경기도 신천 및 유입지천의 오염특성 평가

손영금 · 임흥빈 · 이강혁 · 김진길 · 임윤정 · 최정인 · 이호정 · 오조교[†]

경기도보건환경연구원 북부지원

A Study on the Evaluation of Pollution Characteristics of Sincheon Stream and Its Tributaries in Gyeonggi-do Province

Yeong-Geum Son, Heung-Bin Im, Kang-Hyuck Lee, Jin-Guil Kim, Yun-Jung Im,
Jeong-In Choi, Ho-Jung Lee, and Jo-Gyo Oh[†]

Gyeonggi-do Institute of Health & Environment, Gyeonggi-do, 16205, Korea

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate and analyze Sincheon basin water environment system. The data were collected from 2010 August to 2016 December including BOD, SS, T-N, T-P. The results were as followed. As the result of comparing the amount of BOD generated by pollution sources in the Sincheon water system, industrial was the highest at 33,259.4 kg/day. In comparison with the tributary, it was estimated that Dong-Du water system reveals the highest level of BOD in the industry. Population and livestock was high in Cheong-Dam and Sang-Pae water system. With the inflow stream of Hyo-Chon, Suk-Woo and Sang-Pae, the pollution degree of BOD and T-N level of Sincheon increased and pollution degree of tributary was higher than that of Sincheon's main stream. The main reason of pollutant of Suk-Woo was from untreated wastewater, and it influenced downstream of Suk-Woo. Hyo-Chon stream satisfy the water quality standard, but Zn was designated as a Monitoring contaminants, was high as 14.670 mg/L (standard 0.02~2.45mg/L) because of textile wastewater. And Sang-Pae stream was polluted by livestock wastewater of livestock farms as a nonpoint source.

Keywords: Sincheon, tributary, loading BOD, textile wastewater, livestock wastewater

I. 서 론

신천유역은 경기도 양주시 백석면 북지리에서 발원하여 동두천시, 포천시, 연천군을 지나 한탄강으로 유입되며, 총 유역면적 343.6 km², 유로연장 39.5 km, 하천연장 38.3 km로 15개의 지류가 유입되고 있다.¹⁾ 유입되는 지류는 양주시 10개소, 동두천시 2개소, 포천시 2개소, 연천군 1개소로 신천상류에 방성천, 홍죽천, 연곡천, 우고천, 석우천, 효촌천, 입암천, 청담천, 덕계천, 회암천 10개가 유입되고, 하류에 상패천, 동두천, 갈월천, 수동천, 대전천 5개 지

류가 유입되고 있다.²⁾

신천은 주로 농업용수와 공업용수로 이용되고 있으나 3, 4, 5종(1일 폐수배출량 700 m³ 미만 사업장)의 소규모 공장의 미처리된 방류수와 영양물질의 농도가 높은 축산폐수가 유입되어 용수로 활용이 위협받아 왔다. 또한 신천이 유입된 한탄강은 임진강으로 유입되는데 임진강은 상수원으로 이용되므로 과거부터 임진강 수질보호를 위한 신천의 수질개선이 지속적으로 대두되어 왔다.

신천의 수질개선을 위해 많은 연구들이 진행되어 왔다. Kim(1998)은 신천으로 유입되는 지류하천의

[†]Corresponding author: Gyeonggi-do Institute of Health & Environment, Gyeonggi-do, 16205, Korea, Tel: +82-31-8030-5977, Fax: +82-31-8030-5979, E-mail: yeongeum@gg.go.kr

Received: 27 September 2017, Revised: 20 October 2017, Accepted: 23 October 2017

오염원 조사와 오염부하량을 산정하여 수질개선을 위한 기초자료를 제공하였고, Song(1999)은 신천유역 저질의 중금속 함량을 조사하여 신천 저질의 중금속에 의한 환경오염도를 평가하였다. Lee(2005)는 권역별 발생오염부하량 및 배출부하량을 평가하고, 목표수질기준 달성을 위하여 유달오염부하량 및 유달울에 의한 BOD 배출오염부하량 및 오염원별 배출부하량 산정하였다. 하지만 여전히 신천하류의 BOD 농도는 10 mg/L 이상으로 생활환경기준 VI등급(매우나쁨)에 해당된다.

이에 본 연구에서는 2010년부터 이어온 신천의 지류하천 모니터링 결과 분석 및 오염원 조사를 통해 주요 요인을 분석하였다. 또한 오염이 심한(생활환경기준 VI등급 이상)하천은 실제 존재하는 오염원을 파악하였다. 연구의 결과는 체계적인 신천 정비 기초자료로 활용할 수 있을 것이라 기대된다.

II. 조사대상 및 방법

1. 연구대상 지역

본 연구에서는 신천의 수질특성을 평가하기 위하

여 신천본류 9개 지점과 신천의 지류하천 15개 지점을 대상으로 2010년 8월부터 2016년 12월까지 매월 조사한 자료를 이용하였다.⁶⁾ 신천본류 및 지류별 시료채수지점은 Fig. 1과 Table 1에 나타내었고, 주요오염을 일으키는 원인 파악을 위한 구간별 채수 장소를 함께 나타내었다.

2. 시험방법

1) 유역별 BOD 발생량 비교

주요오염원인 생활계, 산업계, 축산계와 기타오염원, 비점오염원인 토지계를 대상으로 지류하천별 BOD 발생량을 비교하기 위하여 '14년도 전국오염원총량자료⁷⁾와 환경부에서 제시하는 오염원단위 자료를 이용하여 발생량을 산정하였다.⁸⁾

2) 지점별 수질 특성분석 및 오염원 조사

분석에 활용된 수질자료는 '10년 8월부터 '16년 12월 까지 측정된 자료로 분석항목은 BOD, SS, T-N, T-P 데이터를 이용하였다. 신천본류와 지류하천별로 수질 변화를 알기위해 연도별 월별평균값을 분석하였으며, 특히 2016년 1월~7월 평균 BOD 데이

Fig. 1. Streams in the Sincheon.

Table 1. Target areas for the characteristic analysis of water quality.

Unit Watershed		Mark	Sampling Site
Main stream	Tributary		
Sincheon 1		Sin-1	Osan-ri, Baekseok-eup, Yangju-si
	Bang-Sung	BS	Bangseong-ri, Baekseok-eup, Yangju-si
	Hong-Juk	HJ	Osan-ri, Baekseok-eup, Yangju-si
	Yeon-Gok	YG	Osan-ri, Baekseok-eup, Yangju-si
	Woo-Go	WG	Ganap-ri, Gwangjeok-myeon, Yangju-si
Sincheon 2		Sin-2	Seogu-ri, Gwangjeok-myeon, Yangju-si
	Suk-Woo	SW-1~4 SW	Seogu-ri, Gwangjeok-myeon, Yangju-si
	Hyo-Chon	HC-1~4 HC	Sangsu-ri, Nam-myeon, Yangju-si
	Ib-Am	IA	Sangsu-ri, Nam-myeon, Yangju-si
Sincheon 3		Sin-3	Sangsu-ri, Nam-myeon, Yangju-si
Sincheon 4		Sin-4	Yongam-ri, Eunhyeon-myeon, Yangju-si
	Deok-Gye	DG	Hoejeong-dong, Yangju-si
	Hoe-Am	HA	Bongyang-dong, Yangju-si
	Cheong-Dam	CD	Yongam-ri, Eunhyeon-myeon, Yangju-si
Sincheon 5		Sin-5	Yongam-ri, Eunhyeon-myeon, Yangju-si
Sincheon 6		Sin-6	Sangpae-dong, Dongducheon-si
	Sang-Pae	SP-1~4 SP	Sangpae-dong, Dongducheon-si
Sincheon 7		Sin-7	Sangpae-dong, Dongducheon-si
	Dong-Du	DD	Bosan-dong, Dongducheon-si
Sincheon 8		Sin-8	Choseong-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun
	Su-Dong	SD	Choseong-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun
	Gal-Wol	GW	Deokdun-ri, Sinbuk-myeon, Pocheon-si
	Dae-Jeon	DJ	Daejeon-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun
Sincheon 9		Sin-9	Daejeon-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun

터가 VI등급(매우나쁨) 이상의 하천은 원인분석을 위해 구간별로 중금속과 휘발성유기화합물 항목을 함께 분석하였다. 모든 항목은 수질오염공정시험법⁹⁾에 준하여 실험하였으며, 중금속은 ICP(Optima 5300DV, Perkinelmer, USA), 휘발성유기화합물은 GC/MSD (5977A 7890B, Agilent technologies, USA)를 이용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 지류하천별 오염발생량 비교

신천유역의 오염원별 분포를 파악하기 위하여 BOD

발생량을 산정하여 Table 2에 나타내었다. 지류하천을 포함한 신천유역의 주 BOD 발생원은 산업계로 33,250.0 kg/day가 발생되고 있으며, 생활계에서 9,119.9 kg/day로 나타났다. 지류하천 중 가장 오염이 심했던 효촌천(HC)의 경우에도 산업계의 BOD 발생량이 10,280.0 kg/day로 다른 오염원에 비해 큰 비율을 차지하고 있으며, 우고천(WG), 입암천(IA), 청담천(CD) 등 대부분의 하천이 산업계에 의한 발생량이 높게 산정되었다. 산업계에서 가장 BOD 발생량이 많은 유역은 동두천천(DD)이지만 대부분이 하수처리장으로 연계처리되기 때문에 실제 동두천천(DD)에 영향은 적게 미치는 것으로 확인되었다.

Table 2. The amount of BOD generated by pollution sources

Unit Watershed	BOD load size(kg/day)				
	Population	Livestock	Industrial	Etc.	Land use
BS	375.7	2.6	620.8	-	76.4
HJ	509.4	16.6	105.7	41	209.7
YG	36.2	10.6	9.4	-	45.6
WG	224.0	9.3	913.6	-	200.4
SW	279.0	20.0	468.7	-	209.6
HC	163.5	24.2	10,280.0	32	265.7
IA	321.5	30.6	348.5	4	230.0
CD	1,172.7	-	3,876.8	15	160.7
DG	76.2	3.2	1,531.7	-	97.1
HA	4,715.4	15.0	2,098.7	-	926.2
SP	489.6	33.3	995.1	-	327.6
DD	580.7	0.4	11,301.3	-	268.3
SD	32.4	2.9	-	-	60.1
GW	119.7	8.9	314.1	14	149.7
DJ	23.8	2.6	385.6	-	53.0
Total	9,119.9	18.02	33,250.0	105.3	8,280.2

생활계에 의한 BOD 발생량은 유역별 인구수를 인구 한명 당 BOD 발생원단위를 이용하여 산정한 수치로 회암천(HA)이 4,715.4 kg/day로 가장 높게 산정되었고, 뒤를 이어 청담천(CD)이 1,172.7 kg/day로 산정되었다. 축산계에 의한 BOD 발생은 상패천(SP)유역이 33.3 kg/day로 가장 높게 산정 되었으며, 돼지를 키우는 농가수가 가장 많았고, 키우는 종은 닭의 두수가 가장 높은 것으로 분석되었다.

비점오염원인 토지계는 임야, 도로, 각종 용지면적을 용도별 BOD 발생원단위를 이용하여 산정한 값으로 신천유역에서 총 3,280.2 kg/day의 발생량을 보이고 있으며, 회암천(HA) 부근에서 발생량이 가장 높은 것으로 평가되었다.

2. 신천 및 지류하천의 연평균 수질 특성

신천유역의 수질특성을 알아보기 위하여 2010년 8월부터 2016년 12월까지 7년간 신천과 신천으로 유입되는 지류하천의 연도별 수질변화를 Fig. 2, 3에 비교하여 나타내었다. Fig. 2에서 지류하천의 연도별 평균 수질오염 변화를 살펴보면 효촌천(HC)과 상패천(SP)이 다른 하천에 비해 BOD, T-N, T-P 항목의 오염도가 높게 나타났다. 효촌천(HC)의 연평균 농도가

가장 높았던 2011년에 BOD 농도는 88.5 mg/L 이었으며, 상패천(SP)은 2016년도에 평균 BOD 농도 37.7 mg/L로 가장 높았다. 2016년도 연평균 BOD 농도가 10 mg/L 이상(생활환경기준 VI등급, 매우나쁨)에 해당하는 하천은 석우천(SW), 효촌천(HC), 상패천(SP)으로 나타났다. 수동천(SD), 갈월천(GW), 대천천(DJ)은 7년간 BOD 5 mg/L 이하의 생활환경기준 III등급(보통) 이상의 수질을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 방성천(BS), 우고천(WG)은 2010년부터 2012년 까지는 BOD 농도 7.8~22.4 mg/L 사이로 수질이 좋지 않았으나, 최근 점점 개선되어 2016년에는 평균농도 5 mg/L 이하의 '보통' 등급을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 3은 신천본류의 연평균 BOD, SS, T-N, T-P의 농도를 나타내었다. 상류인 신천 1 지점은 오염원이 많이 존재하지 않아 BOD 기준으로 수질이 양호하지만 유입되는 지류하천과 주변 오염원에 의해 오염도가 증가하는 것으로 나타났다. 특히 석우천(SW), 효촌천(HC), 상패천(SP)이 유입된 후인 신천 3과 신천 7지점에서 오염도가 크게 증가했다가 자정작용 및 희석이 일어나면서 하류로 갈수록 오염도가 점점 감소하는 양상을 보였다. 하지만 수질이 다소

Fig. 2. Water quality variations in Sincheon's tributary, 2010-2016.

Fig. 3. Water quality variations in Sincheon's main stream, 2010-2016.

Fig. 4. Monthly variation Sincheon's tributary, 2010-2016.

양호한 수동천(SD), 갈월천(GW), 대전천(DJ) 유입 후인 최하류 신천 9 지점에서 다시 오염도가 증가하는데 이는 신천 하류 지점에 섬유 염색 및 가공 제품 제조업종 산업단지의 폐수종말처리 방류수가 신천으로 방류되며 오염도가 증가된 것으로 판단된다. 신천유역에 환경기초시설은 하수처리시설 9개소, 산업폐수종말처리시설 1개, 분뇨처리시설 2개소가 운영되고 있다. 500 m³/일 이상의 공공하수처리시설이 3개소이며, 500 m³/일 미만의 소규모 하수처리시설이 6개소이다. 신천 하류지역인 연천은 공공하수도는 전무하며, 지역적 여건상 단독정화조와 개인하수처리시설 등으로 처리하고 있다.¹²⁾

3. 신천 및 지류하천의 월평균 수질 특성

신천유역의 수질특성을 알아보기 위하여 2010년 8월부터 2016년 12월까지 7년간 신천과 지류하천의 월별 수질변화를 Fig. 4, 5에 나타내었다. 월별로 비교하면 비가 적게 오는 1월에서 5월까지 수질오염도가 높고, 비교적 비가 많이 오는 6월에서 9월은 오염도가 낮아지는 경향을 보이고 있다. 또한 다시 갈수기로 접어드는 10월~12월에는 오염도가 증가하

고 있다. 특히 T-N의 경우 신천본류와 지류하천 모두 7~9월 사이에 농도가 뚜렷하게 감소하였다가 증가하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 4에 BOD 그래프를 보면 효촌천(HC)의 농도가 1월에 최고 95.5 mg/L 까지 높게 측정되었으며, 연이어 74.8 mg/L, 72.0 mg/L의 높은 농도를 보였다. 하천유량이 적은 1월에서 3월은 효촌천(HC) 주변 산업단지에서 방류되는 방류하천유량의 대부분을 차지하게 된다. 이때 미처리된 방류수가 그대로 효촌천(HC)으로 흘러 들어와 높은 BOD 농도를 보인 것으로 판단된다.

4. 전항목 분석을 통한 오염원 파악

신천은 여러 지류하천이 유입되는 만큼 체계적인 수질관리를 위해서는 지류하천유역에 오염원 관리가 우선적으로 이루어져야 한다. 이에 본 연구에서는 Table 3과 같이 1월부터 7월까지 하천의 BOD 농도를 근거로 생활환경기준 VI등급(매우 나쁨)이상해당하는 하천에 실제 존재하는 오염원을 파악하고자 하였고 석우천(SW), 효촌천(HC), 상패천(SP)이 이에 해당되었다. 석우천(SW)의 가장 큰 오염원은

Fig. 5. Monthly variation Sincheon's main stream, 2010-2016.

Table 3. BOD average data in Sincheon's tributary, 2016.01~2016.07.

Tributary	BS	HJ	YG	WG	SW	HC	IA	CD	DG	HA	SP	DD	SD	GW	DJ
BOD (mg/L)	4.4	3.6	4.9	4.8	13.3	51.0	3.4	5.1	4.6	4.7	38.0	5.7	2.8	1.7	2.6

석우천(SW-2) 지점에서 흘러 들어오는 미처리 폐수의 방류수로 COD 농도가 249.6 mg/L로 방류수 수질기준을 초과하여 방류되고 있는 것으로 확인되었다. 섬유업종에 해당하는 공장으로 유기물 농도가 매우 높아 석우천 말단 지점까지 영향을 미친 것으로 분석되었다. 중금속 및 휘발성유기화합물은 검출되지 않았다.

효촌천(HC)의 가장 큰 오염원은 효촌천-2(HC-2) 지점에서 방류되는 방류수로 수질기준은 만족하나 효촌천(HC)의 유량이 많지 않아 충분한 자정작용이 일어나지 못한 채 하류까지 흘러간 것으로 추정된다. 특히 효촌천-2(HC-2) 방류수에는 '16년 3월 감시항목으로 지정된 Zn의 농도가 14.670 mg/L로 분석되었다. Zn은 적혈구 감소, 빈혈, 신진대사를 방해하므로 EU에서는 환경기준은 0.5 mg/L로 제시하

고 있는 물질¹³⁾이므로 Zn에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다. 효촌천(HC)의 특징은 하류에서 오염물질의 농도가 다시 높아지는데 이는 하류의 폭이 넓어지고 유속이 감소하면서 정체수역에 따른 농축현상에 의한 것으로 추측된다. 효촌천(HC)의 휘발성유기화합물은 정량한계 이하로만 검출되었다.

상패천(SP)의 경우 상패천-2(SP-2) 지점에 흘러 들어오는 실개천에 축산폐수가 유입되어 높은 유기물 및 무기물 농도를 보이는 것으로 조사되었다. 축산 농가는 가축의 배설물 관리를 위한 별도의 처리시설이 갖춰진 곳이 많지 않아 자연계에 쉽게 노출되어 주변 유역이나 토양에 영향을 미칠 가능성이 매우 높으므로^{14,15)} 철저한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

Table 4. Water quality variations of tributary section

	COD	BOD	T-N	T-P	TOC	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	VOCs
SW-1	7.6	2.8	4.820	0.080	4.9	0.274	0.085	0.047	0.016	N.D	N.D
SW-2	249.6	310.0	12.471	2.170	134.5	0.491	0.098	0.077	0.091	N.D	N.D
SW-3	76.0	63.7	3.271	0.580	42.8	0.338	0.090	0.043	0.057	N.D	N.D
SW-4	18.5	16.0	4.614	0.150	15.5	0.354	0.107	0.046	0.026	N.D	N.D
HC-1	10.1	3.2	0.820	0.060	5.3	0.958	0.472	0.045	0.015	N.D	N.D
HC-2	45.8	43.2	16.830	0.080	23.0	0.444	0.888	0.128	14.670	0.028	N.D
HC-3	20.3	11.7	6.487	0.130	15.7	1.539	0.196	0.088	1.946	N.D	N.D
HC-4	36.7	30.3	9.361	0.140	15.7	0.777	0.595	0.042	5.821	N.D	N.D
SP-1	4.3	0.8	4.004	0.040	3.9	0.167	0.033	N.D	0.007	N.D	N.D
SP-2	32.0	18.1	5.183	0.120	25.2	0.435	0.110	0.004	0.087	N.D	N.D
SP-3	20.5	7.9	4.727	0.090	12.7	0.507	0.075	N.D	0.046	N.D	N.D
SP-4	16.3	7.3	4.238	0.100	11.9	0.656	0.090	0.010	0.081	N.D	N.D

VOCs : Acrylonitrile, benzene, bromoform, Carbon tetrachloride, Chloroform, Dichloromethane, trichloroethylene, tetrachloroethylene, Vinylchloride, 1,1-Dichloroethene, 1,2-Dichloroethane

IV. 결 론

경기북부 신천 및 유입지천의 오염특성 평가 및 오염원 분석결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

신천유역에 존재하는 오염원별 BOD 발생량을 비교한 결과 산업계가 33,259.4 kg/day로 가장 많았으며 생활계, 축산계 순으로 평가되었다.

유입지천 중 석우천, 효촌천, 상패천이 유입된 직후의 신천의 BOD, T-N 등의 오염도가 증가되었으며, 신천본류보다는 유입지천의 오염도가 높게 나타났다.

석우천의 주 오염원은 처리되지 않은 섬유폐수로 방류수로 방류수 수질기준을 초과한 폐수가 하천으로 유입되고, 석우천 하류까지 영향을 주는 것으로 조사되었다.

효촌천의 주 오염원은 섬유폐수로 방류수 수질기준을 만족하였으나, 감시항목으로 지정된 Zn이 14.670 mg/L로 높게 검출되었다.

상패천의 주 오염원은 축산농가의 축산폐수가 비점오염원으로 작용하여 영향을 미친 것으로 조사되었다.

감사의 글

본 연구는 국립환경과학원의 시도보건환경연구원 국고보조사업의 일환으로 진행되었으며, 이에 깊은

감사를 드립니다.

References

1. 경기도, “신천수계 하천정비기본계획”. 1998
2. 국토교통부, “한국하천일람”. 2013
3. Kim, J.G. : A Study on the Water Pollution of Shincheon Basin, Seoul, University of Seoul, 1998
4. Song, H.I. : A Study on the contents and chemical bound types of heavy metals in the Shin stream basin sediments, Seoul, University of Seoul, 1999
5. Lee, K.H. : A study on the estimation of water characteristics and pollution loading rates in Shincheon, Seoul, University of Seoul, 2005
6. Ministry of Environment. Water information system [Online]. Available: <http://water.nier.go.kr/waterMeasurement/selectWater.do>
7. National Institute of Environmental Research, 수질 오염총량관리 전산시스템(tmdlms.nier.go.kr)
8. National Institute of Environmental Research, Standardization of discharge load estimation in an implementation assessment of the management of Total Maximum Daily Loads, 2010
9. Ministry of Environment, Water quality test method enacted by Korean Ministry of Environment, 2015
10. Choi, O.Y., Kim, K.H. and Ham, I.S. : 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*, 2015; 31(6), 700-714.
11. Park, J.H., Moon, M.J., Lee, H.J. and Kim, K.S. : A Study on Characteristics of Water Quality using Multivariate Analysis in Sumjin River Basin, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 2014; 30(2), 119-127.
12. 한강유역환경청, 신천 수질개선 종합대책, 2016
13. Department of The Environment, U.K. Environment, 1992
14. Huh, I.R., Park, S.B., Oh, H.S. and Kim, Y.J. : A Study on Water Quality and Amount of Flowing at Nonpoint Source of Nairin Stream, *Korean Journal of Environmental Health Sciences*, 2009; 35(3): 220-225.
15. Jang, S.H. and Park, J.S. : Runoff Characteristics of Non-point source According to Rainfall in Nam Watershed, *Korean Journal of Environmental Health Sciences*, 2005; 31(1): 1-6.