

연구논문

유량변동에 따른 탐진 A와 B유역에서의 오염물질 유출 특성

박진환 · 임병진 · 정재운 · 김대영 · 오태윤 · 이동진 · 김갑순

국립환경과학원 영산강물환경연구소

(2012년 9월 27일 접수, 2012년 11월 21일 승인)

Characteristics of the pollutants runoff on the Tamjin A and B Watershed with Discharge Variation

Jinhwan Park · Byungjin Lim · Jaewoon Jung · Daeyoung Kim · Taeyoun Oh · Dongjin Lee · Kapsoon Kim

Yeongsan River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

(Manuscript received 27 September 2012; accepted 21 November 2012)

Abstract

In this study, we report the runoff characteristics of pollutants for Tamjin A and B watershed in Tamjin river basin using statistical analysis, such as correlation analysis and regression equation. Flow rate and water quality data collected from 2 sampling sites(Tamjin A and B watershed) during 3 years(2009~2011) were analyzed for biochemical oxygen demand(BOD), total nitrogen(TN), total phosphorus(TP) and suspended solid(SS). The results showed that strong correlations were observed between flow rate and SS in Tamjin A, while weak correlations were observed among the BOD, TN, and TP. In Tamjin B, strong correlations were observed among the flow rate, SS and T-P except BOD and TP. Meanwhile, the values of R^2 for regression equations between flow rate and pollutants load were greater than 0.7. Results of these statistics indicated that there was a good agreement between flow rate and pollutants load. Also, the flow rate exponents of regression equations for BOD, TN, and TP were smaller than 1 in Tamjin A. In Tamjin B, flow rate exponents of regression equation for BOD and TP were smaller than 1. These results indicated that concentrations of BOD, TN, TP in Tamjin A and concentrations of BOD and TP were decreased as the flow rate was increased. This means that rather than nonpoint sources, point sources affect BOD, TN and TP in Tamjin A and BOD and TP in Tamjin B.

Keywords : Correlation Coefficient, Flow Rate, Pollutant Load, Regression Equation, Tamjin River

I. 서론

하천으로 유입되는 오염물질은 계절별, 연도별, 지점별로 변동하는 특성을 가지며 점오염물질과 비점오염물질로 구분된다. 점오염원의 배출특성은 시간별로 차이가 있으나 평균적으로 일별 배출량 변화는 강우시와 비강우시에 변동이 크지 않다. 반면 비점오염물질은 강우시 유출되기 때문에 시간별로 차이가 나며, 계절적인 영향이 크고 강우의 특성에 따라 오염물질의 유출 편차가 크다. 따라서 비점오염원을 관리하기 위해서는 무엇보다도 오염물질의 유출특성에 대한 해석과 정량화에 대한 연구가 선행되어야 한다. 오염물질의 정량화를 위해서는 강우지속시간 동안의 정확한 유량과 수질에 대한 실측자료가 필요하지만 현실적으로 많은 인력과 경비가 소요되므로 과거의 측정 자료나 수회의 실측자료 등을 통해 유량과 수질항목간 상관분석 또는 유량-부하량 관계식 등의 통계분석을 이용한 간접적인 방법으로 오염물질의 정량화에 대한 노력이 여러 연구자들에 의해 수행되고 있다.

최근까지 유량 및 수질자료의 특성에 관련된 국내 연구들을 살펴보면 박태양 등(2010)은 낙동강 유역을 대상으로 BOD를 이용하여 수질 측정 지점간 상관관계 및 수질항목별 상관분석을 연구하였으며, 김형철 등(2004)은 하구담수호에 유입되는 하천에서 COD, SS, TN, TP의 수질항목에 대해서 상관분석 및 회귀분석에 관한 연구를 수행하였다. 장인수 등(2010)은 유량 회귀식 및 유량과 SS, 탁도와 회귀식을 개발하여 상관관계를 분석하고 개발식을 검증하였다. 또한 조현경(2011)은 한강 수계에서 홍성호 등(2010)은 낙동강 주요지점에서 유량을 포함하여 수질항목간 상관분석에 관한 연구를 수행하였다. 하지만 유량과 수질의 단순 상관분석을 통해 유역내 오염물질의 유출특성을 파악하는데에는 한계가 있기 때문에 유량과 부하량의 회귀식을 통해 유량지수와 결정계수를 이용하여 유출특성을 해석하는 연구가 수행된 바 있다(김태근, 2006; 박지형 등, 2011; 이형진 등, 2007; 이상욱, 2010; 최한규 등, 2002; 최현규 등, 2011).

국외 연구의 경우 Colston(1974)은 도시지역의 토지이용별 소유역에 대해 유출량 및 수질을 회귀 분석하여 상관관계식을 제안하였고, Dolan et al.(1981)은 미국의 Grand 강에서 유량과 인에 대한 관계식을 개발하고 부하량을 산정하였으며, 유량을 규모별로 구분하여 관계식을 개발하면 정확도가 향상될 것으로 제안하였다. Karn and Harada (2001)은 방글라데시, 네팔, 인도 등에서 오염부하량을 산정하여 수질관리에 활용하였으며, Wang (1999)은 미국 플로리다주 템파베이 유역에 유입되었던 오염부하량이 수질에 미치는 영향을 연구하여 장래 수질을 예측하였다. 통계적인 방법을 이용하여 수행한 연구들을 보면 Lindenschmidta(2007)는 독일의 Saal 강으로 유입되는 오염원의 영향에 따른 수질변화를 비롯하여 수질과 독성과의 상관관계에 대한 연구를 수행한 바 있고, Guo et al.(2003)은 Yiluo 강에서 유량과 BOD, DO 간의 상관관계를 분석하여 수질예측을 수행하였다.

이처럼 국내·외 다양한 수계에서 실측 유량과 수질자료를 이용하여 상관분석과 유량-부하량 관계식을 이용하여 유역으로부터 유출되는 오염물질 해석에 관한 연구가 많이 수행되고 있지만 아직까지 탐진강수계를 대상으로 이러한 방법을 통해 오염물질 해석을 수행한 연구는 매우 부족하다. 따라서 본 연구에서는 탐진강수계 단위유역 말단을 대상으로 실측된 유량자료와 수질자료를 활용하여 유량과 오염물질유출 특성을 해석하였다.

II. 연구유역 및 조사방법

1. 연구유역의 선정

본 연구의 대상지역은 오염총량관리 지점으로 탐진강 수계인 탐진A와 탐진B 유역이다(Fig. 1). 탐진A 유역은 탐진강 유역 중 발원지부터 금강천 합류점 전까지 전구간 및 유역으로 유역면적은 284.5 km²이다. 수질조사지점은 전라남도 장흥군 장흥면 순지리 세월교이며, 유량측정은 세월교 하류에 위치한 순지교이다. 탐진B 유역은 탐진A 유역의 하류로

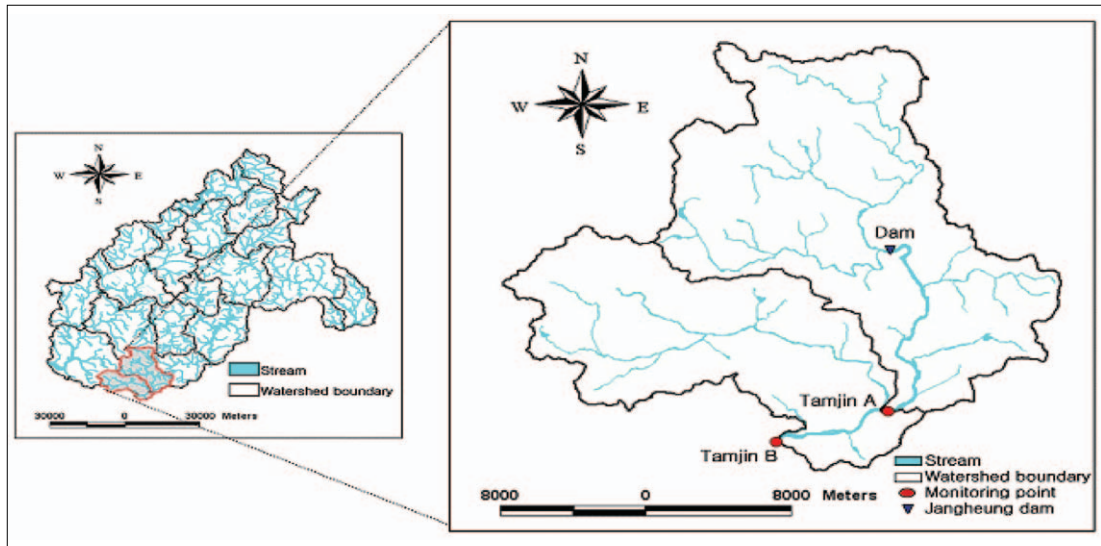


Fig. 1. Location of study sites.

금강천 합류점 후부터 석교 취수장 전까지 전구간 및 유역으로 유역면적은 186.9 km²이다. 수질조사 지점은 전라남도 강진군 군동면 석교리 석교교이며, 유량측정은 석교교 상류에 위치한 안지교와 안지교 하류로 유입되는 군동천 말단부에 위치한 금강교이다.

2. 유량 및 수질 조사방법

유량 및 수질 조사는 2009년 1월부터 2011년 12월까지 3년간 연중 평균 8일 간격으로 조사 지점별로 평균 129회 조사하였으며, 조사 지점은 상기 2개 유역 출구지점에서 유량 및 수질을 동시에 조사하였다. 하천유량의 측정은 수문관측 매뉴얼(건설교통부, 2004. 5)을 준하여 유속-면적법(Velocity-Area Method)을 이용하여 측정하였다. 측정에 사용된 유속계는 회전식유속계(Price USGS Type AA, LV, 와 USGS Pygmy 및 Valeport 002, 106)를 이용하여 도섭법과 추대법을 이용한 교량법으로 측정하였으며, 유량측정기준은 등유량 5% 내의 측선배분 및 유속이 0.2 m/s 미만일 때는 120초, 이상일 때는 40초 이상으로 측정하였다. 수질시료 채취와 분석은 수질오염공정시험기준(환경부, 2008)에 준하여 측정하였다.

3. 통계분석

본 연구에서는 통계분석 프로그램인 SPSS(ver. 12.0 for windows)를 활용하여 상관분석을 실시하였다. 상관분석은 비교하고자 하는 변수들 간의 관련성을 분석하기 위해 사용하는 통계방법이며, 두 변수간의 선형적인 상관관계를 파악하는 것으로 한 변수가 다른 변수와의 관련성이 있는지 여부와 관련성이 있다면 어느 정도의 관련성이 있는지를 알고자 할 때 유용한 분석기법이다. 두 변수 사이의 상관성을 나타내기 위해서는 요약된 지수를 계산하여 관련성의 정도를 계량화하는 것이 일반적이며, 자주 이용되는 척도로는 Pearson 상관계수(correlation coefficient, r)가 많이 활용되고 있다. 통상 r이라는 기호로 표시하며, -1.0에서 1.0까지의 값을 취하는데 절대 값이 1에 가까울수록 상관성이 강하다는 것을 의미한다. 또한 한태호(2010)는 상관계수의 절대값이 0.3에서 0.7사이면 강한 상관관계가 있고 절대값이 0.1이상 0.3미만일 경우 약한 상관관계가 있다고 보고하였다.

4. 유량-부하량 관계식

오염물질의 유출특성에 영향을 주는 인자들을 살펴보면 유역면적, 유하거리, 토지피복, 토지이용형

태, 강우강도 및 지속시간, 선행건기일수 등의 많은 영향을 받고, 강우에 의한 침투 유량과 부하량의 침투값은 초기 세척효과로 강우초기에 유출되기 때문에 대체로 일치하지 않으며, 강우시간이 지속됨에 따라 오염물질의 농도는 감소하지만 부하량의 경우 증가하게 된다(최한규 등, 2002; Wanielista, 1978).

본 연구에서는 탐진A, B 구역에서의 유량에 따른 수질의 변동을 파악하기 위해 식(1)을 이용하였다. 유량과 부하량은 경험적으로 식(1)의 관계를 가지며, 이를 변환하면 식(2)가 된다. 여기서 계수 b의 값이 1보다 크면 유량증가에 따른 농도의 증가를, b가 1이면 농도변화가 없으며, b가 1보다 작으면 유량증가에 따른 농도의 감소를 의미한다(김진수 등, 2001; 박지형, 2007; 박지형 등, 2011; 이형진 등, 2007).

$$L = a \times Q^b \tag{1}$$

$$\frac{L}{Q} = a \times Q^{(b-1)} \tag{2}$$

여기서, L은 유달부하량(kg/day), Q는 하천유량(m³/day), a와 b는 계수이다.

III. 유량과 수질의 통계학적 해석

1. 유량과 수질 변동

평균 8일의 일정한 간격으로 측정한 유량 및 수질 측정자료의 변화는 Fig.2와 Table 1과 같다. 두 지점의 평균을 비교해보면 유량과 BOD, SS의 경우 탐진 B지점이 9.024 m³/sec, 2.002 mg/L, 9.401 mg/L로 탐진 A지점의 6.383 m³/sec, 1.926 mg/L,

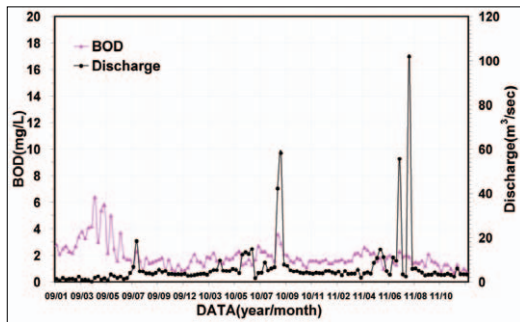
9.244 mg/L보다 높게 나타났다. 하지만, TN과 TP의 경우 탐진 A지점이 1.295 mg/L, 0.082mg/L로 탐진 B지점의 1.266 mg/L, 0.069 mg/L보다 높게 관측되었다. 이는 탐진 B지점 인근에 위치해 있는 유입지천에 의한 희석작용 때문인 것으로 판단된다.

2. 상관분석 결과

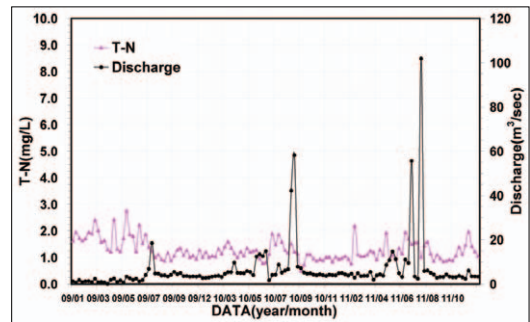
탐진강수계의 탐진A와 탐진B 구역의 각 하천에 대한 유량 및 수질항목별 상관분석을 실시한 결과는 Table 2와 같다. 구역전체에(탐진 A와 B) 대한 유량과 SS의 상관계수는 0.392로 양(+)의 상관성을 보였으며, 유량과 BOD, TN, TP의 상관계수는 0.029, 0.009, 0.103으로 상관성이 매우 낮았다. 이는 유량증가에 따른 SS의 농도는 높아지지만 BOD, TN, TP는 유량증가에 따른 추가 오염이 적다는 것을 의미한다. 다시말해, 비점오염에 의한 영향은 적다라고도 해석 될 수 있다. 탐진A 구역의 경우 유량과 SS의 상관계수는 0.453으로 양(+)의 상관성을 나타내며, 유량과 TN, TP의 상관계수는 -0.077, -0.025로 음(-)의 상관성을 나타내어, 유량증가에 따른 SS의 농도는 높아지더라도 평상시 점오염원에 의해 높은 농도로 TN, TP가 유지되다가 유량증가에 의한 추가 오염보다는 오히려 희석의 효과로 인해 농도가 감소하는 것으로 해석될 수 있다. 한편, 탐진B 구역은 유량과 SS, TP의 상관계수가 0.361, 0.306으로 약한 양(+)의 상관성을 보였으며, 유량과 BOD, TN의 상관계수는 0.029, 0.067로 상관성이 매우 낮았다. 이러한 현상은 탐진B 구역의 경우 유량 증가에 따라 SS가 증가되고 SS에 흡착된 TP가 함께 유출되는 특성이 있기 때

Table 1. Statistical characteristics of discharge, BOD, TN, TP, and SS at Tamjin A and B

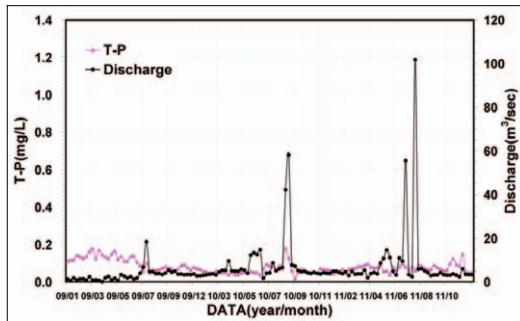
Sites	Division	Discharge(cms)	BOD(mg/L)	TN(mg/L)	TP(mg/L)	SS(mg/L)
Tamjin A	Average	6.383	1.926	1.295	0.082	9.244
	Minimum	0.104	0.700	0.510	0.019	2.000
	Maximum	101.882	6.400	2.773	0.180	50.300
	Standard deviation	11.563	0.947	0.393	0.033	8.261
Tamjin B	Average	9.024	2.002	1.266	0.069	9.401
	Minimum	0.263	0.700	0.535	0.031	1.400
	Maximum	129.648	6.400	3.224	0.145	74.800
	Standard deviation	16.434	1.048	0.446	0.023	8.479



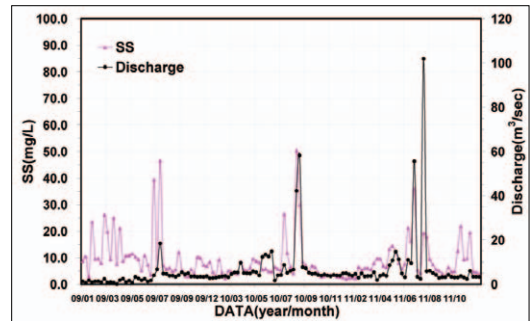
(a) BOD, Discharge(Tamjin A)



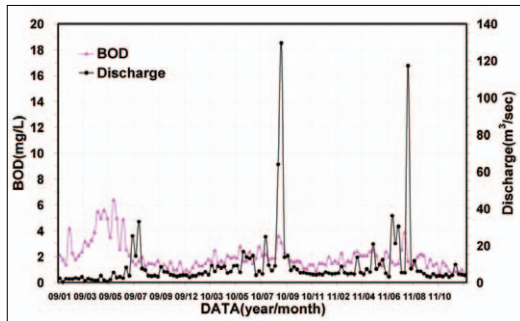
(b) TN, Discharge(Tamjin A)



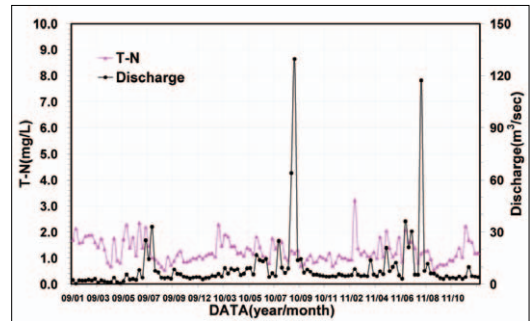
(c) TP, Discharge(Tamjin A)



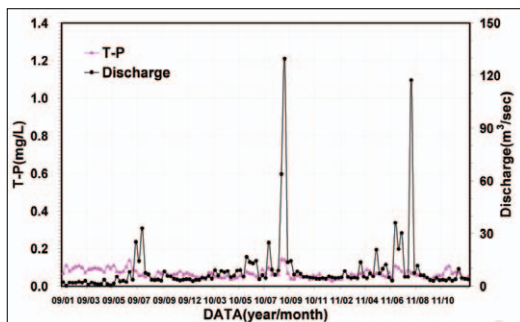
(d) SS, Discharge(Tamjin A)



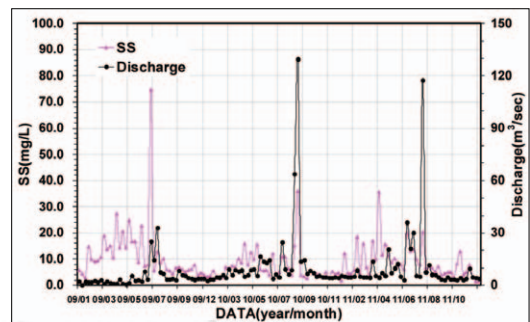
(e) BOD, Discharge(Tamjin B)



(f) TN, Discharge(Tamjin B)



(g) TP, Discharge(Tamjin B)



(h) SS, Discharge(Tamjin B)

Fig. 2. Changes of runoff and water concentration for each site (2009~2011).

Table 2. Correlation coefficients among water quality parameters at Tamjin A and B

Sites	Parameters	Discharge(cms)	BOD(mg/L)	TN(mg/L)	TP(mg/L)	SS(mg/L)
Tamjin (A+B)	Discharge(cms)	1				
	BOD(mg/L)	0.029	1			
	TN(mg/L)	0.009	0.244	1		
	TP(mg/L)	0.103	0.541	0.524	1	
	SS(mg/L)	0.392	0.386	0.297	0.456	1
Tamjin A	Discharge(cms)	1				
	BOD(mg/L)	0.022	1			
	TN(mg/L)	-0.077	0.378	1		
	TP(mg/L)	-0.025	0.676	0.628	1	
	SS(mg/L)	0.453	0.351	0.352	0.517	1
Tamjin B	Discharge(cms)	1				
	BOD(mg/L)	0.029	1			
	TN(mg/L)	0.067	0.140	1		
	TP(mg/L)	0.306	0.457	0.445	1	
	SS(mg/L)	0.361	0.416	0.251	0.428	1

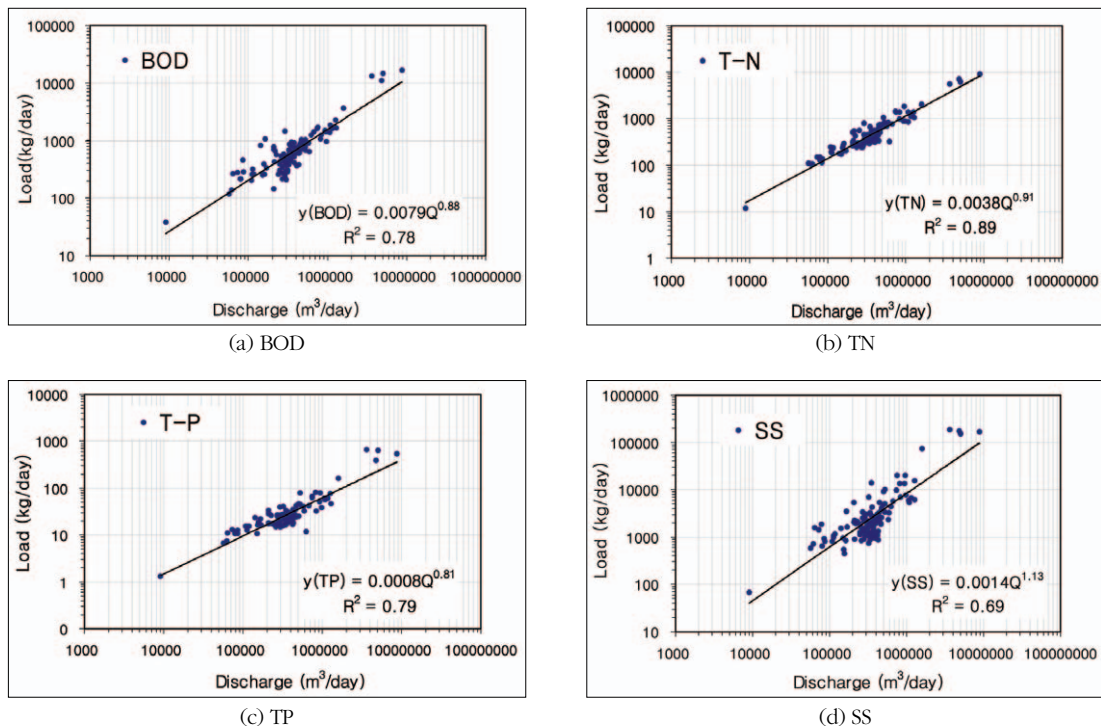


Fig. 3. Relationship between discharge and pollutants load at Tamjin A

문인 것으로 판단된다.

3. 회귀식을 이용한 오염물질 유출특성 분석 결과

탐진A와 탐진B 유역의 유량(Discharge)과 부하

량(Load)의 관계로부터 각 인자간의 유출특성을 나타내었다(Fig. 3, 4, Table 4). 전반적으로 오염물질별 유량-유출부하량 관계식은 지점별로 결정계수(coefficient of determination, R^2)가 모두 0.7

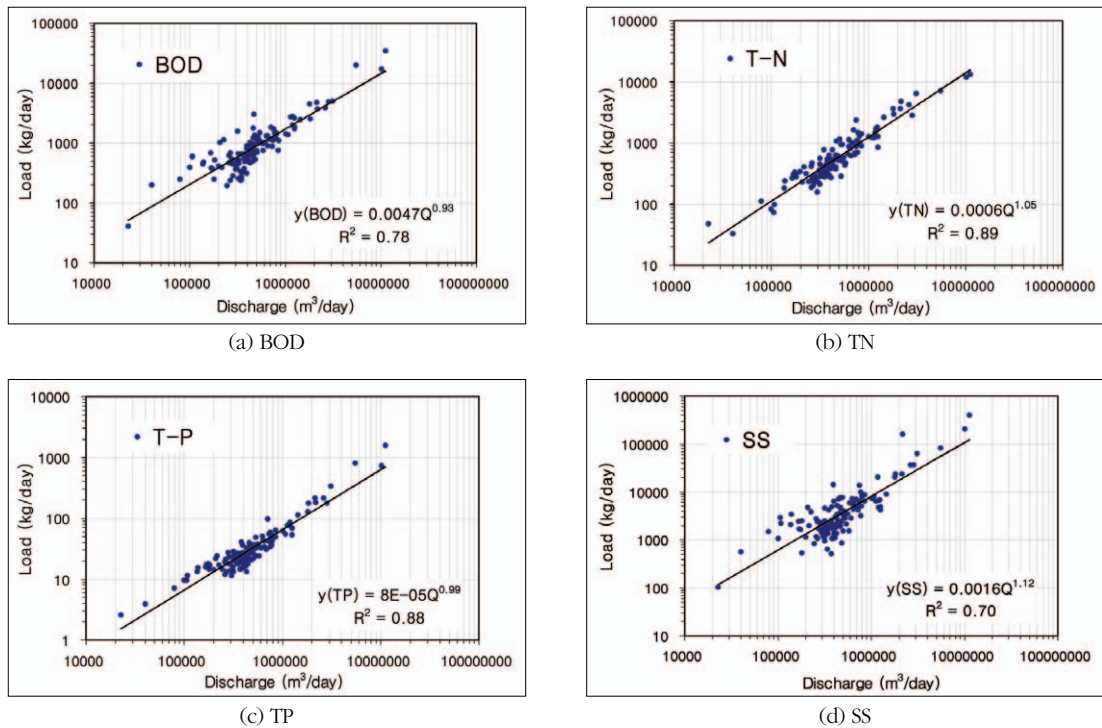


Fig. 4. Relationship between discharge and pollutants load at Tamjin B

Table 4. Regression equations for pollutants load at the study sites

Sites	Equations			
	BOD	TN	TP	SS
Tamjin A	$L=0.0079Q^{0.88}$ ($R^2=0.78$)	$L=0.0038Q^{0.91}$ ($R^2=0.89$)	$L=0.0008Q^{0.81}$ ($R^2=0.79$)	$L=0.0014Q^{1.13}$ ($R^2=0.69$)
Tamjin B	$L=0.0047Q^{0.93}$ ($R^2=0.78$)	$L=0.0006Q^{1.05}$ ($R^2=0.89$)	$L=8E-05Q^{0.99}$ ($R^2=0.88$)	$L=0.0016Q^{1.12}$ ($R^2=0.70$)

이상으로 나타나 본 연구의 대상지역은 유량과 오염물질별 부하량의 관계가 높게 나타났다. 탐진A는 BOD, TN, TP의 유량 지수가 1보다 작게 나타났으며, 탐진B의 경우 BOD, TP의 유량 지수가 1보다 작게 나타나 유량증가에 따른 농도의 증가현상은 보이지 않았다. 탐진B에서 TN의 유량 지수가 1보다 크게 나타나 유량증가 시 다소 증가하지만 그 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 앞서 언급했듯이 평상시 점오염원에 의해 높은 농도로 수질을 유지하다가 강우시 다량의 유량이 유입되어 희석 효과가 나타났기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 유량 지수가 1보다 작으면 비점오염원에 의한 추가적인

수질오염보다는 희석에 의한 효과가 더 크다는 것을 의미한다. 또한 두 유역의 경우 비점오염원 보다는 점오염원이 수질에 더 큰 영향을 미친다는 것으로도 해석될 수 있다. SS의 경우 유량의 지수가 1보다 크게 나타나 유량증가에 따른 오염물질의 농도가 증가하는 것으로 나타났고 이러한 이유는 집중강우시 유역내의 토사 등의 부유물질이 다량으로 유출되었기 때문인 것으로 판단된다. 박지형 등 (2011)에 의하면 유량지수가 1 이상을 나타내면 비점오염원의 배출증가로 볼 수 있으며, 유량지수가 1 미만을 나타내면 점오염원의 영향을 받는 다고 주장하였다. 탐진강 수계의 단위유역 말단 두 지점은

대체로 점오염원의 영향을 크게 받는 것으로 유량 증가에 따른 희석효과로 유량지수가 1 미만으로 나타난 것으로 사료되며, 유량(Q)과 유달부하량(L)의 관계를 식을 이용하여 도출된 유량지수로 유량변화에 따른 오염물질의 의존도를 배열하면 SS > TN > BOD > TP 순으로 크다는 것을 알 수 있었다.

IV. 결론

본 연구에서는 평균 8일 간격으로 탐진 A지점과 탐진B지점에서 실측한 유량과 수질자료를 활용하여 유량과 수질항목별 상관분석을 실시하고 유량과 유달부하량 관계식을 이용하여 유량변동에 의한 수질 특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 유량이 수질에 미치는 영향을 분석하기 위하여 유량과 수질 항목간의 상관분석을 실시한 결과 탐진A와 B 유역은 유량증가에 따른 SS의 농도는 높아지더라도 평상시 점오염원에 의해 높은 농도로 BOD, TN, TP가 유지되다가 유량증가에 따른 추가 오염이 적었으며, 오히려 희석의 효과로 인해 농도가 감소하는 것으로 볼 때 비점오염원의 영향은 미미한 것으로 판단되었다.

2) 탐진강수계 탐진A와 탐진B의 오염물질별 유량-부하량 관계식을 도출한 결과 탐진A는 SS, 탐진B는 SS와 TN을 제외한 나머지 수질항목(탐진A: BOD, TN, TP, 탐진B: BOD, TP)의 유량-부하량 관계식의 유량지수가 1보다 작거나 같아 유량증가에 따른 농도의 증가현상은 나타나지 않았다. 이는 비점오염원에 의한 추가적인 수질오염보다는 희석 효과가 더 크다는 것을 의미하며, 탐진A의 BOD, TN, TP, 탐진B의 BOD와 T-P에 영향을 미치는 오염원은 비점오염원 보다는 점오염원이 수질에 더 큰 영향을 미치는 것으로 해석 될 수 있다.

하지만, 본 연구는 8일간 측정자료를 이용하여 해석한 결과이므로 좀더 신뢰성 있는 유역별 오염물질 유출특성을 해석하기 위해서는 일별 유량자료, 오염원별 배출특성 조사 등의 자료확보가 필요하며 상류에 위치한 장흥댐의 방류량 및 방류수질

의 영향과 유역의 토지피복현황 분석이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 건설교통부, 2004, 수문관측매뉴얼.
- 김진수, 오승영, 김규성, 권순국, 2001, 관개기 광역논에서의 오염물질의 농도 특성, 한국농공학회, 43(6), 163-173.
- 김태근, 2006, 유량-부하량 관계식을 이용한 용담호 유입하천의 영양염류 유입량 변동특성, 한국영향평가학회지, 15(2), 129-138.
- 김형철, 윤춘경, 정광옥, 장재호, 2004, 하구담수호에 유입되는 하천에서 수질오염물질간의 상관관계 분석, 대한상하수도학회·한국물환경학회 2004공동 추계학술발표회 논문집, 62-71.
- 박지형, 2007, 유역형상과 수리 특성을 고려한 경험론적 유달부하 산정, 박사학위논문, 경북대학교.
- 박지형, 손수민, 류덕희, 2011, 경험식과 요인분석을 통한 오염물질 유출 특성 연구 -남한강 상·하류 수계 주요 하천을 중심으로-, 수질보전 한국물환경학회지 27(6), 905-913.
- 박태양, 김성재, 김성민, 김상민, 2010, 낙동강유역 수질측정자료의 시·공간적 특성 및 수질항목간 특성 분석, 농업생명과학연구, 44(5), 117-127.
- 이상욱, 2010, 남강댐 유역의 유출량과 오염 부하량 상관관계 해석, 석사학위논문, 경상대학교.
- 이형진, 공동수, 김상훈, 신기식, 박지형, 김병익, 김성미, 장승현, 천세억, 2007, 남한강수계 저수기 수질변동 특성에 관한 연구, 수질보전 한국물환경학회지, 23(6), 889-896.
- 장인수, 정진경, 박기범, 2010, 수계 상하류의 유량 및 수질 상관관계 분석, 한국환경과학회지, 19(6), 771-778.
- 조현경, 2011, 낙동강 주요지점에서 유량-수질의

- 관련특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 20(3), 373-384.
- 최한규, 백경원, 최용목, 오기호, 2002, 유량변동에 따른 소양강유역 수질의 통계학적 해석, 대한토목학회논문집, 22(2), 117-124.
- 최현구, 한건연, 최승용, 2011, 낙동강 상류 유역에서의 유량변동에 따른 수질의 통계학적 분석, 환경영향평가학회지, 20(6), 833-843.
- 한대호, 2010, 하천 및 호소의 시·공간적 수온변화 분석 및 수질평가, 박사학위논문, 서울시립대학교.
- 환경부, 2008, 수질오염공정시험법.
- 홍성호, 반종석, 전향배, 2012, 한강수계 유량곡선식 개발 및 수질오염물질 항목간 상관성 분석에 관한 연구 -벽계천 중심으로-, 한국물환경학회지, 28(3), 394-400.
- Colston, N. V., 1974, Characterization and treatment of urban land runoff, U.S. EPA-670/2-74-096.
- Dolan, D. M., A. K. Yui, and R. D. Geist., 1981, Evaluation of River Load Estimation Methods for Total Phosphorus, J. Great Lakes Res, 7(3), 207-214.
- Guo, H. C., Liu, L. and Huang, G. H., 2003, A Stochastic Water Quality Forecasting System for the Yiluo River, Journal of Environmental Informatics, 1(2), 18-32.
- Karn, S. K. and Harada, S., 2001, Surface Water Pollution in Three Urban Territories of Nepal, India, and Bangladesh, Environmental Management, 28(4), 483-496.
- Lindenschmidta K. E., 2007, Structural uncertainty in a river water quality modeling system, Ecological Modeling, pp.289-300.
- Wanielista, M.P., 1978, Stormwater management quantity and quality, Ann Arbor Science, Mich, 187-220.
- Wang, P. F., 1999, Water quality and eutrophication in Tampa Bay, Coastal and Shelf Science, Vol 49, pp.1-20.