하천 수질 및 부하량에 미치는 유역 내 오염원의 영향 The Effects of Pollutants into Sub-basin on the Water Quality and Loading of Receiving Streams

한미덕[†] · 손지영 · 류지철 · 안기홍 · 김용석

Mideok Han[†] · Jeeyoung Son · Jichul Ryu · Kihong Ahn · Yongseok Kim

국립환경과학원 물환경연구부
National Institute of Environmental Research

(Received June 25, 2014; Revised September 24, 2014; Accepted September 29, 2014)

Abstract : We examined the effects of pollutants into sub-basin on the water quality and loading based on data surveyed during January-December 2013 from 13 sites of 5 streams in the Jinwi watershed. We used the contour plot and Kruskal-Wallis rank sum test to analyze seasonal variation of water quality and loading and Pearson correlation analysis to assess the relationships between pollutants and loadings. The significantly higher seasonal variation were SS, TN and TOC as compared to other water quality constituents ($P < 0.001$). A significant interaction existed between the effects of human population and the effects of discharge of Sewage Treatment Plant (STP) on water quality and loading, especially for the spring and winter seasons. It is necessary to control discharge water of sewage and wastewater from industrial facilities and to make full use of the watershed management system such as TMDLs in operation since 2012 for improvement in stream water quality.

Key Words : Correlation Analysis, Load, Seasonal Variation, Sewage Treatment Plant(STP), TMDLs

요약 : 본 연구에서는 진위천 수계내 5개 하천의 13개 지점에서 2013년 1월부터 12월 사이에 조사된 자료를 바탕으로 수질 및 부하량에 미치는 유역 내 오염원의 영향을 평가하였다. 수질과 부하량의 계절별 변화를 평가하기 위해서 크루스칼-월리스 기법(Kruskal-Wallis rank sum test)을 사용하였고 오염원과 유달부하량 사이의 관계를 분석하기 위해서 피어슨 상관분석 기법(Pearson correlation analysis)을 활용하였다. 부하량의 계절 변동성은 타 수질항목 대비 SS, TN, TOC가 유의수준 1% 이내로 높게 나타났다. 상관분석에서는 수질항목별로 차이를 보였으나 거주인구와 하수처리장 방류량이 가장 높은 양의 상관계수를 보였으며 이러한 경향성은 하천유량이 적은 봄철과 겨울철에 더 높은 유의성을 나타냈다. 유역내 수질 향상을 위해서는 2012년부터 실시되고 있는 오염총량관리제도와 같은 유역관리제도의 유지 및 하수처리시설과 산업폐수처리시설로부터의 배출수의 적절한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

주제어 : 상관분석, 오염부하, 계절적 변동성, 하수처리시설, 오염총량관리제

1. 서론

하천유역환경을 효과적이고 지속적으로 관리하기 위해서는 해당 유역의 특성 및 오염원 등을 정확하게 파악하고 그러한 유역환경이 하천수질이나 부하량 등에 미치는 영향을 분석하고 검증하는 과정이 필요하다. 특히, 수질이 단기간에 급격하게 악화되거나 제도적으로 담보되어야 하는 이용 목적에 부합되지 못하는 수질 및 수생태 조건을 보이는 하천에 대해서는 더욱더 많은 자료를 이용한 포괄적인 영향 분석 및 평가 등이 요구된다.¹⁻³⁾

유역내 효과적인 하천수질 및 환경을 정량·정성적으로 평가하기 위해서는 수계로 유입되는 영향유역내의 오염원에 대한 구체적이고 정확한 자료의 확보가 뒷받침되어야 한다. 현 정부에서는 정부3.0 추진과 공공데이터의 제공 및 이용 활성화에 관한 법률이 제정·시행됨에 따라서 각 행정동리별 생활계, 축산계, 산업계, 매립계, 토지계, 환경기초시설 등의 8개 항목에 대한 전국의 오염원자료를 온라인을 통해서 제공하고 있다. 따라서 유역내 포함되는 행정동

리의 오염원자료를 활용하여 해당 수계로 유입되는 오염원 자료의 확보가 용이하게 되었다. 또한 오염총량관리제가 4대강 및 기타수계(진위천수계)에서 시행됨에 따른 주요지점에 대한 유량 및 수질 모니터링이 실시됨으로써 하천의 각 수질항목별 부하량 자료의 확보가 가능하게 되었다. 따라서 공개되고 있는 정보를 적극적으로 활용하여 유역환경을 부하량 차원에서 해석하여 하천수질 및 관리계획 등에 반영할 수 있는 내용 등을 제시하는 것이 필요할 것이다. 기존연구는 유량자료 확보의 한계로 인하여 부하량보다는 수질 및 오염원에 대한 상관성 분석 및 원인분석 등이 많았다. 특히 유역의 토지이용이 하천수질에 미치는 영향을 분석한 사례가 다수였으며, 많은 연구들에서 주거면적이 넓고 인구가 많을수록 Biological Oxygen Demand (BOD) 농도가 높고 논이나 밭 등의 경작지면적이 넓을수록 Total Phosphorus (TP) 농도가 유의하게 높은 특성을 보였다.³⁻⁵⁾

진위천수계는 2012년부터 오염총량관리 시행계획이 실시 중이다. 매년 계획의 이행평가를 통해서 할당 부하량의 준수여부를 평가하고 평가결과에 따른 이행조치 등을 제시하

[†] Corresponding author E-mail: hanmd76@korea.kr Tel: 032-560-7389 Fax: 032-560-7978

도록 하고 있다.⁶⁾ 그러나 해당 이행평가에서는 수질자료만을 이용한 단위유역말단에서의 평가수질 분석 및 오염원자료를 통해 산정된 발생 및 배출부하량만을 제한적으로 평가하고 있어 실제 유량과 수질 자료를 통한 부하량과의 비교분석 및 단위유역말단지점에서의 목표수질 달성가능성 등에 대한 평가는 제한적으로 이루어지고 있다. 그러나 해당 계획의 효과 및 영향을 실질적으로 평가하기 위해서는 실제 모니터링 자료를 통한 오염원과 부하량과의 비교분석이 필요할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 진위천유역의 주요하천인 진위천, 오산천, 황구지천의 14개 지점의 1) 수질, 유량, 부하량에 대한 계절적 변동 특성을 파악하고, 각 지점의 상류 영향유역의 오염원자료를 바탕으로 2) 실제 유달 부하량과 오염원의 상관분석을 실시하였다. 연구결과를 통해서 계절별 변동성이 뚜렷하게 나타나는 수질항목을 평가하고, 오염원이 하류 수질 및 부하량에 미치는 영향을 계절별로 분석하여 각 수질항목별 주요 원인 오염원을 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상 유역현황

연구대상지인 진위천 유역은 안성천수계로 유입되는 주

요하천으로 2009년 단위유역말단의 5일 BOD (BOD_5) 농도가 13.0 mg/L로 VI등급(생활환경 기준)을 나타냄에 따라서 수질오염이 심각한 수준이다. 해당유역은 상류지역에는 인구 및 시가지가 집중되어 있으며 하류지역에는 주로 농업 및 축산 등이 활성화 되어 있다. 따라서 상류지역의 경우 대규모 하수처리장 및 산업폐수배출시설의 방류수가 수계로 유입되고 있으며, 하류의 비도시 시가지지역의 정화조 유출이나 미처리된 불명수 등이 유입됨에 따라서 하류로 유하할수록 수질오염이 심각해지는 경향을 보이고 있다.⁷⁾

해당 유역은 2012년부터 본격적으로 오염총량관리 시행계획이 실시되고 있으며 환경부에 의해서 2011년부터 시·군경계 등 14개 지점에서 유량 및 수질자료가 연속적으로 측정되고 있다. 또한 매년 조사되고 있는 전국오염원 조사자료를 바탕으로 오염총량관리 시행계획에 대한 이행평가를 실시하고 있다.

진위천 유역은 국가하천인 안성천수계의 북서부에 위치하고 있으며 주요지류하천은 황구지천과 오산천으로 구성된다. 총유역면적은 735.22 km²에 해당하며 수원시, 오산시, 용인시, 평택시, 화성시, 의왕시, 군포시, 안성시의 8개시가 포함된다. 유역범위는 오염총량관리제에서 고시하고 있는 진위A 단위유역과 동일하다. 분석에 이용된 조사지점은 총 14개 지점으로 지점별 위치는 Fig. 1과 같다. 진위천 본류에서는 진위A1, 진위A3, 진위A12, 진위A의 4개 지점,

Fig. 1. Study area and sampling sites.

Table 1. Environmental pollutants into upper basin of sampling sites

Streams	Sites	Human life		Livestock			Land use					Others			
		Population (thousand persons)	Population density (person/km ²)	Cattle (head)	Pig (head)	Poultry (thousand heads)	Upland (km ²)	Paddy (km ²)	Forest (km ²)	Site area (km ²)	Others (km ²)	Waste water discharge from factories (ton/day)	Fish farm area (m ²)	Water-shed area (km ²)	Discharge from STP (ton/day)
Jinwi	jinwiA1	2	92	4,007	0	45	1.1	2.7	13.3	1.3	2.2	1	0	20.6	0
	jinwiA3	31	195	7,744	11,941	1,526	8.9	19.9	78.2	9.8	13.5	5,689	4,737	160.7	6,806
	jinwiA12	2,113	3,331	22,094	66,125	2,832	7.4	20.5	26.0	10.8	10.2	183,888	38,174	634.3	682,163
	jinwiA	2,221	3,058	37,377	110,698	4,112	7.4	26.0	10.4	12.9	14.7	198,061	58,469	726.3	743,336
Osan	jinwiA4	231	4,401	1	204	1	2.0	2.4	24.3	16.0	7.7	3,688	450	52.4	65,058
	jinwiA5	333	2,983	11	504	30	5.0	8.2	24.5	13.2	8.2	53,079	450	111.5	69,793
	jinwiA6	518	3,667	280	1,006	110	3.0	4.6	6.5	12.7	3.1	67,846	6,562	141.4	162,316
Huangguji	jinwiA7	11	1,535	80	0	0	1.5	0.8	2.3	2.2	0.5	38	0	7.4	2,127
	jinwiA8	36	2,404	160	1,000	0	1.5	0.8	2.1	2.0	1.3	73	0	15.2	15,162
	jinwiA9	1,475	8,322	1,841	2,749	20	13.0	22.3	33.0	69.5	24.1	88,434	900	177.2	507,062
	jinwiA10	1,489	7,641	2,431	2,882	20	1.8	3.5	7.2	3.4	1.7	89,120	900	194.9	510,252
	jinwiA11	1,508	5,859	8,302	23,421	452	5.7	11.2	13.6	7.6	3.7	90,698	24,540	257.4	512,767
Sungeen	jinwiA2	1	120	932	4,786	50	0.6	1.5	6.2	0.9	0.6	131	553	9.9	0
Khwanry	jinwiA13	4	183	2,773	12,054	280	2.7	4.5	8.1	3.7	1.5	475	0	20.5	40

오산천에서는 진위A4, 진위A5, 진위A6의 3개 지점, 황구지천에서는 진위A7, 진위A8, 진위A9, 진위A10, 진위A11의 5개 지점, 기타 주요지천인 성은천(진위A2)과 관리천(진위A13)에서 각각 1개 지점에 대한 수질 및 유량자료를 이용하였다.

각 지점별 주요환경인자 및 오염원은 Table 1과 같으며, 각 지점의 상류 영향유역에 대한 생활계, 축산계, 토지계, 산업계, 양식계 오염원 정보를 제시하였으며, 오염원정보는 2012년 전국오염원 조사 자료를 바탕으로 하였다.⁸⁾ 생활계는 인구, 인구밀도, 하수처리장으로부터의 방류량을 수집하였으며 인구밀도는 진위A9의 상류유역이 가장 높았고 하수처리장으로부터의 방류량은 황구지천인 진위A8에서 진위A9지점 사이에서 약 50만 m³/일이 유입되는 것으로 파악되어 최하류인 진위A지점의 상류유역에서 배출되는 방류량은 75만 m³/일에 달했다. 축산계에서는 한우와 육우를 포함한 소와 돼지 및 가금류에 대한 개체수를 조사분석한 결과 진위A11과 진위A12 지점 사이에서 축산업이 활성화되어 있는 평택시 점유 유역 및 오산천유역이 합류되면서 사육두수가 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 토지계는 토지이용에 대한 자료를 수집하였으며 대지면적비는 상류유역의 90% 이상이 수원시인 진위A9지점이 0.416으로 가장 높았다. 산업계의 산업시설로부터의 폐수배출량은 진위A11과 진위A12 지점사이의 유역으로부터 가장 많이 유입되었으며, 양식계의 양식장은 진위A11지점 이하 유역에 다수 분포하는 것으로 나타났다.

2.2. 수질 · 유량 조사 및 상관성분석

수질 및 유량자료는 국립환경과학원 한강물환경연구소에서 2013년 1월 1일부터 12월 31일 사이에 8일 간격으로 연

간 36회 이상 측정된 자료를 활용하였다. 유량은 유역구간별 측정지점에서 하상특성에 따라서 일정구간을 구획하여 구간별 유속을 측정하고, 대상지점에서 수심과 하폭을 이용하여 작성된 하상단면을 이용하여 유량을 산정하였다. 수질은 BOD, Chemical Oxygen Demand (COD), Suspended Solid (SS), Total Nitrogen (TN), TP, Total Organic Carbon (TOC)의 6개 항목에 대하여 수질오염공정시험기준(환경부 고시 제2011-103호)에 의해서 조사·분석 되었다.⁹⁾

각 지점별 계절별 수질 및 유량 현황은 Table 2에 제시하였다. 봄철은 3~5월, 여름철은 6~8월, 가을철은 9~11월, 겨울철은 12~2월의 자료를 평가하였다. 평균유량은 최하류 지점이면서 집수유역면적이 가장 넓은 진위A지점에서 여름철에 47.3 m³/sec로 가장 높게 나타났다. BOD는 진위A9지점에서 모든 계절에 가장 높은 농도를 보였으며 봄철에 16.2 mg/L로 최대값을 보였다. COD는 진위A7지점에서 17.5 mg/L(겨울철), SS는 진위A5지점에서 69.8 mg/L(여름철)로 가장 높았다. TN, TP, TOC는 모두 진위A9지점에서 각각 16.832 mg/L(봄철), 1.209 mg/L(봄철), 10.170 mg/L(봄철)의 최대값을 보였다. 전반적으로 오산천에 포함되는 3개 지점, 진위천 상류의 2개 지점, 성은천과 관리천의 수질은 양호한 반면 황구지천의 수질과 황구지천이 합류된 이후의 진위천 본류의 수질상태가 미흡한 것으로 평가되었다. 특히 유량이 적고 강수량이 적은 봄철과 겨울철의 수질항목별 농도가 높은 특징을 보였다.

부하량의 시·공간적 특징을 파악하기 위해서 진위천 4개 지점, 오산천 3개 지점, 황구지천 5개 지점에 대한 월별 유량과 부하량(BOD, COD, SS, TN, TP, TOC)의 등고선 선도(contour plot)를 제시하였다(Fig. 2~4). 통계분석에는 각 수질항목별 농도와 부하량의 계절적 차이에 대한 유의성을

Table 2. Average values of water quality and flow at 14 sampling sites

Stream	Sites	Season	Flow (m ³ /sec)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TOC (mg/L)
Jinwi	jinwiA1	spring	0.3(0.1)	1.5(0.1)	4.4(0.4)	6.3(2.0)	1.792(0.065)	0.037(0.008)	2.48(0.27)
		summer	0.6(0.1)	1.4(0.2)	4.6(0.3)	3.9(0.7)	1.777(0.147)	0.038(0.004)	2.75(0.20)
		fall	0.2(0.1)	0.8(0.1)	3.3(0.3)	3.4(0.9)	1.421(0.102)	0.019(0.002)	1.60(0.17)
		winter	0.2(0.1)	0.8(0.1)	2.6(0.4)	1.3(0.4)	2.081(0.088)	0.021(0.007)	1.46(0.19)
	jinwiA3	spring	2.0(0.5)	2.3(0.3)	5.6(0.6)	9.0(2.4)	2.044(0.092)	0.066(0.014)	3.27(0.35)
		summer	6.7(4.5)	1.5(0.2)	6.2(0.4)	12.5(2.9)	1.839(0.097)	0.064(0.010)	3.64(0.20)
		fall	2.3(0.9)	1.1(0.1)	4.1(0.3)	3.2(0.6)	1.997(0.218)	0.025(0.002)	2.05(0.15)
		winter	2.1(0.9)	1.8(0.5)	4.7(0.7)	2.7(1.3)	2.251(0.150)	0.050(0.021)	2.63(0.43)
	jinwiA12	spring	13.6(1.2,0)	8.4(0.7)	12.8(0.4)	20.7(3.6)	12.273(0.885)	0.704(0.044)	8.62(0.35)
		summer	30.6(11.5)	7.6(0.9)	11.5(0.5)	29.6(6.0)	6.132(0.584)	0.445(0.043)	7.88(0.56)
		fall	20.7(8.1)	5.4(0.9)	10.0(0.6)	25.8(15.5)	7.936(0.729)	0.482(0.029)	6.40(0.58)
		winter	12.0(1.7)	7.7(0.9)	12.4(1.2)	9.9(1.1)	12.448(1.139)	0.464(0.039)	8.19(0.54)
	jinwiA	spring	22.6(6.6)	8.6(0.8)	13.0(0.6)	18.5(3.1)	10.421(0.710)	0.508(0.030)	8.67(0.22)
		summer	47.3(15.6)	7.5(0.9)	11.7(0.8)	23.4(3.1)	5.810(0.558)	0.387(0.031)	8.05(0.52)
		fall	24.3(12.4)	6.6(0.7)	11.3(0.7)	16.7(2.1)	7.619(0.544)	0.516(0.104)	7.60(0.68)
		winter	13.4(1.6)	7.3(1.2)	12.6(1.3)	14.5(3.8)	11.425(0.945)	0.482(0.043)	8.41(0.68)
Osan	jinwiA4	spring	1.5(0.2)	3.5(0.5)	7.3(0.2)	7.5(2.0)	10.984(0.809)	0.420(0.041)	4.58(0.15)
		summer	2.1(0.9)	2.7(0.5)	7.7(0.3)	18.7(6.1)	7.463(1.286)	0.277(0.042)	4.75(0.27)
		fall	0.7(0.0)	1.3(0.1)	6.5(0.3)	5.6(0.9)	9.964(0.281)	0.345(0.024)	4.02(0.13)
		winter	1.6(0.3)	2.6(0.3)	6.4(0.2)	3.9(0.4)	9.891(0.334)	0.286(0.021)	3.91(0.08)
	jinwiA5	spring	2.4(0.3)	3.2(0.3)	6.8(0.3)	30.7(8.6)	6.696(0.457)	0.263(0.028)	5.07(0.25)
		summer	7.8(4.1)	2.6(0.3)	7.0(0.5)	69.8(23.2)	4.328(0.404)	0.192(0.028)	4.73(0.49)
		fall	1.4(0.1)	1.7(0.1)	5.6(0.3)	10.7(2.0)	6.029(0.286)	0.227(0.025)	3.42(0.20)
		winter	2.2(0.4)	1.9(0.2)	6.5(0.6)	14.5(3.9)	7.569(0.291)	0.203(0.008)	3.79(0.22)
	jinwiA6	spring	3.8(0.3)	8.0(0.6)	11.5(0.4)	16.3(5.5)	9.263(0.591)	0.546(0.031)	7.57(0.42)
		summer	10.7(5.6)	4.7(0.6)	8.6(0.3)	51(22.9)	6.588(0.701)	0.416(0.043)	5.84(0.34)
		fall	2.8(0.1)	5.9(0.8)	8.7(0.3)	7.0(0.7)	9.565(0.359)	0.539(0.041)	5.68(0.25)
		winter	3.5(0.3)	8.0(0.8)	11.3(0.7)	7.5(0.8)	10.458(0.484)	0.528(0.033)	6.65(0.37)
	jinwiA7	spring	0.1(0.0)	5.0(0.5)	9.4(0.5)	21.2(5.9)	8.492(0.691)	0.173(0.020)	6.52(0.38)
		summer	0.3(0.1)	4.7(0.9)	8.6(1.0)	38.6(15.2)	8.243(1.222)	0.187(0.027)	5.87(0.69)
		fall	0.1(0.0)	13.2(1.9)	11(1.3)	9.9(1.6)	9.572(0.782)	0.423(0.087)	6.91(0.71)
		winter	0.1(0.0)	15.3(3.4)	17.5(3.4)	22.7(5.5)	9.690(0.571)	0.360(0.064)	8.85(0.78)
	jinwiA8	spring	0.2(0.1)	6.4(0.4)	11.0(0.4)	17.3(2.0)	5.046(0.403)	0.108(0.004)	6.38(0.17)
		summer	1.1(0.4)	5.7(1.3)	13.6(1.5)	20.8(3.1)	2.303(0.081)	0.099(0.012)	6.92(0.50)
		fall	0.4(0.2)	7.6(0.6)	12.6(1.1)	29.4(2.8)	4.726(0.324)	0.159(0.010)	7.11(1.18)
		winter	0.3(0.0)	8.1(0.9)	12.0(0.5)	19.3(5.0)	6.734(0.253)	0.133(0.023)	7.36(0.26)
Huangguji	jinwiA9	spring	7.1(0.3)	16.2(2.1)	17.3(1.6)	22.2(5.1)	16.832(0.678)	1.209(0.249)	10.17(0.59)
		summer	12.5(2.4)	14.3(1.4)	14.3(0.5)	24.5(3.9)	9.814(1.216)	0.709(0.067)	9.21(1.04)
		fall	8.2(0.4)	11.8(1.2)	11.7(0.5)	15.7(1.4)	10.772(0.415)	0.709(0.066)	6.86(0.34)
		winter	7.6(0.2)	12.2(1.6)	14.8(1.5)	15.5(2.6)	15.739(1.539)	0.576(0.058)	9.35(1.07)
	jinwiA10	spring	7.6(0.3)	8.8(1.1)	14.2(0.6)	13.2(1.8)	16.273(0.934)	1.067(0.137)	9.63(0.46)
		summer	14.0(2.8)	6.8(0.7)	11.7(0.4)	15.5(2.9)	8.890(0.816)	0.665(0.060)	7.35(0.29)
		fall	8.3(0.5)	8.1(0.7)	10.6(0.4)	15.8(1.9)	9.318(0.421)	0.671(0.078)	6.50(0.20)
		winter	7.7(0.2)	9.4(0.7)	13.7(1.0)	12.8(1.8)	15.277(1.654)	0.565(0.059)	9.11(0.70)
	jinwiA11	spring	6.5(0.3)	8.9(1.1)	14.6(0.7)	16.8(1.9)	15.865(0.888)	1.037(0.079)	9.92(0.47)
		summer	12.9(2.6)	7.4(1.0)	12.8(0.8)	25.3(3.6)	7.993(0.845)	0.690(0.088)	8.00(0.51)
		fall	7.6(0.7)	5.2(0.5)	9.4(0.3)	12.2(0.8)	9.038(0.558)	0.612(0.043)	6.27(0.33)
		winter	7.2(0.3)	7.7(0.9)	13.4(0.8)	12.4(2.0)	15.229(1.203)	0.606(0.040)	8.70(0.44)
Sungeen	jinwiA2	spring	0.2(0.1)	2.6(0.3)	5.9(0.7)	20.6(12.6)	2.175(0.137)	0.107(0.032)	3.07(0.41)
		summer	0.3(0.1)	1.8(0.4)	5.4(0.4)	5.2(1.5)	2.103(0.208)	0.067(0.009)	3.15(0.22)
		fall	0.1(0.0)	1.0(0.2)	3.6(0.2)	1.8(0.2)	1.501(0.194)	0.031(0.004)	1.89(0.13)
		winter	0.1(0.0)	2.3(0.6)	4.9(0.6)	3.8(1.9)	2.844(0.262)	0.059(0.019)	2.54(0.32)
Khwanry	jinwiA13	spring	0.3(0.1)	5.5(0.5)	10.5(0.6)	12.7(3.2)	6.570(0.411)	0.228(0.016)	7.30(0.23)
		summer	0.7(0.2)	3.5(0.5)	8.6(0.7)	9.9(2.2)	3.422(0.270)	0.211(0.011)	5.80(0.49)
		fall	0.2(0.1)	3.6(0.6)	6.9(0.6)	8.1(1.9)	4.520(0.265)	0.199(0.011)	4.29(0.44)
		winter	0.2(0.0)	8.4(1.9)	13.0(2.9)	14.0(6.2)	6.557(0.354)	0.197(0.024)	7.88(1.59)

() Standard error for mean

Fig. 2. Contour plots for BOD, COD, SS, TN, TP and TOC loads and flow at 5 sampling sites into Hwangguji-cheon basin.

분석하기 위한 크루스칼-윌리스 기법(Kruskal-Wallis rank sum test)과 부하량과 오염원의 상관성을 분석하기 위한 피어슨 상관분석(Pearson correlation analysis)을 실시하였다. 통계 프로그램은 S-plus 6.0을 이용하였다. 크루스칼-윌리스 기법은 비모수적 검정법 중의 하나로 3개 이상 집단의 중앙값 차이를 통해서 검정하는 방법이다. 카이제곱값이 높을수록 각 집단의 중앙값 차이가 크음을 의미한다. 피어슨 상관분석법은 피어슨 상관계수를 통해서 두 변수간의 관련성을 평가하는 가장 보편적인 방법으로, 상관계수는 두 변

수간의 연관된 정도를 나타낼 뿐 인과관계를 설명하지는 않는다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질항목별 부하량의 시·공간적 특징

크루스칼-윌리스 기법을 통한 각 지점의 계절별 변동성을 평가한 결과, 오산천에서 측정된 지점에서 수질 및 부하

Fig. 3. Contour plot for BOD, COD, SS, TN, TP and TOC loads and flow at 5 sampling sites into Osan-cheon basin.

량의 계절적 변동이 가장 큰 것으로 분석되었다(Table 3). 이는 오산천의 경우 대부분의 유지유량이 신갈저수지의 방류에 의한 것으로 신갈저수지의 계절적 운영변동에 따라서 하류 수질 및 부하량이 연동되어 변동하고 있기 때문으로 분석된다. 수질항목별로는 모든 지점을 기준으로 SS, TN, TOC의 계절적 변동이 유의수준 1% 이내에서 높은 변동성을 보였다. 특히, TN과 TOC의 경우 부하량보다는 수질의 계절적 변동성이 큰 것으로 나타났다. 이러한 특징은 황구지천에서 두드러지게 나타났다. 황구지천은 하수처리시설의

방류의 영향을 크게 받는 유역으로 방류량은 계절별로 큰 차이를 보이지 않기 때문에 부하량의 변동은 크지 않지만 수질항목별로는 방류수질의 변동이 크기 때문인 것으로 보인다. 해당 결과에 대해서는 본 연구에서 이용한 자료의 제한성 및 특이성으로 인한 것 일수도 있기 때문에 단기간의 자료만을 분석하기 보다는 장기적인 자료 분석이 필요한 것으로 보인다.

진위천 수계의 황구지천, 오산천, 진위천 본류에 대한 유량 및 부하량의 시·공간적 패턴은 등고선 선도를 이용하여

Fig. 4. Contour plot for BOD, COD, SS, TN, TP and TOC loads and flow at 5 sampling sites into Jinwi-cheon basin.

분석하였다(Fig. 2-4). 그 결과, 진위천 분류 및 오산천, 황구지천 모두 여름철인 6월~9월에 최대유량을 보이고 있으며, 여름철 이후부터 겨울까지 감소하는 경향을 보였다. 연간 강수량의 60%가 여름철에 집중되어 내리는 우리나라 기후 특성인 계절적 편중현상이 그 원인으로 분석된다. 부하량의 시간적 특성도 최대 유량을 보이는 시기에 BOD, COD 등 유기물질 및 SS와 TN 모두 연중 가장 높은 값을 나타냈다. 이는 강우와 함께 발생하는 합류식 관거 유출수(combined sewer overflow, CSO)의 유입과 runoff에 의해 유

출되는 비점오염원의 영향으로 판단된다. 일반적으로 도시 지역의 불투수층은 강우시 지표면 유출수와 함께 유출되는 비점오염물질의 유출량을 증가시키는 것으로 알려져 있다.¹⁰⁾ 황구지천과 오산천의 건기시 유량과 부하량 패턴은 우기시 대비 다소 다른 형태를 보이고 있는데, 건기시에는 강우량 감소함에 따라 비점오염원 유출 영향보다 점오염원의 영향을 크게 받기 때문인 것으로 파악된다. 이와는 다르게 진위천 분류는 건기시에도 유량과 부하량의 등고선 형태가 유사하게 나타났는데, 이는 진위천 유역에는 점오염원의 비

Table 3. Chi-square values of Kruskal-Wallis rank sum test for seasonal variation of water quality and delivery pollutant load

Stream	Sites	BOD		COD		SS		TN		TP		TOC	
		Water quality	Load	Water quality	Load	Water quality	Load	Water quality	Load	Water quality	Load	Water quality	Load
Jinwi	JinwiA1	15,416*	13,341*	14,853*	13,136*	9,667*	13,742*	13,872*	11,832*	12,480*	13,239*	18,139**	14,718*
	JinwiA3	13,599*	3,599	11,739*	6,801	16,631**	11,139	3,831	5,183	14,089*	7,603	21,923**	6,977
	JinwiA12	10,171*	10,070*	10,794*	12,712*	21,237**	20,952**	22,250**	9,159*	17,168**	12,922*	10,426*	12,106*
	JinwiA	4,642	10,258*	3,308	13,991*	7,681	13,900*	22,176**	8,864*	5,435	8,531*	5,357	14,312*
Osan	JinwiA4	12,934*	14,855*	13,638*	16,223**	14,202*	12,709*	9,120*	17,813**	12,483*	16,105**	14,877*	18,056**
	JinwiA5	18,974**	16,784**	6,899	13,967*	21,851**	20,812**	21,561**	15,585**	7,234	7,923	19,618**	17,732*
	JinwiA6	13,650*	7,859	20,485**	15,920**	17,670**	18,284**	13,238*	13,142*	5,904	7,955	13,425*	17,474*
Hwangguji	JinwiA7	17,342**	15,073*	10,504*	10,146*	4,909	5,120	3,609	18,798**	10,172*	14,751*	10,509*	7,933
	JinwiA8	7,006	3,763	1,586	4,572	8,789*	5,877	27,567**	4,315	14,380*	6,754	3,827	4,549
	JinwiA9	3,731	2,314	12,437*	7,287	2,294	3,003	21,138**	8,136*	13,181*	10,084*	15,722**	12,086*
	JinwiA10	7,568	1,894	18,404**	7,849	1,484	2,391	22,418**	14,053*	14,224*	11,039*	21,771**	11,401*
	JinwiA11	10,561*	9,318*	21,346**	12,899*	13,590*	13,914*	26,513**	13,379*	16,546**	12,273*	20,457**	10,507*
Sungeon	JinwiA2	11,502*	15,805**	13,754*	13,678*	22,992**	21,498**	13,554*	13,118*	18,148**	16,506**	17,608**	14,715*
Khwanry	JinwiA13	13,106*	8,965*	11,389*	11,824*	2,058	8,748*	27,794**	10,028*	3,443	13,512*	15,735**	13,944*

* $P < 0.05$, ** $P < 0.001$

중이 작으며, 황구지천과 오산천의 합류로 하천유량이 증가하여 점 오염원의 영향을 적게 받는 것으로 판단된다.

3.1.1. 황구지천 부하량의 시·공간적 특성

황구지천 부하량 패턴은 Fig. 2의 등고선 선도 분석결과와 같이 6월부터 유량이 증가하기 시작하여 7~8월에 일년 중 가장 높은 유량값을 나타내고 있으며, 부하량도 유량이 증가하는 시기에 높은 값을 나타내고 있다. 유기물질 및 TP 부하량은 4월에 증가하였다가 감소하는 경향을 보이고 있는데, 이는 유량감소에 따른 오염도의 가중으로 판단되며, 더 구체적인 원인 분석을 위해서는 A9지점 상류에서 합류되는 서호천, 수원천, 원천리천 세 지류의 수질자료 및 유역의 오염원 분석 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 반면 TN 부하량은 1~3월에 높은 값을 보였다. 질소는 강우시 토양에 흡착되지 않고, 지하로 침투되었다가 갈수기에 기저유량으로 유출되는 특성이 보임에 따라 강우량이 감소하는 1~3월 시기에 기저유량의 영향으로 부하량이 증가하는 것으로 보인다.

공간적으로는 유량의 경우 진위A10 지점 이후 최대유량을 보이는 반면, 부하량은 유량 최대값을 나타내는 지점보다 상류인 진위A9 상류에서 크게 증가한 후 감소하는 경향을 보였다. 그 원인으로는 진위A8과 진위A9지점 사이에 불명수의 하천 직방류 및 수원하수처리장 방류수 등에 의해서 부하량이 급격하게 증가하여 최대값을 보인 후 하류지점으로 갈수록 유량 증가에도 불구하고 희석 및 자정작용에 의해서 수질농도가 낮아짐에 따라서 총 부하량도 감소하기 때문으로 파악된다. 비록 진위A9지점 하류에서 수질농도가 약간 낮아지기는 하지만 계절별 최대값을 기준으로 8 mg/L를 초과하여 나쁨V등급으로 평가되었다. 진위천수계

는 기존 토구의 오수관거 오점, 복개천 내 하수유입, 합류식 지역으로 계곡수 등의 과다한 불명수 유입, 우수토실 노후화와 정비불량에 의한 하수처집 미흡, 차집관거 시설 불량 등에 의한 불명수의 하천 직방류가 다수 발생하고 있는 것으로 파악되고 있어, 이러한 영향으로 전반적인 하천수질이 좋지 않은 것으로 판단된다.

3.1.2. 오산천 부하량의 시·공간적 특성

오산천 3개 지점(진위A4, 진위A5, 진위A6)의 등고선 선도 분석결과를 Fig. 3과 같다. 오산천 유량은 강우의 영향으로 6월~8월까지 최대값을 나타내었으며, 각 수질항목의 부하량도 이 시기에 최대값을 보였다. BOD는 진위A06 지점에서 가장 낮은 값을 보인 10월 평균이 994.9 kg/일이었으며, 가장 높은 7월은 6,722.8 kg/일로 6.7배 높게 나타났고, TP는 7월 부하량이 0.827 kg/일로 10월에 비해 8.3배 높은 강도를 보였다. 오산천 유역의 주요 오염원은 도시지역 생활계 오염원으로 강우시 합류식 하수관거에서 발생하는 CSOs와 강우 유출수에 의한 토지계 비점오염원이 우기시 부하량에 영향을 미치는 것으로 판단된다. TN은 황구지천에서의 특성과 동일하게 유기물질과 TP에 비해 우기시 부하량 강도가 크지 않았다.

6월~9월의 우기를 제외한 기간에는 연중 부하량 변동이 크지 않았으며, 2월에 유량이 다소 증가하였지만 비점오염원이 유출되지 않는 수준의 강우인 것으로 분석된다. 공간적으로는 진위A4~진위A5지점에 비해 진위A5~진위A6지점에서 부하량 등고선도 경사가 커지고 있으며, 연중 일정한 기울기로 증가하고 있다. 이는 진위A5 지점 이후 오산공공하수처리장 방류수의 점오염원 유입의 영향을 받은 것으로 판단된다.

3.1.3. 진위천 본류 부하량의 시·공간적 특성

진위천 본류 4개지점(진위A1, 진위A3, 진위A12, 진위A)의 등고선 선도 분석결과(Fig. 3), 유량과 모든 항목 부하량 그래프의 유사도가 다른 유역에 비해 강하게 나타났다. 진위천 유량이 최고치를 보이는 7월과 9월에 부하량의 시간적 특성도 같은 양상을 보이며, 7~9월의 우기기간 외에도 1~2월에 다소 증가하는 등 유량과 부하량의 그래프가 유사하게 나타났다.

공간적으로는 진위A03 지점 이후부터 진위A12, 진위A 지점까지 점차 증가하여, 진위천 말단까지 부하량이 지속적으로 증가하면서 오염도가 가중되는 경향을 보였다. 진위A03지점 이후 오산천과 황구지천의 유입되는데 이는 진위천 유량의 80%를 차지하며 진위A03지점 이후 오염도가 커지는 원인이 될 수 있다. 또한 진위A12 지점과 진위A 지점의 유역에 축산계 오염원의 분포가 크며, 이는 강우시 비점오염원의 유입원으로 유량과 부하량의 그래프가 유사한 양상을 보이는 원인으로 예측된다. 축산오염원은 축산폐수처리시설과 재활용시설을 통해 관리되어야 하지만 부적절한 관리로 인하여 강우시 비점오염원이 유출되어 하천에 미치

는 영향이 크게 작용하고 있다.¹¹⁾ 또한 해당유역은 하류로 갈수록 유속이 급격하게 감소하는 유역으로 최하류 지점인 진위A지점에서는 아산만 방조제의 영향으로 역류현상이 일어나기도 하는 특징을 보인다.⁹⁾ 이러한 하천의 지형적 특징과 수질과의 관계는 유의하기 때문에 이러한 영향에 대한 분석도 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.¹²⁾

3.2. 부하량과 오염원의 상관성 분석

14개 지점의 수질 및 부하량에 미치는 집수유역의 오염원 영향을 분석하기 위해서 조사지점의 1)수질과 상류 집수유역의 오염원과의 상관성분석, 2)조사지점의 부하량과 상류 집수유역의 오염원과의 상관성분석, 3)상류조사지점의 부하량을 제외한 각 조사지점의 부하량과 상류지점과 해당지점 사이에서 유입되는 오염원과의 관계를 각각 분석하였다. 그 결과 1)과 2)의 경우 상류에서 하류로 진행될수록 수질이 급격하게 악화되는 오염원의 공간적 특성과 겹치면서 대부분의 상관관계에서 ‘매우 높은’상태로 분석됨에 따라서 각 지점에서의 오염원 영향에 대한 차별화된 분석에는 한계가 있었다. 이러한 이유로 본 연구에서는 상류 조

Table 4. The relationships between BOD, COD, SS, TN, TP and TOC load and various pollutants using correlation analysis

	Seasons	Human Life		Livestock			Land use					Others			
		Population	Population density	Cattle	Pig	Poultry	Upland	Paddy	Forest	Site area	Others	Wastewater discharge from factories	Fish farm area	Water-shed area	Discharge from STP
BOD	spring	0.79**	0.65*	0.41	0.32	0.19	-0.15	0.18	-0.52	0.45	0.53	0.74*	0.44	0.70*	0.82**
	summer	0.74*	0.57*	0.32	0.36	0.21	-0.16	0.15	-0.41	0.36	0.45	0.76*	0.23	0.72*	0.73*
	fall	0.58*	0.42	0.38	0.48	0.26	-0.14	0.24	-0.37	0.24	0.42	0.62*	0.22	0.61*	0.56*
	winter	0.94**	0.82**	-0.06	-0.11	-0.1	-0.18	-0.20	-0.36	0.62*	0.25	0.83**	-0.01	0.67*	0.94**
COD	spring	0.72*	0.58*	0.57*	0.40	0.28	-0.17	0.34	-0.58*	0.39	0.64*	0.67*	0.65*	0.67*	0.75*
	summer	0.75*	0.60*	0.47	0.32	0.30	-0.22	0.26	-0.54	0.40	0.66*	0.79*	0.58*	0.77*	0.77*
	fall	0.46	0.30	0.42	0.57*	0.33	-0.14	0.35	-0.36	0.14	0.42	0.52	0.24	0.56	0.44
	winter	0.98**	0.83**	0.02	-0.07	-0.06	-0.21	-0.11	-0.42	0.62*	0.33	0.86**	0.10	0.73*	0.99**
SS	spring	0.41	0.22	0.77*	0.67*	0.44	-0.13	0.55*	-0.50	0.08	0.72*	0.53	0.73*	0.56	0.42
	summer	0.18	0.24	-0.38	-0.5	-0.26	-0.12	-0.34	0.01	0.27	0.04	0.44	-0.11	0.12	0.15
	fall	0.01	-0.03	-0.27	0.07	-0.04	-0.04	-0.12	0.18	-0.06	-0.23	0.10	-0.55	0.08	-0.05
	winter	0.73*	0.50	0.51	0.33	0.20	-0.15	0.28	-0.51	0.32	0.65*	0.74*	0.54	0.66*	0.74*
TN	spring	0.95**	0.79**	0.14	0.03	-0.02	-0.23	-0.02	-0.45	0.57*	0.42	0.83**	0.20	0.71*	0.96**
	summer	0.85**	0.70*	0.30	0.11	0.11	-0.24	0.09	-0.49	0.50	0.54	0.79*	0.44	0.70*	0.87**
	fall	0.87**	0.71*	0.32	0.25	0.13	-0.19	0.14	-0.52	0.50	0.51	0.81**	0.34	0.73*	0.88**
	winter	0.99**	0.84**	-0.13	-0.22	-0.19	-0.21	-0.23	-0.34	0.64*	0.23	0.84**	-0.06	0.68*	0.99**
TP	spring	0.97**	0.81**	0.01	-0.10	-0.10	-0.20	-0.14	-0.39	0.60*	0.33	0.85**	0.08	0.69*	0.98**
	summer	0.94**	0.79**	0.05	-0.09	-0.06	-0.24	-0.07	-0.44	0.60*	0.41	0.91**	0.18	0.71*	0.94**
	fall	0.77*	0.61*	0.04	0.14	0.01	-0.18	-0.01	-0.32	0.42	0.24	0.74*	-0.07	0.63*	0.74*
	winter	0.95**	0.85**	-0.02	-0.18	-0.17	-0.17	-0.12	-0.46	0.68*	0.29	0.78*	0.15	0.62*	0.97**
TOC	spring	0.66*	0.52	0.62*	0.45	0.31	-0.17	0.40	-0.59*	0.35	0.67*	0.63*	0.70*	0.63*	0.70*
	summer	0.68*	0.48	0.53	0.46	0.35	-0.21	0.35	-0.51	0.29	0.67*	0.79*	0.53	0.77*	0.68*
	fall	0.28	0.15	0.74*	0.80**	0.48	-0.10	0.63*	-0.48	0.03	0.60*	0.37	0.61*	0.47	0.29
	winter	0.97**	0.81**	0.05	-0.04	-0.05	-0.21	-0.08	-0.43	0.60*	0.35	0.86**	0.11	0.73*	0.98**

* $P < 0.05$, ** $P < 0.001$

사시점의 부하량을 제외한 각 지점에서의 부하량과 상류지점에서 유하되면서 유입되는 오염원과의 상관성분석을 실시하였다. 각 지점별 조사 시기는 1~2일 내외로 거의 모든 지점에서 실시되었기 때문에 시간적 차이에 의한 부하량의 변동은 크지 않을 것으로 판단된다.

SS를 제외한 모든 항목에서 부하량이 급격하게 증가한 지점은 진위A9지점이었다. BOD, COD, TOC는 여름철에 상류지점인 진위A8지점 대비 각각 13.64 kg/일, 13.17 kg/일, 9.20 kg/일로 최대 증가폭을 보였고, TN과 TP는 봄철에 각각 10.147 kg/일, 0.768 kg/일 증가했다. 진위A9지점은 수원시가지가 끝나는 지점으로 수원시와 화성시의 경계지점이다. 해당지점은 수원시의 대부분의 생활계 및 토지계 하수를 처리하고 있는 수원처리장의 방류수가 유입된 직후 지점이다.

14개 지점에 대한 유달 부하량과 유입오염원의 상관성 분석결과는 Table 4와 같다. 두 변수 사이의 선형관계의 정도를 수치로 표현한 상관계수가 유의수준 1% 이내에 있으면 높은 상관관계가 있는 것을 의미하고, 유의수준 5% 이내에 있으면 보통의 상관관계를 인정하며, 5% 이상일 경우는 상관관계가 성립되지 않는 것으로 평가하였다.¹³⁾

부하량과 오염원의 상관관계는 생활계, 축산계, 토지계 양식계 전반에서 생활계 오염원인 인구 및 인구밀도와 상관계수가 가장 높게 나타났다. 특히, 인구는 대부분의 항목에서 유의수준 0.1% 이내의 강한 양상관성을 보였으며 BOD ($r=0.94$, $P<0.001$), COD ($r=0.98$, $P<0.001$), SS ($r=0.73$, $P<0.05$), TOC ($r=0.97$, $P<0.001$)의 수질항목에 대해서 겨울철에 두드러지게 타나났고, TN과 TP는 계절에 상관없이 유의수준 5% 이내에서 보통 이상의 양상관성을 보였다. 이러한 특징은 인구밀도에서도 유사하게 나타났다.

축산계 오염원인 소, 돼지, 가금류의 사육두수는 모든 수질항목에 대해서 상관성이 거의 성립하지 않는 것으로 평가되었다. 토지계 오염원인 토지이용별 비율과 부하량과의 관계에서는 일부계절 및 항목을 제외하고는 유의한 수준의 관계성을 보이지 않았으나, 대지의 경우는 SS를 제외한 5개 수질항목($r=0.57\sim0.68$, $P<0.05$)에서 겨울철에 유의수준 5% 이내의 양의 상관성을 보여 대지면적비가 높을수록 각 수질항목의 부하량이 높은 특징을 보였다. 산업시설로부터의 폐수배출량은 SS를 제외한 BOD, COD, TN, TP, TOC의 부하량과 계절에 관계없이 유의한 수준의 상관성을 보였으며 생활계 오염원과 유사하게 겨울철에 가장 높은 상관계수를 나타냈다. 양식장면적은 봄여름철 COD ($r=0.65$, 0.58 , $P<0.05$), 봄철 SS ($r=0.73$, $P<0.05$), 봄가을철 TOC ($r=0.70$, 0.61 , $P<0.05$)와 유의수준 5% 이내에서 양상관성을 보였다.

유역면적의 경우는 항목별 계절별로 특이성을 보이지 않았다. 하수처리장 방류량의 경우 해당수계의 대부분의 처리시설이 토지계 오염원이 유입되는 합류식 배제형태로 구성되어 있으나, 청천시에는 대부분이 생활계오염원인 만큼 부하량에 대한 인구 및 인구밀도의 상관성과 유사한 패턴을 보

였다. SS를 제외한 BOD와 COD, TOC는 봄철과 겨울철에 높은 양상관성을 보였다. 유량이 적은 시기의 경우 상류 영향유역으로부터의 오염원의 영향에 수질 등 하천환경이 더욱 민감하게 작용하기 때문으로 판단된다. TN과 TP는 계절에 상관없이 유의수준 1% 이내의 높은 양상관성을 나타냈다.

인구, 인구밀도, 하수처리장 방류량 등 부하량과 높은 상관성을 보인 환경인자 들은 기존연구에서도 종종 양상관성을 보이는 것으로 분석되었다.^{3,14,15)} 타 연구 및 수계에 비교하여 해당 환경인자들이 하천수질 및 부하량에 미치는 영향이 큰 이유는 진위천수계의 유량특징에서 찾아볼 수 있다. 진위천수계의 수질오염총량관리 기본계획의 기준 유량 자료에 근거(2009년 기준)하여 본 연구의 최종말단지점에서의 유량을 기준으로 총 기준유량중 인위적 유입유량이 차지하는 비중은 73.3%로 자연유량의 2.75배에 해당한다.¹⁶⁾ 따라서 저수기에 인위적 유입유량 및 수질의 영향을 크게 받을 수밖에 없는 물수지 특징을 보인다. 산업폐수배출시설로부터의 직유입 및 공공하수처리시설부터의 유입 부하량이 하천수질 및 부하량에 미치는 영향이 타 수계에 비교하여 클 것으로 분석된다.

축산계 및 토지계 오염원과 각 항목별 부하량과의 상관성 분석에는 한계가 있었다. 분석 수질 및 유량 자료는 풍수기나 홍수기 등의 강우의 영향이 큰 시기에는 측정되지 않고 평수기 및 저수기에 주로 측정되었다. 그러나 개별축사로부터 자원화처리 또는 미처리되어 농지에 살포된 후 주로 강우에 의존하여 배출되는 고형물 성상의 축산계 배출수 및 관거월류수, 토지계의 환경기초시설로 연결된 관거로 유입되지 않는 구역의 토지계 배출수 및 관거월류수 등은 모두 강우시 유출되는 비점오염원에 해당한다. 따라서 청천시에는 이러한 오염원이 수질에 미치는 영향은 극히 제한적일 수 있으며 통계분석에서 유의한 수준의 결과 도출에는 어려움이 있었다.

일반적으로 퇴비 침출수, 농약폐기물, 축산분뇨, 비료 등은 주로 비점오염원으로 분류되어 대부분이 강우 유출수에 의해서 수계로 유입되고 무강우시에는 지하로 침투되어 기저 유출수와 함께 수계로 용출되는 특징을 보이는 것으로 알려져 있다.¹⁷⁾ 이러한 특징은 진위천상류 유역에서 비슷한 경향을 보였으나 하류로 진행될수록 이러한 집수유역의 토지이용 및 축산계 특징 이외의 하수처리 방류량이 대량 유입되면서 일반적인 유역의 오염원 유출특성과 차별화 되는 것으로 보인다. 또한 토지이용 중 논이나 밭의 경우 본 연구대상지역의 경우 하류유역의 경우 경사도가 낮은 지역에 밭 등이 위치하고 하천주변으로 논이 발달하여 밭에서 밭생된 토양유실에 의한 하천오염이 모든 수질항목에서 영향력이 작았던 것으로 보인다.⁷⁾

4. 결론

크러스컬-윌리스 기법을 통한 분석 결과, 수질항목별 농도

및 부하량의 계절적 변동성은 본 연구의 전체 조사지점을 기준으로 SS, TN, TOC가 유의수준 1% 이내에서 높게 나타났다으며 유역별로는 신갈저수지 방류의 직접적인 영향권에 있는 오산천에서 가장 높았다.

오염원과 부하량과의 상관성분석에서는 수질항목별로 차이를 보이기는 했으나, 생활계오염원인 거주인구(겨울철 BOD와 0.94, 겨울철 COD와 0.98, 겨울철 TN과 0.99, 봄철 TP와 0.97, 겨울철 TOC와 0.97)와 생활계 및 토지계 오염원인 하수처리장 방류량(겨울철 BOD와 0.94, 겨울철 COD와 0.99, 겨울철 TN과 0.99, 봄철 TP와 0.98, 겨울철 TOC와 0.98)이 가장 높은 상관계수를 보였으며 이러한 경향성은 하천유량이 적은 봄철과 겨울철에 더욱더 높은 유의성을 나타냈다.

해당유역의 특징상 인위적 유량의 비중이 매우 높은 만큼 하수처리시설 및 폐수배출시설에서 배출되는 오염원이 해당하천수질에 미치는 영향이 지배적인 것으로 평가되었다. 따라서 해당 시설로부터의 방류유량 및 수질에 대한 철저한 관리가 하천수질의 개선을 위해서 반드시 동반되어야 할 것으로 판단된다. 또한 오수관거 오점, 우수토실 노후화와 정비불량 등에 의한 불명수의 하천 직방류의 영향도 간과할 수 없는 유역으로 해당내용에 대한 검토 및 관리가 필요할 것이다.

진위천수계는 수질오염총량제가 시행되고 있는 지역으로 지속적이고 장기적인 모니터링이 실시되고 있는 만큼 본 연구에서 분석한 방법 등을 이용하여 연속적 자료분석을 통한 수질 및 유량에 미치는 오염원의 영향을 분석하고 그 결과를 활용하여 제도개선, 중점 관리 오염원 및 지역에 대한 제안 등을 도출한다면 해당 단위유역의 수질개선에 도움이 될 것으로 기대된다.

Reference

1. Chung, Y. T., Sim, S. S. and Lee, Y. H., "River Water Quality Evaluation by the Multivariate Analysis," *J. Kor. Soc. Environ. Administrat.*, **5**(3), 531~537(1999).
2. Lee, H. J., Bang, J. Y. and Kim, Y. O., "Influence on the land use factors affecting the water quality of Iwonchon basin," *Kor. J. Ecol.*, **22**(5), 235~240(1999).
3. Jang, S. H., Choi, J. Y. and Lee, J. H., "A Case Study on Correlation of Water Quality and Impervious Cover," *Seoul Studies*, **6**(3), 15~27(2005).
4. Han, M. D., Park, S. J., Choi, S. S., Kim, J. C., Lee, C. H., Nam, K. E. and Chung, W. J., "The Effects of flow and land use types on seasonal variations of water quality in streams," *J. Kor. Soc. Water Environ.*, **25**(4), 539~546(2009).
5. Han, J. H., Bae, Y. J. and An, K. G., "Spatial and temporal variability of water quality in Geum-River watershed and their influences by land use pattern," *Kor. Soc. Limnol.*, **43**(3), 385~399(2010).
6. Park, J. D., Park, J. H., Rhew, D. H. and Jeong, D. H., "A Study on the Method of Implementation Assessment for Total Maximum Daily Load Managment," *J. Environ. Impact Assess.*, **17**(2), 125~132(2008).
7. Jung, K. W., Lee, S. J., Lee, S. W. and Han, J. Y., "The anlaysis of the effect of spatial variability in land use and pollutant source on the stream water," *Kor. J. Limnol.*, **40**(1), 40~49(2007).
8. <http://wems.nier.go.kr/>
9. The Korean National Institute of Environmental Research, "Monitoring of Flow and Water Quality in the Jinwi Watershed for the TMDLs,"(2013).
10. Ahn, T. U., Bum, B. S., Kim, T. H., Choi, I. S. and Oh, J. M., "An analysis of first flush phenomenon of non-point source pollution during rainfall-runoff events from impervious area," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **35**(9), 643~653(2013).
11. The Ministry of Environment in Korea, "Handbook for Non-point source pollutant management," (2006).
12. Lee, H. J. and Bang, J. Y., "The tepographical facors affecting the water quality of iwonchon basin," *Kor. J. Ecol.*, **22**(3), 101~108(1999).
13. Ott, L. "An introduction of statistical methods and data analysis", Duxbury Press. Boston, (1988).
14. Youn, S. T., Koh, Y. K., Oh, K. H., Moon, B. C. and Kim, H. G., "Water quality assesment of the lower yeongsan river system," *J. Environ. Impact Assess.*, **12**(4), 259~270(2003).
15. Oh, C. W., Lee, J. S., Kim, K., J. and Hwang, G. S., "The state and sources of contamination with BOD, COD, T-N and T-P in stream within chonju city," *Econ. Environ. Geol.*, **35**(1), 43~54(2002).
16. Gyeonggi Province, "General Plan of Total Maximum Daily Loads (TMDLs) in the Jinwi Watershed," (2010)
17. Yang, H. K., "Runoff Characteristics of Non-Point Source Pollutants in Storm Event-Case Study on the Upstream and Downstream of Kokseong River, Korea-," *J. Kor. Geographical Soc.*, **41**(4), 418~434(2009).