

김연수·김상호†·이창희*

상지대학교 건설시스템공학과
*중원대학교 신재생에너지자원학과

Tracing Water Pollution Source using FDC and Exceedance Rate in Cheongmicheon Watershed

Kim, Yeon-Su·Kim, Sang-Ho†·Lee, Chang-Hee*

Department of Civil Engineering, Sangji University
**Department of Renewable Energy Resources, Jungwon University*
(Received : 10 April 2018, Revised: 01 May 2018, Accepted: 01 May 2018)

요 약

환경부에서는 유역단위의 통합 물관리를 위하여 물환경관리계획, 수질오염총량제 등을 실시하고 있으며, 측정망에서 측정된 수질을 이용하여 설정된 목표수질의 달성 정도를 판단하고 있다. 유역 하류부에 위치한 측정망의 지점에서의 수질 농도는 유역의 각 지류에서 오염원 유입과 하천의 자정작용 등의 복잡한 메커니즘을 거쳐서 만들어진 결과물이다. 이에 본 연구에서는 유역의 오염원 추적 및 초과율을 이용해 본류 및 지류의 수질이 목표수질 지점에 미치는 영향의 정도에 대하여 분석하였다. 이를 위해 오염총량제의 대상물질인 BOD와 T-P를 포함한 총 6가지의 수질항목에 대하여 FDC와 초과율 분석을 수행하였고, 이를 통해 목표수질 지점에 유황별 영향을 미치는 수질항목 및 지점을 도출할 수 있었다. 본 연구에서 제시한 FDC 분석을 통한 오염원 추적은 목표수질 달성을 위해 지류별 수질관리 전략을 보다 효율적으로 수립할 수 있을 것이다.

핵심용어 : FDC, 오염원추적, 초과율, 수질오염총량제

Abstract

The Ministry of the Environment conducts a water environment management plan and TMDL(Total Maximum Daily Load) for integrated watershed management, and determines whether the target water quality is achieved using water quality monitoring data. The concentration of monitoring points located in the downstream of the watershed is the outcome of complicated mechanisms such as influx of pollutants from the tributaries of the watershed and self-purification of river water. The purpose of this study is to analyze the effect of main stream and tributary water quality on the target water quality point using the water pollution source tracking and exceedance rate of watershed. In this study, FDC and exceedance rate analysis were performed on six water quality items including BOD and T-P, which are the targets of TMDL. Water quality items and points affecting the target water quality point were derived from flow rate. In this study, the pollution source tracking through FDC analysis and exceedance rate analysis will be able to establish more efficiently the water quality management strategy for each branch to achieve the target water quality.

Key words : FDC, Tracing Water Pollution Source, Exeedance Rate, TMDL

1. 서 론

우리나라의 연평균 강수량은 세계 평균 강수량 대비 약 1.6배 많지만 여름에 집중되는 강우로 실제 가용수량은 1인 기준 연 강수량의 58%에 불과하다. 또한 국토의 65%가 산악지형으로 홍수피해와 급격한 도시화와 산업화로 수질오염에 매우 취약하다. 이에 환경부에서 4대강 물관리종합대책(1998~2005)과 제1차 물환경관리 기본계획(2006~2015), 제2차 물환경관리 기본계획(2016~2025) 등에 따라 유역단위의 통합 물관리를 실시하고 있다(Ministry of Environment, 2015). 유역단위의 '물환경관리 기본계획'의 목표수질 달성을 위하여 중요한 정책적인 실행 수단으로서 수질오염총량제가 실시되고 있다. 현재 낙동강, 금강, 영산강·섬진강수계는 3단계 오염총량제(2016~2025)를 실시하고 있으며, 한강수계는 1단계 오염총량제(2013~2020)를 시행하고 있다. 관리대상 오염물질은 BOD와 T-P이며, 기준유량 적용에 BOD는 과거 10년간 평균 저수량, T-P는 과거 10년간 평균 저수량과 평수량 중 수질악화 조건에 맞는 수량을 적용하고 있다. 그러

† To whom correspondence should be addressed.
Department of Civil Engineering, Sangji University.
E-mail: kimsh@sangji.ac.kr

나 최근 환경부에서는 기존 BOD 중심의 유기물질 관리의 한계를 극복하기 위하여 환경기준 선진화의 일환으로 2021년까지 하천 수질 목표기준에 TOC의 도입과 호소뿐만이 아니라 하천의 생활환경 기준에도 질소항목 도입을 추진하는 경향을 보았을 때 BOD와 T-P만을 대상으로 목표수질을 설정하는데 한계가 있다(Ministry of Environment, 2015). 또한 수질오염총량제는 단위유역별 부하량 관리를 위해 목표수질을 설정하지만, 실제로 하천은 상류에서 하류까지 주변의 환경과 연속적인 상호작용을 통하여 영향을 받는 하나의 유기체로 볼 수 있기 때문에 단위유역별 목표수질 설정지점에 미치는 영향은 지류로부터 시작된다고 볼 수 있다. 이에 본 연구에서는 BOD와 T-P를 포함한 6가지 오염물질을 대상으로 FDC(Flow Duration Curve)와 유량등급별 평균수질농도 대비 오염수질농도의 초과율을 적용하여 오염원별 단위유역 말단과 본류에 대한 지류 오염원의 영향성을 분석하였다. 이와 관련된 선행 연구로는 Lee et al.(2008)은 금강 대권역을 중권역으로 구분하고 이에 대한 수질과 목표수질기준 달성도를 종합수질지표와 부영양화 지수를 통하여 분석하였다. 또한 통계학적 분석(상관분석)을 통하여 수질관측망의 10개년 수질자료를 바탕으로 수계별 오염원별 상관관계를 Pearson R계수를 통하여 변수 간의 관련된 정도를 파악하였다. 이와 함께 오염원 추적과 관련하여 오염물질의 상관관계를 분석한 연구(Kim et al., 2004; Yoon et al., 2007; Jeon et al., 2001)가 많이 진행되었는데, 유량규모에 따른 영향관계 규명이 없어 평수기, 저수기와 같이 유황별로 수질 목표를 정하여 운용되고 있는 수질오염총량관리제도에 적용하기에는 한계가 있다(Park et al., 2016). 한편 Park et al.(2016)은 금호강 유역에 대하여 FDC 분석을 이용하여 지류 및 본류 구간의 환경부 수질측정자료를 바탕으로 오염물질간의 영향정도에 대한 파악을 통해 단위유역 말단 수질에 미치는 오염원을 추적하였는데, FDC 분석을 통해 수질오염 원인을 보다 명확하게 규명하고 오염물질 추적의 한 도구로 사용될 수 있음을 나타낸 바 있다. 이에 본 연구에서는 청미천 유역의 측정자료를 이용하여 FDC와 초과율 분석을 통해 지류에서 유입된 오염원이 본류 및 단위유역 말단부에 위치한 목표수질 지점에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 환경부의 유량·수질 관측자료를 활용하였고, 8개 지류 하천에 대해서는 직접 유량과 수질을 측정하고 그 결과를 활용하였다.

2. 연구방법

2.1 대상유역

본 연구 대상유역은 남한강의 제 1지류인 청미천 유역으로 용인시에서 발원하여 안성시와 이천시를 통하여 Fig. 1과 같이 여주군 점동면 삼합리에서 남한강과 합류한다. 유역의 면적은 595.13 km^2, 유로연장은 60.69 km이며, 토지이용 형태는 임야 50.3%, 농경지는 31.5%를 차지한다(SIT, 2011). 수질오염총량제에서는 청미 A 단위유역에 해당되며, 청미천의 본류에서 수질과 유량자료가 모니터링되는

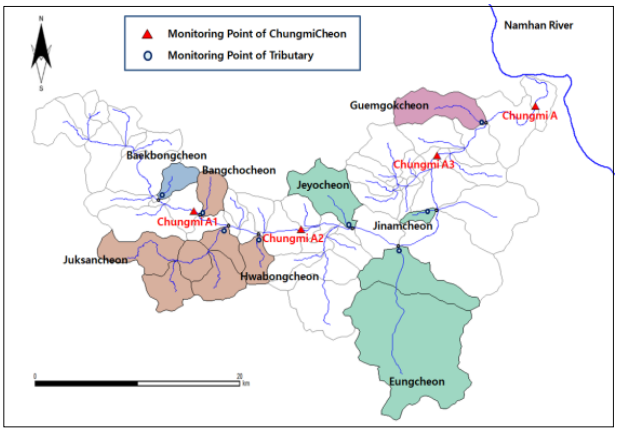


Fig. 1. Overview of the Chungmicheon Watershed

Table 1. Information of Reach and Tributary in the Chungmicheon Watershed

No.	Reach	Monitoring Tributaries
1	Upstream ~ Chungmi A1	Baekbongcheon
2	Chungmi A1 ~ Chungmi A2	Bangchocheon
		Juksancheon
		Hwabongcheon
3	Chungmi A2 ~ Chungmi A3	Jeyocheon
		Eungcheon
		Jinamcheon
4	Chungmi A3 ~ Chungmi A	Guemgokcheon

환경부의 물환경측정망 운영지점은 총량관리 단위유역 목표수질지점인 청미 A와 본류 내 일반총량측정망 3개소(청미 A1, 청미 A2, 청미 A3)가 Fig. 1과 Table 1과 같이 위치하고 있다.

측정이 이루어진 지류는 청미천 상류로부터 백봉천, 방초천, 죽산천, 화봉천, 제요천, 응천, 진암천, 금곡천 등 총 8개 지천으로써, 측정 위치는 청미천 본류로 합류되기 직전의 지천 말단 지점이며, 본류에 위치한 환경부 수질측정지점을 기준으로 구간을 구분하고, 각 지류의 오염원을 분석하였다.

2.2 수질 및 유량 자료 수집 및 분석

청미천 본류에 위치한 환경부의 물환경측정망 운영지점 자료와 연계하기 위해 8개 지류에 대해 2013년 6월부터 2015년 7월까지 2년 동안 매월 2~3회 주기적으로 측정하여 총 66회에 걸쳐 수질과 유량자료를 수집하였다. 지천별 말단에서 유속계(USGS type, Price cup 그리고 Pygmy Current meter)를 이용하여 도섭법으로 유속과 수심을 측정하고 중간단면적법으로 유량을 산정하였다. 수질분석은 수질측정장비(YSI MPS-556)을 사용하여 현장에서 온도, 용존산소량(DO), pH, 전기전도도(EC)를 측정하였으며, 수질오염공정시험기준(MOE, 2011)에 준하여 2L 무균채수병 및 40 ml 유리채취용기에 시료를 채수하고 현지에서 전처

리 후 생물화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총질소(T-N), 총인(T-P), 총유기탄소(TOC)등을 분석하였다.

2.3 FDC 분석

수질오염총량관리제를 위한 단계별 단위유역의 목표수질 평가를 위해서는 유량의 변화에 따른 수질평가가 이루어져야 한다. 이를 위해서 단위유역별로 유량의 변화를 분석하는 것이 필요하며, 전체 유량조건에 대한 유량의 변동성을 분석하기 위한 방법으로서 FDC 기법이 적용된다(Park et al., 2012). FDC는 대상 지점의 일 유량을 구한 후 유황별로 전체 일 유량조건에 대한 확률을 구한 것이다. 일반적으로 유황곡선의 작성을 위해서는 일단위의 유량측정자료가 필요하다. 일 유량 자료를 구하는 방법으로는 실제 1일 간격의 365일 연속적으로 측정된 일 유량 자료를 이용하는 방법, 유역의 모델링을 통한 일유량 모의법, 통계적인 방법을 이용한 일단위의 유량 산정법이 있으며, 이 가운데 실제 유량 모니터링을 통한 일 유량 추정방법이 가장 정확하다. 하지만 총량관리 단위유역에 위치한 측정망의 실측 데이터는 8일 간격으로 측정을 하고 있어 현실적으로 일 측정 자료를 적용하기에는 어려움이 있다(Park et al., 2012). 따라서 본 연구에서는 연구기간에 측정한 유량을 내림차순으로 정리한 후 가로축은 유량측정 일의 백분율의 값으로서 나타내었는데, 왼쪽 부분은 고유량을, 오른쪽은 저유량의 상태를 나타내었다(Park et al., 2016). 유황에 대한 구분은 우리나라의 경우 풍수량(Q95), 평수량(Q185), 저수량(Q275), 갈수량(Q355) 4등급으로 하고 있으며, U.S. EPA(2007)에서는 보다 더 세분화 한 5개 등급으로 하고 있으며(Cheong et al., 2016; Park et al., 2016), 본 연구에서는 더 세부적으로 군집화가 될 수 있는 U.S. EPA의 유황구분기준에 맞추어 Table 2와 같이 적용하였다.

Table 2. Flow Conditions of EPA

Percent Day of Flow Exceedance (%)	Indicator of Hydrologic Condition
0 – 10	High Flow
10 – 40	Moist Conditions
40 – 60	Mid-range Flows
60 – 90	Dry Conditions
90 – 100	Low Flows

2.4 초과율 산정

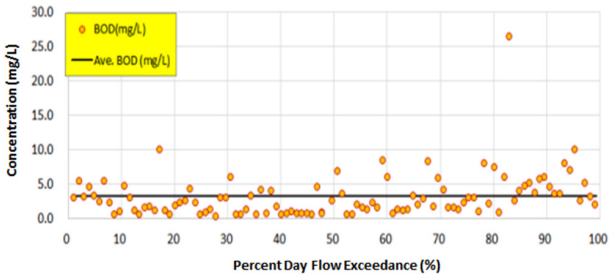
대상 단위유역에서의 수질측정망 지점과 본류의 구간별 수질측정망 지점에서의 수질 데이터가 사용되었으며, 각 지류의 말단에 위치한 수질 측정지점에서 관측한 수질 데이터가 사용되었다. 이 때 적용된 수질 데이터는 유황구분별 관측된 데이터들의 평균수질농도의 값이 사용되었으며, 단위유역의 High Flow 상태부터 Low Flows 상태까지 각 유량등급별 평균수질농도를 목표(Target)로 하여 각 지류의 평균수질농도를 비교대상(Comparison target)으로서 목표가 되는 농도 대비 초과되는 정도를 비율로 나타내기 위해 식 (1)을 이용하였다.

$$Exceedance\ Rate\ (Percent, \%) = \frac{Average\ Load(Comparison\ target - Target)}{Average\ Load\ (Target)} \times 100\% \quad (1)$$

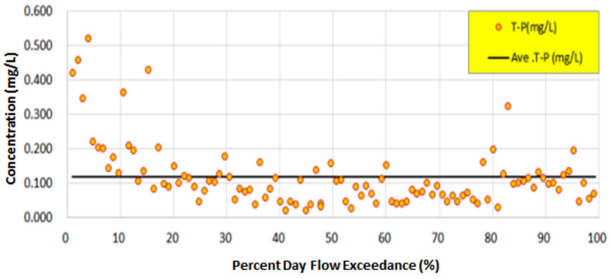
3. 오염원 분석

3.1 본류 수질에 대한 분석

청미천 본류의 청미 A1, 청미 A2, 청미 A3, 청미 A 측정지점에서의 2006년부터 2015년까지 10년 동안 관측된 수질데이터를 바탕으로 수질분석을 하였다. 유역 말단에 위치한 청미 A 측정망에서 관측된 데이터를 이용하여 Fig. 2에서와 같이 BOD와 T-P에 대한 FDC 분석 결과 오염총량제 대상물질인 BOD의 경우 저유량에서, T-P는 고유량에서 보다 높은 농도가 발생하는 것을 확인하였다. Fig. 3에서는 청미 A보다 상류에 위치한 수질측정지점들에 대해 유량등급별로 평균농도에 대한 관측된 값의 초과율을 비교한 결과를 보여주고 있다. BOD는 Dry Conditions과 Low Flows와 같은 저유량에서 보다 높은 초과율이 발생하였는데, 이는 하천의 유량이 적을 때는 점오염원의 영향이 크게 나타나기 때문이다. T-P의 경우 High Flow의 고유량인 경우 높은 초과율을 보이고 있었는데, 이는 큰 강우량이 발생할 때 비점오염원에 대한 영향이 크게 나타나기 때문이다. 또한 본류의 상류지점에서 하류지점으로 갈수록 수질 농도가 증가되는 양상을 보이고 있었는데, 이는 하류에 위치한 오염원이 영향을 크게 미치기 때문인 것으로 분석된다.

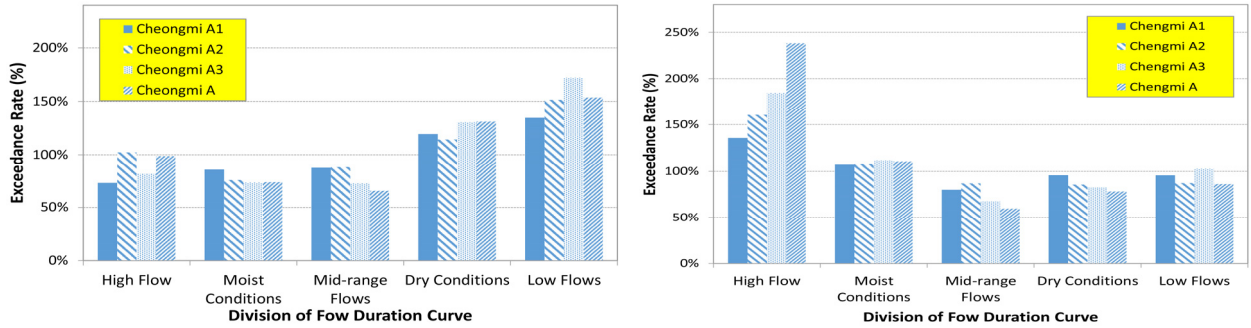


(a) BOD Concentration versus FDC



(b) T-P Concentration versus FDC

Fig. 2. BOD, T-P Concentration using FDC in the Target Point



(a) BOD (b) T-P

Fig. 3. BOD, T-P Exceedance Rate of the Main Stream

Table 3. Maximum and Minimum Q at the Monitoring Point

Monitoring Points	FDC Conditions	max. Q (m^3/sec)	min. Q (m^3/sec)
Chungmi A1	High Flow	7.05	2.51
	Moist Conditions	2.40	1.06
	Mid-range Flows	1.03	0.70
	Dry Conditions	0.69	0.20
	Low Flows	0.20	0.03
Chungmi A2	High Flow	7.92	4.59
	Moist Conditions	4.09	1.77
	Mid-range Flows	1.76	1.31
	Dry Conditions	1.31	0.50
	Low Flows	0.48	0.07
Chungmi A3	High Flow	47.69	8.39
	Moist Conditions	7.93	3.96
	Mid-range Flows	3.94	3.11
	Dry Conditions	3.05	1.56
	Low Flows	1.32	0.16
Chungmi A	High Flow	121.71	14.74
	Moist Conditions	12.94	4.48
	Mid-range Flows	4.40	3.26
	Dry Conditions	3.20	1.27
	Low Flows	1.25	0.03

본류의 목표수질 설정지점인 청미 A의 FDC는 Fig. 4와 같으며, 각 수질측정지점에서 유황별 최대·최소 유량의 값은 Table 3과 같다. Table 4는 본류의 각 측정망 지점에서의 유황별로 관측된 평균수질 농도를 나타내고 있으며, Table 5는 청미천 단위유역 본류 최하류단에 위치한 청미

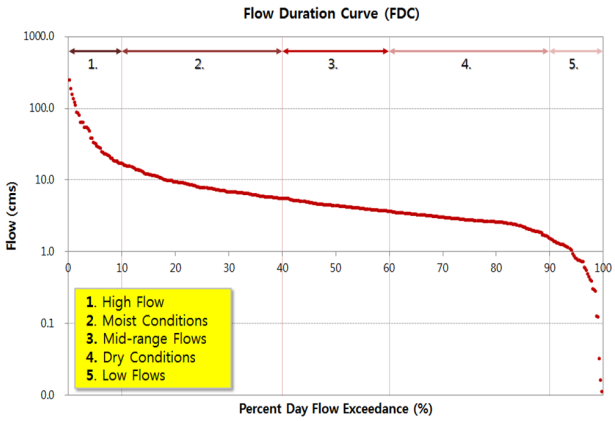


Fig. 4. FDC Graph in the Chungmicheon Watershed(2006~2015)

Table 4. Average Flow Rate and Mean Concentration of the Main Stream

Category			Q(cms)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)	TOC(mg/L)
Reach1	Chungmi A1	High Flow	3.730	3.5	8.3	18.3	4.3	0.2	6.4
		Moist Con.	1.620	4.1	8.1	12.5	4.5	0.1	5.9
		Mid. Flows	0.840	4.2	7.6	12.1	4.2	0.1	5.9
		Dry Con.	0.430	5.7	10.7	15.7	4.1	0.1	7.9
		Low Flows	0.100	6.5	12.8	20.3	2.4	0.1	8.6
Reach2	Chungmi A2	High Flow	5.980	4.1	8.5	14.9	4.2	0.2	6.6
		Moist Con.	2.670	3.1	6.4	17.5	4.5	0.1	4.9
		Mid. Flows	1.550	3.5	6.8	12.9	4.9	0.1	5.2
		Dry Con.	0.920	4.6	8.8	18.9	3.4	0.1	7.0
		Low Flows	0.280	6.1	12.2	25.0	1.8	0.1	9.4
Reach3	Chungmi A3	High Flow	21.340	2.7	7.4	25.8	2.6	0.2	5.5
		Moist Con.	5.770	2.5	6.1	12.2	3.5	0.1	4.6
		Mid. Flows	3.460	2.4	5.8	8.1	3.9	0.1	4.3
		Dry Con.	2.370	4.4	8.2	14.0	2.7	0.1	6.6
		Low Flows	0.950	5.8	11.7	62.8	3.0	0.1	8.6
Reach4	Chungmi A	High Flow	35.102	3.3	8.7	58.6	3.2	0.3	5.1
		Moist Con.	7.432	2.5	6.2	19.4	3.3	0.1	4.0
		Mid. Flows	3.795	2.2	5.3	6.7	3.4	0.1	3.1
		Dry Con.	2.338	4.4	8.3	14.8	2.9	0.1	4.5
		Low Flows	0.700	5.1	8.3	14.0	1.7	0.1	6.0

Table 5. Exceedance Rate of Pollutants of the Main Stream

Category			Exceedance Rate					
			BOD	COD	SS	T-N	T-P	TOC
Reach1	Chungmi A1	High Flow	7%	-5%	-69%	35%	-37%	27%
		Moist Con.	68%	31%	-36%	35%	7%	47%
		Mid. Flows	93%	45%	81%	25%	55%	90%
		Dry Con.	31%	30%	6%	43%	39%	77%
		Low Flows	27%	53%	46%	44%	26%	42%
Reach2	Chungmi A2	High Flow	26%	-2%	-74%	33%	-26%	30%
		Moist Con.	25%	4%	-10%	36%	7%	23%
		Mid. Flows	62%	29%	94%	46%	69%	66%
		Dry Con.	6%	6%	28%	18%	18%	58%
		Low Flows	19%	47%	79%	5%	17%	55%
Reach3	Chungmi A3	High Flow	-16%	-14%	-56%	-17%	-44%	8%
		Moist Con.	0%	-1%	-37%	5%	-31%	16%
		Mid. Flows	12%	9%	21%	14%	-16%	38%
		Dry Con.	0%	-1%	-6%	-7%	-25%	47%
		Low Flows	13%	41%	349%	74%	-13%	42%

A 지점을 모수로 하여 상류에 위치한 본류의 Reach 1, 2, 3의 수질측정망인 청미 A1, 청미 A2, 청미 A3 지점의 수질데이터에 대한 초과율을 나타내고 있다. 대부분 하류로 갈수록 모든 유량상태에서 자정작용에 의해 감소되는 추세를 보이고 있으나 SS와 T-P는 저유량 상태에서 증가하는 경향을 보이며 Reach 3에 위치한 지류에서 보다 많은 오염부하량의 영향을 받는 것으로 나타났다.

3.2 지류에 대한 오염원 평가 및 추적

본류의 측정망 지점에서 관측된 유량·수질 자료를 통하여 각 유황별 오염원의 농도를 확인할 수 있는데, 이를 각 지류에서 실측한 유량·수질 자료와 비교하여 FDC와 초과율을 적용한 오염원별 평가 및 오염원 추적을 수행하였다. 각 청미천 지류의 유황별 평균유량과 오염원의 평균수질농도는 Table 6과 같으며, SS의 경우 모든 지류에서 High Flow의 유량 규모일 때 높은 농도를 보이고 있었다. COD의 경우 응천과 진암천은 Mid-range Flows에서 높은 농도를 보이고 있었으며, 두 개 하천을 제외한 나머지 6개 지류에서는 High Flow의 유량상태에서 다소 높은 농도를 보이고 있었다. TOC 역시 진암천을 제외한 7개의 지류에서 High Flow 유량에서 높은 농도를 보이고 있었는데, 이는 모두 비점오염원의 영향을 많이 받았기 때문인 것으로 판단된다. 특히 진암천의 경우 Mid-range Flows 상태에서 SS를 제외한 BOD, COD, T-N, T-P, TOC 등 모든 오염원이 다소 높게 나타나고 있었으며, 나머지 7개 하천보다 유황별 수질의 오염상태가 더욱 나쁜 것을 확인할 수 있었다.

Table 7과 Fig. 5는 청미 A 단위유역의 목표수질 설정지점인 청미 A에서 유황별 BOD, COD, SS, T-N, T-P, TOC의 각 수질항목에 대한 초과율을 나타내고 있다. 양의 초과율은 지류에서의 수질 농도가 본류보다 더 높은 것을 의미한다. BOD는 저유량보다 고유량일 때 모든 지류에서 다소 높은 초과율이 나타나는 것을 확인할 수 있는데, 이는 많은 강우량으로 인한 비점오염원의 영향 때문인 것으로 판단된다. 죽산천과 제요천, 진암천은 Mid-range Flows에서 129~314%의 높은 초과율을 보이고 있었다. COD의 경우 대체적으로 낮은 초과율의 범위를 보이고 있었으며, 제요천과 진암천에서 Mid-range Flows의 유량상태에서 49%, 92%로 다소 높은 초과율을 보이고 있었다. SS는 화봉천에서 High Flow의 유량상태에서 267%의 높은 초과율을 보이고 있었으며, 이에 대한 비점오염원의 중점관리가 필요할 것으로 보인다.

T-N의 경우 방초천과 금곡천을 제외한 6개의 지류에서 점오염원의 영향이 큰 저유량일 때 본류의 수질 대비 높은 초과율을 보이고 있었으며, 화봉천과 진암천에서는 363%, 323%로 나타나 청미 A 단위유역의 수질 농도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. T-P의 경우 방초천, 응천, 금곡천을 제외한 모든 지류에서 Moist Conditions ~ Dry Conditions의 유량상태에서 높은 초과율을 보이고 있었는데, 백봉천에서 최대 437%, 제요천에서 267%, 진암천에서 921%로 본류 대비 매우 높은 수질농도를 보이고 있었다.

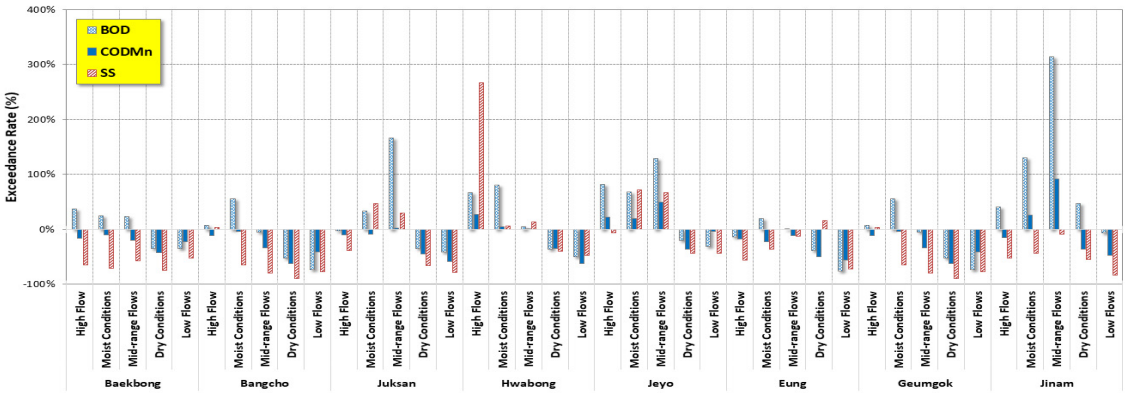
TOC의 경우 모든 하천에서 High Flow ~ Mid-range Flows의 유량상태에서 16 ~ 96% 미만의 다소 높은 초과율이 발생하고 있었다. 이때, 금곡천에서는 Mid-range Flows의 유량에서 최대 149%의 값이 발생함에 따라 TOC에 대한 전반적인 비점오염원의 관리가 필요할 것으로 판단된다.

Table 6. Average Flow Rate and Mean Concentration of the Tributaries

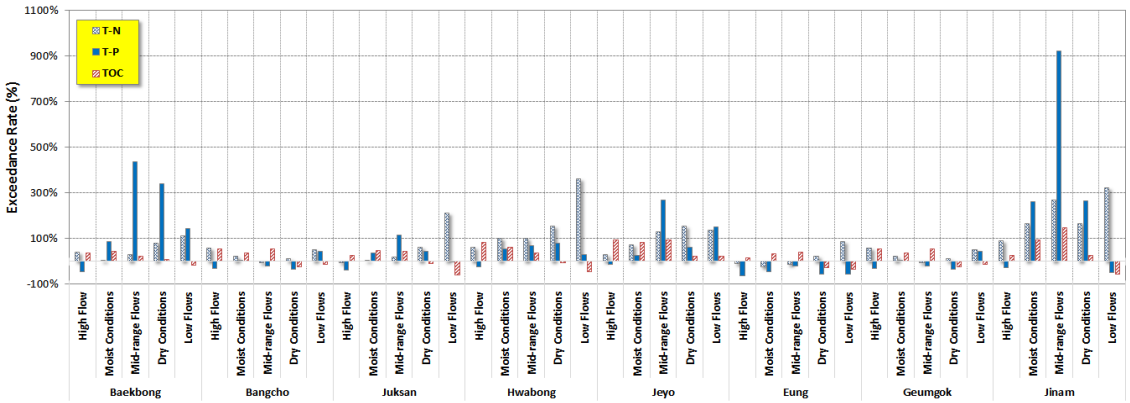
Category			Q (cms)	BOD (mg/L)	COD (mg/L	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	TOC (mg/L)
Reach1	Baekbongcheon	High Flow	0.765	4.50	7.32	20.77	4.52	0.16	7.03
		Moist Con.	0.143	3.06	5.56	5.75	3.51	0.25	5.83
		Mid. Flows	0.050	2.70	4.22	2.86	4.42	0.38	3.87
		Dry Con.	0.024	2.83	4.82	3.73	5.12	0.41	4.79
		Low Flows	0.009	3.32	6.42	6.62	3.63	0.25	4.99
Reach2	Bangchocheon	High Flow	1.359	3.53	7.73	60.62	5.04	0.19	7.88
		Moist Con.	0.311	3.83	5.98	6.83	4.10	0.13	5.53
		Mid. Flows	0.116	2.06	3.48	1.39	3.20	0.06	4.82
		Dry Con.	0.054	2.10	3.13	1.63	3.18	0.06	3.36
		Low Flows	0.015	1.38	4.92	3.20	2.57	0.15	5.15
	Juksancheon	High Flow	2.873	3.18	7.80	35.75	2.96	0.18	6.47
		Moist Con.	1.009	3.27	5.64	28.58	3.51	0.18	5.97
		Mid. Flows	0.471	5.82	5.36	8.64	4.06	0.15	4.47
		Dry Con.	0.339	2.83	4.54	4.99	4.67	0.13	4.03
		Low Flows	0.205	3.02	3.42	3.07	5.32	0.10	2.35
	Hwabongcheon	High Flow	1.014	5.48	11.10	215.00	5.11	0.22	9.33
		Moist Con.	0.179	4.45	6.52	20.54	6.74	0.21	6.55
		Mid. Flows	0.079	2.30	5.33	7.57	6.84	0.12	4.25
		Dry Con.	0.049	2.80	5.36	8.90	7.26	0.17	4.28
		Low Flows	0.030	2.57	3.20	7.33	7.87	0.13	3.35
Reach3	Jeyocheon	High Flow	1.558	5.95	10.57	54.97	4.09	0.25	9.92
		Moist Con.	0.349	4.14	7.45	33.53	5.82	0.17	7.30
		Mid. Flows	0.139	5.00	7.86	11.14	7.73	0.26	6.06
		Dry Con.	0.081	3.49	5.30	8.42	7.32	0.15	5.50
		Low Flows	0.036	3.50	8.02	7.93	4.04	0.26	7.33
	Eungcheon	High Flow	4.092	2.83	7.20	25.87	2.83	0.11	5.88
		Moist Con.	1.345	2.94	4.79	12.39	2.56	0.07	5.42
		Mid. Flows	0.661	2.20	4.70	5.84	2.96	0.06	4.41
		Dry Con.	0.446	2.66	4.17	17.23	3.48	0.04	3.30
		Low Flows	0.225	1.22	3.70	3.92	3.21	0.04	3.87
	Jinamcheon	High Flow	0.227	4.62	7.37	27.70	6.04	0.21	6.44
		Moist Con.	0.034	5.67	7.79	10.88	8.90	0.47	7.86
		Mid. Flows	0.019	9.03	10.08	6.07	12.51	0.73	7.78
		Dry Con.	0.008	6.41	5.28	6.64	7.55	0.34	5.56
		Low Flows	0.004	4.80	4.37	2.37	7.18	0.05	2.74
Reach4	Guemgokcheon	High Flow	1.359	3.53	7.73	60.62	5.04	0.19	7.88
		Moist Con.	0.311	3.83	5.98	6.83	4.10	0.13	5.53
		Mid. Flows	0.116	2.06	3.48	1.39	3.20	0.06	4.82
		Dry Con.	0.054	2.10	3.13	1.63	3.18	0.06	3.36
		Low Flows	0.015	1.38	4.92	3.20	2.57	0.15	5.15

Table 7. Exceedance Rate of Pollutants of the Tributaries

Category			Exceedance Rate					
			BOD	COD	SS	T-N	T-P	TOC
Reach1	Baekbongcheon	High Flow	37%	-16%	-65%	42%	-45%	38%
		Moist Con.	25%	-10%	-70%	5%	89%	45%
		Mid. Flows	24%	-20%	-57%	31%	437%	24%
		Dry Con.	-35%	-42%	-75%	79%	340%	7%
		Low Flows	-35%	-23%	-53%	114%	144%	-17%
Reach2	Bangchocheon	High Flow	8%	-11%	3%	58%	-32%	55%
		Moist Con.	56%	-4%	-65%	23%	2%	38%
		Mid. Flows	-5%	-34%	-79%	-5%	-19%	54%
		Dry Con.	-52%	-62%	-89%	11%	-33%	-25%
		Low Flows	-73%	-41%	-77%	51%	44%	-15%
	Juksancheon	High Flow	-3%	-10%	-39%	-7%	-38%	27%
		Moist Con.	33%	-9%	47%	5%	37%	49%
		Mid. Flows	167%	2%	30%	20%	115%	43%
		Dry Con.	-35%	-45%	-66%	63%	44%	-10%
		Low Flows	-41%	-59%	-78%	213%	-3%	-61%
	Hwabongcheon	High Flow	67%	28%	267%	61%	-24%	84%
		Moist Con.	81%	5%	6%	102%	56%	63%
		Mid. Flows	5%	1%	14%	102%	70%	36%
		Dry Con.	-36%	-35%	-40%	154%	78%	-4%
		Low Flows	-50%	-62%	-48%	363%	30%	-45%
Reach3	Jeyocheon	High Flow	81%	22%	-6%	28%	-11%	95%
		Moist Con.	68%	20%	73%	74%	27%	82%
		Mid. Flows	129%	49%	67%	129%	267%	94%
		Dry Con.	-20%	-36%	-43%	156%	64%	23%
		Low Flows	-32%	-4%	-43%	138%	152%	21%
	Eungcheon	High Flow	-14%	-17%	-56%	-11%	-62%	16%
		Moist Con.	20%	-23%	-36%	-23%	-43%	35%
		Mid. Flows	1%	-11%	-12%	-12%	-19%	41%
		Dry Con.	-39%	-50%	16%	21%	-55%	-26%
		Low Flows	-76%	-56%	-72%	89%	-57%	-36%
	Jinamcheon	High Flow	41%	-15%	-53%	90%	-28%	55%
		Moist Con.	131%	26%	-44%	167%	261%	38%
		Mid. Flows	314%	92%	-9%	270%	921%	54%
		Dry Con.	47%	-36%	-55%	164%	265%	-25%
		Low Flows	-6%	-48%	-83%	323%	-50%	-15%
Reach4	Guemgokcheon	High Flow	8%	-11%	3%	58%	-32%	27%
		Moist Con.	56%	-4%	-65%	23%	2%	96%
		Mid. Flows	-5%	-34%	-79%	-5%	-19%	149%
		Dry Con.	-52%	-62%	-89%	11%	-33%	24%
		Low Flows	-73%	-41%	-77%	51%	44%	-55%



(a) BOD, COD, SS



(b) T-N, T-P, TOC

Fig. 5. Exceedance Rate of the Tributaries for Average Water-Quality using FDC

4. Conclusion

본 연구에서는 FDC 및 초과율을 이용하여 유역의 오염원 추적을 통해 본류 및 지류의 수질이 목표지점의 수질에 미치는 영향에 대하여 분석하였는데, 그 결과는 다음과 같다.

1) 유역 말단에 위치한 목표수질 지점인 청미 A 측정망의 경우 BOD는 저유량에서, T-P는 고유량대에서 보다 높은 농도가 발생하였는데, 이는 BOD의 경우 점오염원, T-P의 경우 비점오염원에 대한 영향이 큰 것으로 판단된다.

2) 본류의 청미 A 지점을 모수로 하여 상류에 위치한 본류 Reach 1, 2, 3의 수질측정망인 청미 A1, 청미 A2, 청미 A3 지점의 수질데이터에 대한 초과율을 산정하였으며, 대부분 하류로 갈수록 모든 유량상태에서 자정작용에 의해 감소되는 추세를 보이고 있었으나, SS와 T-P는 Low Flows인 저유량 상태에서 증가하였으며, Reach 3에 위치한 지류에서 보다 많은 오염부하량의 영향을 받는 것으로 나타났다.

3) 각 지류에서 BOD, COD, T-N, T-P, TOC, SS 등에 대해 FDC와 초과율을 적용한 오염원별 평가 및 오염원 추적을 수행한 결과, SS는 모든 지류에서, COD와 TOC는 한 두 개의 지류를 제외한 모든 지류에서 High Flow의 유량에서 높은 농도를 보여 비점오염원의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 특히 진암천의 경우 Mid-range Flows 상태에서 모든 수질 농도가 다소 높은 것으로 나타남에 따라 다른 지류보다도 오염상태가 더욱 나쁜 것을 확인할 수 있었다.

4) 본 연구에서 제시한 FDC 분석은 8일 간격의 측정자료를 이용하였으며, 향후 8일 간격의 측정자료를 1일 자료와 같은 등간격 자료로 보간하는 방법에 대한 연구가 필요해 보인다. FDC 분석을 통한 오염원 추적은 유황별로 목표지점의 수질에 영향을 미치는 오염원의 종류 및 지천을 추출함으로써 목표수질 달성을 위해 지류별 수질관리 전략을 보다 효율적으로 수립할 수 있을 것이다.

References

Cheong, E.J., Kim, H.T., Kim, Y.S., and Shin, D.S. (2016). Application of the Load Duration Curve (LDC) to Evaluate the Rate of Achievement of Target Water Quality in the Youngsan·Tamjin River Watersheds, *J. of Korean society of Water Environment*, 32(4), pp. 349-356. [Korean Literature] http://www.riss.kr/link?id=A102042998

Jeon, J.H., Yoon, C.G., and Ham, J.H. (2001). Analysis of relationship among the pollutant concentrations in non-urban area. *Korea J. Limnol.* 34(3), pp. 215-222.

[Korean Literature] http://www.riss.kr/link?id=A304543

Kim, H.C., Lee, S.B., Jung, K.W., and Han, J.Y. (2004). Analysis of correlation among the pollutant concentrations in stream to the estuary reservoir. *Proceedings of the 2004 Co-Conference of Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, pp. 62-71. [Korean Literature] http://www.riss.kr/link?id=A75390262

Lee, J.W., Jeong, H.S., Yoon, J.H., and Cheon, S.U. (2008). Review on Water Quality and Achievement of Water Quality Goal by Various Evaluation Methods in Geum River, *J. of Environmental Impact Assessment*, 17(6), pp. 373-380. [Korean Literature] http://www.riss.kr/link?id=A75548619

Ministry of Environment (2015). *The Second Water Environment Management Plan*.[Korean Literature]

Park, J.D., Oh, S.Y., and Choi, Y.H. (2012). Development of a Flow Duration Curve with Unit Watershed Flow Data for the Management of Total Maximum Daily Loads. *J. of Korean society of Water Enviroment*, 28(2), pp. 224-231. [Korean Literature] http://www.riss.kr/link?id=A60043540

Park, K.O., Lee, C.H., and Cha, I.G. (2016). Water Pollution Source Tracing Using FDC and Correlation Analysis in Geumho River Basin, *J. of Wetlands Research*, 18(3), pp. 232-243. [Korean Literature] http://www.riss.kr/link?id=A102137854

Seoul of Infrastructure and Transport(SIT), Seoul Regional Construction and Management Administration (2011). Fundamental Planning Report for River Improvement Works for Chungmi Stream. [Korean Literature]

U.S EPA Office of Wetlands, Oceans and Watersheds (U.S EPA). (2007). An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs, EPA 841-B-07-006, pp. 1-68 https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/2007_08_23_tmdl_duration_curve_guide_aug2007.pdf

Yoon, C.G., Lee, S.B., Jung, K.W., and Han, J.Y. (2007). Analysis of relationship between water quality parameters in agricultural irrigation reservoirs and land uses of associated watersheds. *Korea J. Ecology and Environment*, 40(1), pp. 31-39. [Korean Literature] http://www.riss.kr link?id=A5095931