

안양천 하수처리 재이용에 따른 계절별 수질오염 분석

이양규¹⁾ · 홍창선¹⁾ · 임광수²⁾

¹⁾ 대림대학교 토목환경공학과 · ²⁾ 서울지방국토관리청 하천국

Analysis of Seasonal Water Pollution According to the Reuse and Treatment of Wastewater from Anyang Stream

Lee, Yang-Kyu¹⁾ · Hong, Chang-Sun¹⁾ and Lim, Kwang-Su²⁾

¹⁾ Department of Civil Environmental & civil Engineering, Daelim University,

²⁾ Seoul Regional Construction Management Administration, Rivers Department.

ABSTRACT

Anyang Stream Restoration Movement was started from 2001 for the construction of ecological city. The facilities for reuse of treated sewerage have been used since 2003 for improvement of water quality, maintenance of water quantity, river ecological restoration, and hydrophilic space. Thus, the Anyang city has been gradually transformed to eco-friendly city after the construction of Anyang stream and Hakui stream as natural rivers. In this study, biological and chemical methods as well as ecological indicators for Anyang mainstream and major tributaries were monitored for four years in between 2008 and 2012.

The water quality and the diversity of species in most of the streams were found to be good except Anyang main stream. It appears that the influence of seasonal drying stream is almost disappeared except Sammak stream. Thus, the values for BOD (Biochemical Oxygen Demand) and BIP (Biological Index of Pollution) for Anyang main stream were found to be 5.27 ~ 3.42mg/l and 4.51 ~ 5.50, respectively. This is considered to be caused by the reused water quality of treated wastewater being exceeded the design

First author : Lee, Yang-Kyu, Department of Civil Environmental & civil Engineering, Daelim University, Anyang 431-715, Korea,

Tel : +82-31-467-4917, E-mail : yklee@daelim.ac.kr

Corresponding author : Lee, Yang-Kyu, Department of Civil Environmental & civil Engineering, Daelim University, Anyang 431-715, Korea,

Tel : +82-31-467-4917, E-mail : yklee@daelim.ac.kr

Received : 13 December, 2012. **Revised** : 29 January, 2013. **Accepted** : 25 February, 2013.

criteria or by the non-point source of contaminants around the stream. However, entire section of tributaries shows I, II grade as a good water quality.

Key Words : Ecology, Biological index of pollution, Water pollution, Non point source of contaminants.

I. 서 론

안양천 살리기운동이 2001년부터 시작하여 2003년 하수처리수 재이용시설로 인한 수질개선, 수량확보, 하천생태복원 및 친수공간 확보를 위한 안양천 및 학의천 자연형 하천조성공사 완료 후 점차 친환경적인 생태도시로서의 역할을 수행하고 있다.

따라서 안양시에서 안양천 살리기운동을 통해 안양시 관내 안양천 본류와 학의천 자연형 하천 조성공사를 완료한 후 2006년의 안양천 본류의 경우 V급수 수질로서 연평균 BOD는 6.76mg/l, COD는 9.13mg/l, SS는 11.93mg/l, T-N 및 T-P는 각각 11.56mg/l과 0.682mg/l, 생물학적 오염지표는 α -중부수성 수역으로 또한 각 지천별로도 III급수 수질과 β -중부수성 수역을 나타내었다.

그러나 현재 안양천 본류는 III급수로서 BOD 4.42~3.29mg/l, 생물학적 오염지표(BIP)는 4.51~5.50로서 β -중부수성 수역으로 나타나고 있으며, 각 주요 지천별로서는 삼막천 상류의 경우 I급수로서 BOD 0.94mg/l, 생물학적 오염지표는 0.00~3.50로서 빈부성 수역으로 양호한 수질을 나타내고 있고, 갈현천, 수암천, 삼성천, 삼봉천, 학의천은 II급수로서 BOD 1.85~3.05mg/l, 생물학적 오염지표(BIP)는 3.51~4.50, 빈부성 수역을 나타내고 있다. 그러나 삼막천 중류부터 오염의 주원인은 석산개발로 인하여 발생된 미세 석분 및 침출수가 삼막천으로 유입되어 안양천 본류 합류점까지 나타나 있다. 특히 2000년 이후부터 화학적 방법 및 생물학적 방법을 병행함으로써 안양천의 생태학적 수질오염 실태를 파악

하는 것은 대단히 중요한 지표로 되고 있다. 이와 더불어 수변생물 특성 상태를 조사·분석함으로써 앞으로 하천의 생태하천 복원을 위한 중요한 자료로 활용되고 있으며(Lee, Y. K., Kim, K. J, 2000; Lee, Y. K., Han, J. G. and Hong, C. S), 안양천 수질오염 예측 및 수변계획의 연구동향은 다음과 같다.

안양천 수질오염 예측을 위해 김성순·이양규·김갑진(1995)은 하천의 수질예측을 위한 수치모형 및 김갑진·이양규(1997)는 안양시 관내하천 수질모형 예측을 대한상하수도학회 논문집에 게재하였다. 화학적 방법 및 생물학적 방법을 병행하여 이양규(2000년)는 안양천의 생태학적 수질오염 실태분석을 대한토목학회 논문집에 게재하였다. 안양천 유지관리방안을 위해 이명복(2002)은 안양천 유역의 효율적인 관리방안에 관한 연구를 석사학위논문으로 발표하였고, 그 이후 계절별 수변계획을 이양규·김갑진·홍창선(2003년)은 수변계획을 위한 생태학적 수질오염 실태분석을 대한상하수도학회 논문집에 게재 하였고, 이양규·한중근·홍창선(2006년)은 안양천의 계절별 수질분석을 대한상하수도학회 논문집에 게재, 이양규·조원철(2006)은 안양천의 생태학적 수질오염도 평가를 환경복원녹화기술학회 논문집에 게재하였다. 또한 과거 석산개발로 인한 중금속 오염을 가중시킨 삼막천에 대해 한중근·이양규·홍기권(2010년)은 경인교대 석산개발 사례를 이용한 주변 지역의 중금속 오염분석 및 대책방안에 관한 연구를 한국토목섬유학회 논문집에 게재하였다. 따라서 이 연구에서는 최근 5개년(2008~2012)동안의 안양천의 하천오염 정도를 하수

처리수 재이용을 통한 계절별 강우량 변동에 따라 하천의 건천상태를 살펴보고, 안양천 및 주요지역에서 채집된 시료를 통해 수질오염 상태를 지천별로 조사하였다. 또한 이들 관계를 각 지천의 주변 환경 조건을 고려하여 오염 발생원을 분석하여 각 지천별 오염정도를 분석하여 제시하였다.

II. 안양천의 지리적 현황 및 강우특성

1. 지리적 현황

안양천은 서울을 관류하는 한강의 제1지천으로서 상류인 의왕시의 왕곡천부터 하류인 서울 양천구에 위치한 양화교까지 유역면적 286.55 km², 총 유로연장은 34.74km이며, 지류는 도림천을 포함하여 상류인 의왕시 지천(통미천, 왕곡천, 오전천), 및 산본시 지천(당정천, 산본천), 중류하천(학의천), 하류지천(수암천, 삼성천, 삼막천, 삼봉천) 등 15개의 지천으로 구성되어 있다. 이 연구를 위하여 상류인 의왕시 지천(통미천, 왕곡천, 오전천), 및 산본시 지천(당정천, 산본천)의 오염도는 II급수 수질로 조사되어 중류

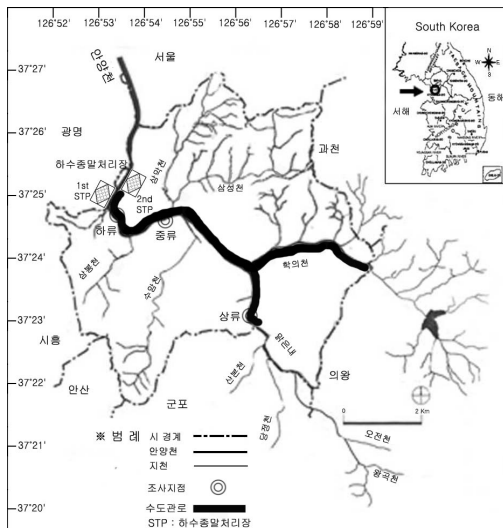


Figure 1. Map of the Anyang stream showing investigated sites.

하천(학의천)과 하류지천(수암천, 삼성천, 삼막천, 삼봉천) 및 안양천 본류에 대해서만 조사·분석하여 제시하고자 한다. 안양천 오염조사 위치 및 하천정화시설 설치 위치도는 Figure 1과 같다.

III. 재료 및 방법

1. 강우특성

이 연구를 위해 최근 2002년부터 2012년까지 우리나라 연평균 강우량은 1,445.4mm을 나타내고 있으며, 안양천 유역의 연평균 강우량은 1,474.2mm이다. 이 연구 대상 기간인 2008년부터 2012년까지의 연평균 강우량은 1,627.8mm으로서 안양천 유역의 수질오염 조사기간인 2008년부터 2012년까지 평균 강우량은 우리나라 연평균 강우량보다 182.4mm가 많으나, 이는 강우량이 많음에도 상류 및 중류유역에 저류할 수 있는 시설이 없으므로 모두 하류인 한강으로 유출되고 있다(Figure 2).

또한 안양천 유역의 우기철(6월~9월) 강우집중률은 약 74%에 이르며, 연중 최대편차는 약 759mm에 이르고 있다. 이는 남부 지방의 연평균 강우량(1,000mm~1,800mm)에 근접하고 있다 (Lee, Y. K., Kim, K. J, 2000; Lee, Y. K., Han, J. G. and Hong, C. S, 2006; <http://www.kma.go.kr>;

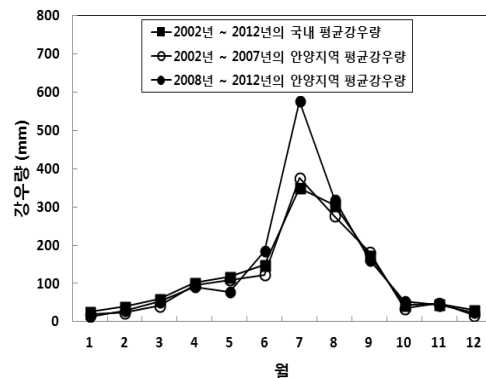


Figure 2. Monthly mean rainfall of Anyang stream basin and Korea.

water.nier.go.kr, 2012). 2002년 이전 25년간 유출률은 64%에 달하며 평상시 수심은 안양천 본류는 0.1~0.6m, 주요 지천은 0.05m~0.2m로 유량이 아주 작으며 안양시 환경보존 종합계획 시 생태환경조사에서 안양천 주요 지류인 삼성천, 삼막천, 수암천의 경우 건천화 일수는 연중 90일 이상으로 건천화 일수가 산정된 후 하수처리수 재이용시설로 인한 수량 확보로 삼막천 외에는 건천화 현상이 없는 것으로 조사되었다(Anyang-si, 2004; Anyang-si, 2011). 또한 중국으로 부터 유입되는 모든 기압골이 안양천 동쪽에 위치한 관악산 및 삼성산 등에 의한 지형성 집중호우가 빈번하게 발생하고 있고, 특히 여름철에는 장마전선과 합류하여 우리나라 중부지역에 발생하는

집중호우 발생과 동일한 경향을 보이고 있다(Han, J. G., Lee, Y. K., Kim, T. H. and Hwang, I. J, 2005). 이러한 문제점은 이미 언급한 바와 같이 안양천의 수질개선 및 생태복원 등의 문제를 해결하기 위해 고려 항목 중 한 부분이 될 것으로 사료된다.

2. 안양천의 수질오염 분석

(1) 하천 개량 사업 개요 및 오염조사 방법

하천의 목표수질은 하천의 자정능력에 따라 장래 발생할 오염부하량과 하천 유량 등을 고려한 목표 년도의 하천수질을 예측하게 된다. 따라서 합리적인 수질관리 및 수변계획을 위해서는 현 상태의 하천수질을 정확히 측정하는 것이

Table 1. Summary on water transmission system of wastewater reuse facility at Anyang-si.

구간	시 설		
	지름(mm)	연장L(m)	송수량Q(m ³ /day)
안양천	900	7,220.3	Q ₁ = 15,500
	600	1,730.0	Q ₂ = 34,000
학의천	700	4,110.0	Q ₁ = 21,000 Q ₂ = 40,000

Table 2. Guarantee water-quality and actual discharge water-quality (mg/l).

구 분	BOD	COD	SS	T-N	T-P	대장균군수
법정방류수질	10이하	40이하	10이하	20이하	2이하	3,000개/ml이하
성능보증수질	5이하	8이하	5이하	15이하	0.5이하	500개/ml이하
실제방류수질	2.7	8.5	2.7	10.009	0.261	339개/ml이하

Table 3. Analysis method (APHA, 1998).

Items	Analysis methods
Water temp	Thermometer(direct)
pH	632- pH meter(direct)
BOD	Winkler's azide modification
COD	KnO ₄ method
DO	DO meter(TOA DO-149, Direct)
SS	Filtration method(GFC)
T-P	Absorption metric analysis (Milton Roy UV Spectronic 601)
T-N	Ultraviolet absorption metric analysis (Milton Roy UV Spectronic 601)

중요하다. 특히 안양천은 2001년 “안양천 살리기운동”(Anyang-si, 2001)이후 조금씩 회복하기 시작하여 안양천 본류는 Ⅲ급수 수질로 나타나고, 각 지천은 Ⅱ급수 수질로 변모하였다(Lee, Y. K., Kim. K. J, 2000; 안양시, 2004; Han, J. G., Lee, Y. K., Kim, T. H. and Hwang, I. J, 2005). 따라서 안양시에는 이러한 대책으로 2003년 이후 Figure 1과 같이 하수처리수를 학의천과 안양천 본류에 각각 송수관로를 이용하여 총 송수 길이가 약 13km에 이르게 송수시켜 90일 이상의 건천화 특성을 갖고 있는 안양천의 유량을 4 계절 동안 일정수준까지 유지시키도록 개선하였으며, Table 1과 같다(Anyang-si, 2011; Ministry of Environment in Korea, 2011). 하수처리장방류 수질기준을 법정방류수질 및 성능보증수질(Table 2)로 살펴보면 안양천 본류의 경우에는 하수처리수가 성능보증수질 Ⅱ급수 수질에 해당되므로 이들 개선결과에 따른 안양천의 수변계획을 위한 계절별 수질변화를 분석하였다. 이를 위해 안양천에 대한 수질오염 정도를 수질분석법(Table 3)에 따라 안양시 생태환경 조사에서 조사한 2008년부터 2012년까지의 분석결과를 이용하였다.

(2) 수질오염의 계절별 변화

수질분석으로는 시료당 BOD, COD, SS, T-P, T-N 농도를 매회 측정 시 3회 이상 측정된 평균치 수온, pH, DO 및 탁도를 사용하였다. 안양천 및 지류의 상류(구군포교), 중류(안양대교 지점) 및 하류지점(동아제약)을 중심으로 매월 실시하였으며 조사 위치는 Figure 1과 같다. Figure 3은 2008년부터 2012년까지 안양천의 수질오염 계절별 변화를 나타내고 있다. T-N은 2003년 하수처리시설 및 송수관로 설치후 서서히 감소하며, T-P는 이 시기에는 변화가 없었다. 이는 하수관거 정비작업 및 안양천 살리기 운동에 따른 결과라 할 수 있다.

최근 2008년~2012년에 측정된 수질조사 결

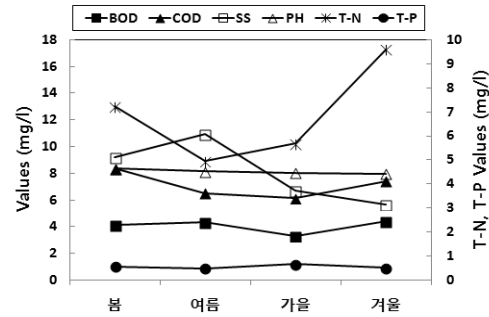


Figure 3. Seasonal mean water-quality of Anyang stream.

과, 예년에 비해 수온과 pH의 변화는 거의 없으며, 2003년에는 제2차 하수종말처리장이 완성되었고, 그 처리수를 안양천 본류와 학의천 각각의 상류로 송수시킴으로서 건천화 방지효과뿐만 아니라 BOD, COD, SS, T-N 농도가 급격히 낮아졌으며, T-P값도 매우 낮아지고 있음을 알 수 있다. 2008년~2012년에 측정된 BOD, COD, SS, T-N, T-P에 대한 연평균 수질오염 상태를 안양천 본류에 대하여 나타내면 다음과 같다.

Figure 3과 같이 안양천 본류의 연평균 수질 계절별 변화 BOD는 4.01mg/l [최소치(3.29mg/l)는 09월~11월, 최대치(4.42mg/l)는 12월~02월], COD 7.14mg/l [최소치(6.12mg/l)는 09월~11월, 최대치(8.34mg/l)는 03월~05월], SS는 7.79mg/l [최소치(5.65mg/l)는 12월~02월, 최대치(10.96mg/l)는 06월~08월]DO는 9.73mg/l [최소치(7.95mg/l)는 06월~08월, 최대치(12.38mg/l)는 12월~02월]를 나타내고 있다. 또한 T-N은 7.090mg/l [최소치(4.957mg/l)는 06~08월, 최대치(9.602mg/l)는 12월~02월] 및 T-P는 0.524mg/l [최소치(0.499mg/l)는 06~08월, 최대치(0.681mg/l)는 09월~11월]를 나타내고 있다. BOD, COD는 안양천 본류의 경우 갈수기에 증가한 후 우기철에는 감소하며, COD가 BOD 보다 높게 조사되고 있으며, DO 연평균 (9.73mg/l) 및 pH(연평균 8.12mg/l)는 하천수질 환경기준 범위에 만족하는 것으로 나타나고 있다.

(3) 각 지천별 수질 오염도

안양천의 수질은 안양천의 계절별 유출률 및 강우특성에 영향을 받는다(Han, J. G., Lee, Y. K. and Hong, K. K, 2005). 따라서 이 절에서는 하천의 오염도를 지천별로 구분하여 계절특성을 고려하여 분석하였다. 또한 여름철에 해당하는 6월~9월 사이는 1년 강우량의 74% 정도를 기록하는 우기철로 구분할 수 있고, 겨울철 12월~02월과 봄철 3월~5월은 Figure 2를 살펴보면 갈수기로 구분할 수 있다. 2008년~2012년에 측정된 BOD, COD, SS, T-N, T-P에 대한 연평균 수질오염 상태를 각 지천별로 나타내면 다음과 같다.

1) 갈현천 수질 오염도

Figure 4와 같이 갈현천의 연평균 변화 BOD는 2.62mg/l [최소치(2.17mg/l)는 09월~11월, 최대치(3.56mg/l)는 12월~02월], COD 4.64mg/l [최소치(4.26mg/l)는 06월~08월, 최대치(5.35mg/l)는 03월~05월], SS는 4.44mg/l [최소치(3.36mg/l)는 06월~08월, 최대치(6.33mg/l)는 09월~11월], DO는 10.27mg/l [최소치(8.40mg/l)는 06월~08월, 최대치(12.34mg/l)는 12월~02월]을 나타내고 있다. 또한 T-N은 4.344mg/l [최소치(4.049mg/l)는 06~08월, 최대치(4.834mg/l)는 12월~02월] 및 T-P는 0.363mg/l [최소치(0.336mg/l)는 12~02월, 최대치(0.475mg/l)는 09월~11월]을 나타내고 있다.

2) 수암천 수질 오염도

Figure 5와 같이 수암천의 연평균 변화 BOD는 2.03mg/l [최소치(0.86mg/l)는 06월~08월, 최대치(3.17mg/l)는 03월~05월], COD 3.58mg/l [최소치(2.19mg/l)는 09월~11월, 최대치(4.10mg/l)는 03월~05월], SS는 5.61mg/l [최소치(1.96mg/l)는 09월~11월, 최대치(8.97mg/l)는 03월~05월], DO는 7.69mg/l [최소치(6.46mg/l)는 06월~08월, 최대치(9.80mg/l)는 12월~02월]을 나타내

고 있다. 또한 T-N은 3.649mg/l [최소치(2.143mg/l)는 06~08월, 최대치(4.831mg/l)는 12월~02월] 및 T-P는 0.407mg/l [최소치(0.202mg/l)는 03~05월, 최대치(0.461mg/l)는 09월~11월]을 나타내고 있다.

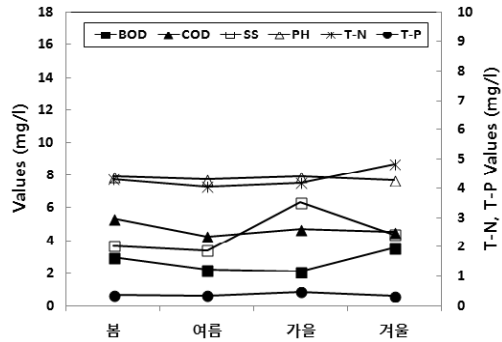


Figure 4. Seasonal mean water-quality of Galhyeon Stream.

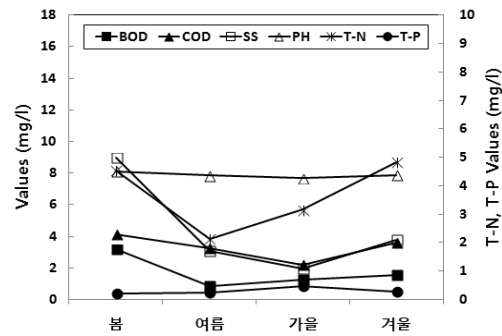


Figure 5. Seasonal mean water-quality of Suam stream.

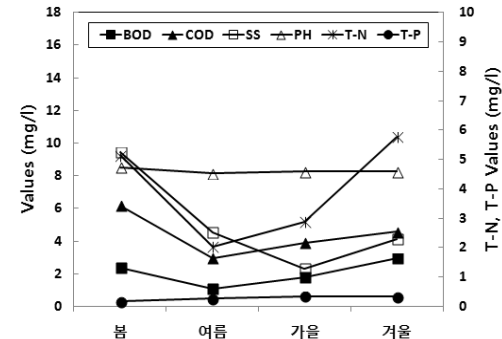


Figure 6. Seasonal mean water-quality of Samseong stream.

3) 삼성천 수질 오염도

Figure 6과 같이 삼성천의 연평균 변화 BOD는 2.05mg/l [최소치(1.08mg/l)는 06월~08월, 최대치(2.95mg/l)는 03월~05월], COD 4.42mg/l [최소치(2.95mg/l)는 06월~08월, 최대치(6.17mg/l)는 03월~05월], SS는 5.34mg/l [최소치(2.34mg/l)는 09월~11월, 최대치(9.42mg/l)는 03월~05월], DO는 8.63mg/l [최소치(7.50mg/l)는 06월~08월, 최대치(11.40mg/l)는 12월~02월]을 나타내고 있다. 또한 T-N은 3.947mg/l [최소치(2.041mg/l)는 06~08월, 최대치(5.771mg/l)는 12월~02월] 및 T-P는 0.279mg/l [최소치(0.270mg/l)는 06~09월, 최대치(0.358mg/l)는 09월~11월]을 나타내고 있다.

4) 삼막천 수질 오염도

Figure 7과 같이 삼막천의 연평균 변화 BOD는 0.94mg/l [최소치(0.66mg/l)는 03월~05월, 최대치(1.41mg/l)는 12월~02월], COD 3.06mg/l [최소치(2.48mg/l)는 12월~02월, 최대치(3.62mg/l)는 09월~11월], SS는 6.60mg/l [최소치(2.60mg/l)는 03월~05월, 최대치(9.84mg/l)는 09월~11월], DO는 8.66mg/l [최소치(7.43mg/l)는 06월~08월, 최대치(11.01mg/l)는 12월~02월]을 나타내고 있다. 또한 T-N은 2.770mg/l [최소치(1.981mg/l)는 09~11월, 최대치(3.160mg/l)는 03월~05월] 및 T-P는 0.181mg/l [최소치(0.135mg/l)는 06~09월, 최대치(0.258mg/l)는 09월~11월]을 나타내고 있다. 특히 삼막천의 경우 SS가 높게 나타나고 있는 것은 여름 및 가을의 우기철에 채석장으로 부터 많은 탁도 성분이 배출되는 것으로 사료된다.

5) 삼봉천 수질 오염도

Figure 8과 같이 삼봉천의 연평균 변화 BOD는 1.85mg/l [최소치(1.18mg/l)는 06월~09월, 최대치(2.85mg/l)는 12월~02월], COD 3.61mg/l [최소치(3.50mg/l)는 12월~02월, 최대치(3.85mg/l)는 03월~05월], SS는 6.48mg/l [최소치(4.40mg/l)

는 09월~11월, 최대치(9.69mg/l)는 12월~02월], DO는 9.86mg/l [최소치(7.76mg/l)는 06월~08월, 최대치(12.99mg/l)는 12월~02월]을 나타내고 있다. 또한 T-N은 2.292mg/l [최소치(1.999mg/l)는

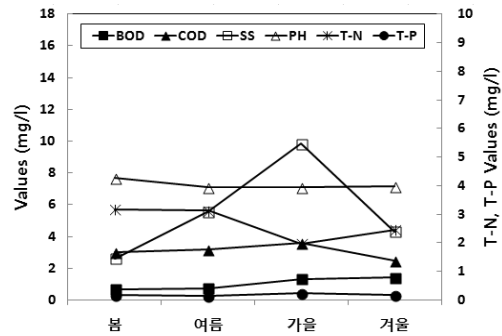


Figure 7. Seasonal mean water-quality of Sammak stream.

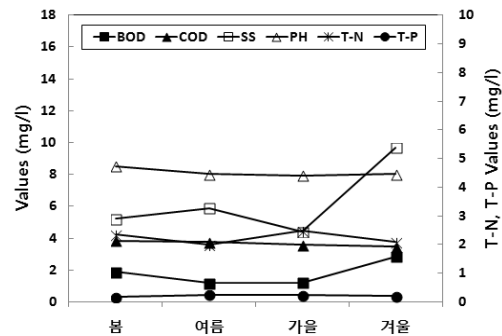


Figure 8. Seasonal mean water-quality of Sambong stream.

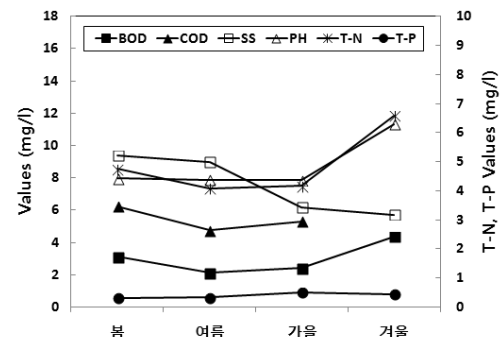


Figure 9. Seasonal mean water-quality of Hagui stream.

06~09월, 최대치(2.474mg/l)는 09월~11월] 및 T-P는 0.216mg/l [최소치(0.182mg/l)는 03~05월, 최대치(0.249mg/l)는 06월~09월]을 나타내고 있다.

6) 학의천 수질 오염도

Figure 9와 같이 삼막천의 연평균 변화 BOD는 3.05mg/l [최소치(2.12mg/l)는 06월~09월, 최대치(4.39mg/l)는 12월~02월], COD 5.56mg/l [최소치(4.74mg/l)는 06월~09월, 최대치(6.24mg/l)는 03월~05월], SS는 7.17mg/l [최소치(5.72mg/l)는 12월~02월, 최대치(9.37mg/l)는 03월~05월], DO는 9.71mg/l [최소치(8.17mg/l)는 06월~08월, 최대치(12.44mg/l)는 12월~02월]을 나타내고 있다. 또한 T-N은 4.909mg/l [최소치(4.084mg/l)는 06~09월, 최대치(6.585mg/l)는 03월~05월] 및 T-P는 0.380mg/l [최소치(0.320mg/l)는 03~05월, 최대치(0.510mg/l)는 09월~11월]을 나타내고 있다.

각 지천의 경우 갈수기에는 오염도가 높아지고 우기철에 낮아지는 경향을 보이며, 이는 유량이 작은 겨울철 및 갈수기에 안양천 본류(상류) 및 중류(학의천)하천 측점 이후에는 송수관로 설치로 인한 유량이 확보되면서 중류측점의 SS는 계절별 일정한 감소 경향을 보이고 있다. 또한 안양시(Anyang-si, 2004)에 의하면 상류의 경우 일부 하수는 차집관로가 설치되어 있는 경우에도 지선연결이 되어 있지 않은 지역 등에서 아직 하수가 처리장을 통하지 않고 하천으로 유입되고 있음을 하천의 BOD 부하량을 생활계 및 산업계를 통해 제시하고 있는 자료에서도 알 수 있었다. 그리고 DO 및 pH는 하천수질환경기준 범위에 만족하는 것으로 나타나고 있다.

전체적으로 각 지천은 방류수수질기준치 이하인 값의 분포를 나타내고 있으며, T-P량을 살펴보면 겨울철 및 봄철에 높은 값을 나타내고 있다. 이와 같이 안양천 하류에서 T-N 및 T-P량이 조금 크게 나타나고 있는 것은 일부 지천인 삼봉천에서는 가축분뇨, 그 외 지천에서는 생활

하수가 우기철에 배출되며, 하수종말처리장에서 T-N 및 T-P가 법정기준에 미달되어 하수처리수의 재이용 등의 관리미비가 원인으로 사료된다. 또한 동절기와 하절기의 변화의 값이 비교적 작아진 것은 2003년부터 시행된 제2차 하수종말처리장의 송수시스템 완성과 하수처리수 재이용 실제방류수질이 성능보증수질보다 낮은 II급수 수질을 송수함으로써 안양천본류 및 학의천 상류의 따른 건전화방지사업의 결과라 할 수 있다.

IV. 안양천의 화학·생물 및 생태학적 오염도

생태학적 분석기준은 Table 4와 같이 Marson and Kolkwitz(1982)의 하천자정단계를 강부수성, α-중부수성, β-중부수성 및 빈부수성 수역으로 구분한 것과 수질계급의 Saprobien system을 이용하여 적용하였다. 또한 수생생물의 종에 따른 군집(群集)분석을 실시하기 위하여 종의 동정은 McCafferty(1981), Kawai(1985), Merrit & Cummins(1985) 등을 참고로 하였으며, 정량 채집된 각 종의 개체수 현존량을 1m²로 환산하여 산출하였다. 또한 군집분석은 주로 정량 채집된 자료를 이용하여 산출하였다(Lee, Y. K., Kim, K. J. and Hong, C. S, 2003; Lee, Y. K, 2010). 이양규(2003) · 안양시(<http://www.anyang.go.kr>, 2012)는 이 연구의 조사지역에서 출현한 대부분의 생물상 자료에 대하여 Table 5와 같이 조사되었다.

토속종, 귀화 종, 식재종의 구성비를 보면 총 540종수 중 토속종 490(90.7%), 귀화종 24(4.5), 식재종 26(4.8%)으로 나타나고 있다. 또한 개화시기별 식물종 계절별 구성비를 살펴보면 봄철 231(42.8%), 여름철 215(39.8%), 가을철 17(3.2%), 봄-여름철 32(5.9%), 여름-가을철 34(6.3%), 봄-여름-가을-겨울철 11(2.0%)로 나타내고 있다.

수질등급은 환경변화에 민감하고 종류에 따라 비교적 뚜렷한 내성범위를 가지고 있으므로

Table 4. A body of water classification based on self-purification of stream (Marson and Kolkwitz,1982).

구 분	강부수성 수역	α-중부수성 수역	β-중부수성 수역	빈부수성 수역
화학적 과정	환원, 부패현상 심함	수중, 저니에서 산화과정 발생	산화과정 활발	산화, 무산화의 완성된 단계
BOD	10mg/l 이상	5~10mg/l	2.5~5mg/l	2.5mg/l 이하
COD	10mg/l 이상	4~10mg/l	2~4mg/l	2mg/l 이하
DO	2mg/l	2~6mg/l	6~8mg/l	9mg/l 이상
H ₂ S 형성	강한 황화수소 냄새 발생	심한 황화수소의 냄새 없어짐	없음	없음
유기물	유기질소 화합물, 단백질 등의 고분자 분해산물이 풍부	고분자 화합물의 분해에 의한 아미노산이 존재	지방산의 암모니아 화합물이 많다.	유기물 분해
저니	때로 흑색의 황화철이 존재, 저니흑색	황화철이 산화되어 저니는 흑색이 아님		저니는 대부분 산화
수생 세균	100만cells/ml 이상	10만 cells/l 이상	10만 cells/l 이하	100 cells/l 이하
NH ₄ -N	0.2mg/l	-	0.1~0.2mg/l	0.1mg/l 이하
NO ₃ -N	1.0mg/l	0.7~1.0mg/l	-	0.7mg/l 이하
대장균	10 ³ cells/ml 이상	10 ³ cells/ml 이하	10 ² cells/ml 이하	50 cells/ml 이하
서식생물 특징	pH의 변화에 강하고 소량의 산소에도 잘 견디는 혐기성 생물, H ₂ S 및 NH ₃ 에 강한 저항성을 가지고 있음.	육식동물 증가, pH, O ₂ 변화에 대한 적응력이 크며, H ₂ S에 비교적 약함.	pH의 변동과 O ₂ 는 변화에 약하다. 부패독에 장시간 견디기 힘들다.	부패성오염에 약하고 pH의 변동, DO의 변동에 약하다. 부패산물인 H ₂ S에 견디기 어렵다.

* 강부수성수역 : 생물지표(BOD)0~5, α중부수성수역 : 6~10,β중부수성수역 : 11~19, 빈부수성수역 : 20 이상

** Hilsenhoff Biotic Index(1987) : Excellent(0.0~3.50), Very Good(3.51~4.50), Good(4.51~5.50), Fair(5.51~6.50), Fairly Poor(6.51~7.50), Poor(7.51~8.50), Very Poor(8.51~10.0)

Table 5. Anyang Stream and its tributaries.

구 분	안양천 및 지천의 수변동물
저서성 대형무척추동물 (수서곤충 및 담수무척추동물)	쌍새기, 실베짱이, 식생성곤충, 깔따구류, 노린재류, 족조류, 규조류, 남조류, 참개구리, 붉은귀거북, 개미류, 메기, 밀어, 미꾸리, 붕어, 참붕어, 피라미, 버들치, 실지렁이 등
총 합	3문 5강 15목 30과 47종

보다 합리적 수질오염 분석을 위해 담수생태계의 환경을 평가하는 생물학적 및 생태학적 지표로 사용되는 저서성 대형무척추동물상을 이용하여 물의 오염도를 판단하기 위해 다음식과 같이 생물학적 오염지표(Biological Index of Pollution,

BIP)를 이용하여 수질등급과 비교하여 보았다.

Table 6과 같이 안양천 분류는 각 지천 전 구간에 걸쳐 안양천 분류는 III급수 수질로 판정되고 있으며, 생물학적 오염지표는 β-중부수성 수역으로 나타나고 있다. 또한 갈현천, 학의천, 수

Table 6. Chemical and biological water-quality states at typical crossing tributary and main of Anyang stream.

조사지점	수질등급	평균 BOD	생물학적 오염지표(BIP)	자정단계의 수역구분
갈현천	II	2.54mg/l	3.51~4.50	빈부수성 수역
안양천	상류	4.13mg/l	4.51~5.50	β-중부수성 수역
	중류			
	하류			
학의천	II	2.90mg/l	3.51~4.50	빈부수성 수역
수암천	II	2.80mg/l	3.51~4.50	빈부수성 수역
삼성천	II	1.9mg/l	3.51~4.50	빈부수성 수역
삼막천	I	0.78mg/l	0.00~3.50	빈부수성 수역
삼봉천	II	1.70mg/l	3.51~4.50	빈부수성 수역

암천, 삼성천, 삼봉천은 II급수 수질이고 삼막천 상류의 경우 I급수 수질을 보이고 있으나, 경기교대 상류에 위치한 채석장으로부터 많은 탁도 성분의 배출과 더불어 채석 시 발생하는 각종 암석에서 산성분이 용출된 유량을 정문앞 연못으로 유집시켜 투수성 반응벽체(Permeable Reaction Barrier, PRB)로부터 처리하고 있으나, 처리 기능이 미비하여 수질정화가 회복되지 못한 상태로 하천으로 방류함으로써 안양천 본류의 수질오염을 가중시키고 있다(Lee, J. Y, 2010).

그리고 생물학적 오염지표의 경우를 살펴보면 안양천 본류는 III급수 수질로서 생물학적 오염지표(BIP) 4.51~5.50이며, II급수 수질로서는 갈현천, 학의천, 수암천, 삼성천, 삼봉천의 생물학적 오염지표는 3.51~4.50이다. 또한 삼막천 상류는 I급수 수질로서 생물학적 오염지표는 0.00~3.50으로 나타나고 있다.

$$BIP = \frac{B}{A \times B} \times 100$$

여기서, A : 엽록체 생물 수(조류)

B : 엽록체가 없는 생물 수(무색생물 수)이다.

V. 결 론

안양천 본류와 주요지천인 갈현천, 학의천, 수암천, 삼성천, 삼막천 및 삼봉천의 수질오염 분석을 위하여 영향 유역에 대한 계절적 및 지형성 강우특성을 조사하였다. 특히 이 논문의 경우 하수처리수 재이용에 따른 수질오염분석을 위해 생물·화학적 방법뿐만 아니라 하천의 생물·생태학적 지표에 의한 수질측정을 수행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 최근 2002년부터 2012년까지 우리나라 연평균 강우량은 1,445.4mm이며, 안양천 유역의 연평균 강우량은 1,474.2mm이다. 수질오염 연구기간인 2008년부터 2012년까지의 연평균 강우량은 1,627.8mm으로서 우리나라 연평균 강우량보다 182.4mm가 많다. 또한 우기철의 강우집중률은 74%로 연중 최대편차는 759mm이며, 유출률이 64%로서 건천화 현상 원인으로 볼 수 있다.

2. 안양천 본류는 0.1~0.6m, 주요 지천은 0.05m~0.2m로 유량이 아주 적어, 하수처리수 재이용시설로 인한 수량확보로 삼막천 외에는 건천화 현상이 없는 것으로 조사되었다. 그러나 안양천 하류에서 T-N 및 T-P량이 나타나고 있는 것은 삼봉천 지역에서 가축분뇨, 그 외 지천에서는 생활하수가 우기철에 일시적으로 배출

되며, 또한 하수종말처리장에서 T-N 및 T-P가 법정기준에 미달되어 하수처리수의 재이용의 원인으로도 사료된다.

3. 안양천의 수질은 2001년 안양천 살리기운동 및 2003년 송수관로를 이용한 건천화 방지 사업 실시 이후부터 매우 회복되고 있다. 그러나 실제 법정방류수수질 및 성능보증수질보다 낮은 실제방류수수질은 II급수 수질로 송수되고 있으나, 안양천 본류의 조사결과 III급수 수질로 나타나고 있는 것은 안양천 본류 합류지점의 공장지역의 완전차집상태 불량, 축산폐수와 생활하수 차집이 양호하지 않은 상태에 따라서 하천의 자정작용능력이 조금 떨어지고 있으므로 지속적인 관리대책이 필요한 상태이다.

4. 안양천 본류의 경우 상류, 중류, 하류 모두 수질등급 III급수로 β -중부수성 수역으로 나타내고 있으나, 각 주요 지천의 경우 삼막천 상류의 경우 I급수로 빈부수성 수역이며, 갈현천, 수암천, 삼성천, 삼봉천, 학의천은 모두 II급수로 빈부수성부 수성으로서 생물학적 오염지표(BIP)는 낮은 것으로 조사되었다.

5. 환경보존 종합계획 시 생태환경조사에서 안양천의 지류인 삼성천, 삼막천, 수암천의 경우 건천화 일수는 연중 90일 이상으로 건천화 일수가 산정된 후 2003년부터 안양천의 수질오염도가 회복된 주원인은 건천화 방지해소 및 지속적 투자에 의한 하천환경 회복운동 등에 의해 가능한 것으로 판단되며, 특히 건천화 방지를 위한 하수처리수의 재순환 방법이 적용·시공되어 차후 그 기능 및 역할에 대한 재평가로 안양천의 금후 수생생물 서식 및 조류서식이 가능한 친수공간으로서의 하천으로 제공되고 있다.

인 용 문 헌

- APHA. Standard method for the examination of water and wastewater. 20th Ed. : McGraw-Hill Inc. Geology, International Journal of Geoscience. Vol. 48 No. 4-5, pp. 599-608.
- Kim, K. J. and Lee, Y. K. 1997. A Study on Mathematical Model for Water Quality Forecasting at Anyang stream Journal of the Korean Society of Water and Wastewater, Vol. 11, No. 3, pp. 112-123. (in Korean with English summary)
- Kim, S. S. · Lee, Y. K. and Kim, K. J. 1995. A Study on a Mathematical Model for Water Quality Prediction for Rivers Journal of the Korea Society of Water and Wastewater, Vol 9, No. 4, pp. 73-86. (in Korean with English summary)
- Korea Meteorological Administration. 2004. (KMA). (in Korean)
- An, K. G. · Park, S. S. and Shin. 2002. J. Y. An evaluation of a river health using the index of biological integrity along with relations to chemical and habitat conditions, Environment International, Vol. 28, No. 5, pp. 411-420. (in Korean with English summary)
- Anyang-si. 1995a. Study on production of pollution status and pollution map at streams in Anyang-si. (in Korean)
- Anyang-si. 2001. renaissance of Anyang Stream. (in Korean)
- Anyang-si. 2004. Ecological environment investigation of comprehensive plan on environmental conservation in Anyang-si. (in Korean)
- Anyang-si. 2011. Ecological environment investigation of comprehensive plan on environmental conservation in Anyang-si. (in Korean)
- Lee, M. B. 2002. A study on effective management of Anyang stream basin. MS Thesis. Anyang University, Gyeonggi-do, Korea. (in Korean with English summary)
- Lee, Y. K. and Kim, K. J. 2000. Aspect Analysis of Ecological Water Pollution in Anyang Stream Journal of the Korea Society of Civil Engineers,

- Vol. 20, No. 3, pp. 447-459. (in Korean with English summary)
- Lee, Y. K. · Kim, K. J. and Hong, C. S. 2003. Aspect analysis on the Ecological water pollution for side planning -in case of Anyang stream Journal of the Korea Society of Water and wastewater, Vol. 17, No5, pp. 751-758. (in Korean with English summary)
- Lee, Y. K. 2010. Water Supply Sewerage Engineering, Bomoondang, pp. 179-185. (in Korean)
- Lee, Y. K. and Cho, W. C. 2006. Assessment of Water Quality based on Ecological Factors in Anyang River Journal of the Korea Society of Civil Engineers, Vol. 9, No. 3, August, pp. 39-50. (in Korean with English summary)
- Lee, Y. K. · Han, J. G. and Hong, C. S. 2006. Analysis of Seasonal Water Quality Pollution for Side Planning Journal of the Korea Society of Water and Wastewater, pp. 347-355). (in Korean with English summary)
- Lee, J. Y. 2010. The remediation of heavy metal in the contaminated soil by permeable reactive barrier with carbonized foods waste(CFW). Ph.D Thesis. Chung-Ang University Seoul, Korea. (in Korean with English summary)
- Merritt, R. W. and K. Cummins. 1985. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Kendall & Hunt. IOWA
- Ministry of Environment in Korea. 2011. Environmental standard for water quality. (in Korean)
- Ministry of Environment in Korea. 2001. Water pollution Investigation Methods. (in Korean)
- Han J. G. · Yoon, W. I. · Lee, Y. K. · Lee, J. Y. and Hong, K. K. 010. A Study on Countermeasure and Contamination Analysis for Heavy Metal Pollution of Nearby Area using Stony Mountain Field Case. Journal of the Korean Geosynthetics Society, Vol. 9, No. 4, pp. 57-66. (in Korean with English summary)
- Han, J. G. · Lee, Y. K. · Kim, T. H. and Hwang, I. J. 2005. Analysis of seasonal water pollution based on rainfall feature at Anyang river basin in Korea. Environmental
- <http://www.kma.go.kr>. 2012.
- <http://www.anyang.go.kr>. 2008~2012.
- <http://www.water.nier.go.kr>. 2012.