

연구논문

통계분석을 이용한 영산강 · 섬진강수계 주요 유입지천의 수질 특성

박진환* · 정재운* · 김대영* · 김갑순* · 한성욱* · 김현욱** · 임병진*

국립환경과학원 영산강물환경연구소*, 서울시립대학교 환경공학부**

(2013년 2월 6일 접수, 2013년 4월 4일 승인)

Water Quality Characteristics of the Major Tributaries in Yeongsan and Sumjin River Basin using Statistical Analysis

Jinhwan Park* · Jaewoon Jung* · Daeyoung Kim* · Kapsoon Kim*
· Sungwook Han* · Hyunook Kim** · Byungjin Lim*

Yeongsan River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research*, Division of Environmental Engineering, University of Seoul, Seoul, South Korea**

(Manuscript received 6 February 2013; accepted 4 April 2013)

Abstract

In this study, we report the water quality characteristics of pollutants for 4 major tributaries in the Yeongsan and Sumjin river basins using statistical analysis, such as regression equation and factor analysis. The flow rate and water quality data collected from 4 sampling sites(Hwangryoung A, Jiseok A, Chooryeong A, Osu A) in the Yeongsan and Sumjin river basin during the past 3 years were analyzed for 11 parameters(flow rate, dissolved oxygen, pH, water temperature, electric conductivity, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, total organic carbon, total nitrogen, total phosphorus, suspended solid). The results showed that the concentrations of BOD, COD, TOC, T-N, T-P in Hwangryoung A(HW) and Jiseok A(JS) of the Yeongsan river basin were decreased as the flow rate was increased. This means that rather than nonpoint sources, point sources affect water quality. In the cases of Chooryeong A(CR) and Osu A(OS) in the Sumjin river basin, however, nonpoint sources than point sources are an important factor that affects the water quality. Also, the factor analysis technique was employed to analyze principal component influencing on water quality. The results revealed that the first principal component in HW was correlated with EC, DO, T-N, water temperature. This "nitrogen influx according to seasonal pattern" factor may be interpreted. In JS, the first principal component was correlated with BOD, COD, TOC and is likely to represent "organic matter" processes. In CR and OS, BOD, COD, TOC,

SS and T-P were significantly correlated and is considered as representing "Organic matter and adsorption of phosphorus on sediments influx". This study is expected to contribute to the effective pollution control/management of the surfac waters in the study sites.

Keywords : Factor Analysis, Nonpoint Sources, Point Sources, Regression Equation, Water Quality.

I. 서론

우리나라의 경우 현재 수질관리정책으로 2004년 8월부터 낙동강, 금강, 영산강·섬진강 수계에서 수질오염총량관리제를 시행해 오고 있다(환경부, 2009). 이에 약 8일 간격으로 단위유역말단에서 유량 및 수질 모니터링을 통해 자료를 수집해 오고 있으며 이러한 자료는 수질오염총량관리 계획수립을 위한 유역현황 파악, 기준유량의 산정, 단위유역의 목표수질 설정 및 평가, 오염물질 삭감계획 수립 등을 위한 기초자료로 활용될 뿐만 아니라(김영일과 이상진, 2011), 유역내 하천의 효율적인 수질관리와 평가를 위한 기초자료로도 활용할 수 있다. 하지만 모니터링 자료를 이용한 하천의 효율적인 수질관리와 평가를 위해서는 단순히 수질의 일반적인 단일항목 또는 2~3개의 항목만으로 수질을 평가하는데는 문제점이 있다. 왜냐하면 수질은 오염물질의 희석과 확산, 오염물질의 배출정도, 그리고 미생물 분해와 조류의 광합성 등의 자연현상에서 다양하고 수많은 요인들의 복합적인 작용에 의하여 발생하기 때문이다(김영주, 2003). 따라서, 효율적이고 체계적인 수질관리를 위해서는 다양한 통계분석을 활용하여 수질에 영향을 미치는 인자를 도출하고 이들 사이의 상호영향 평가가 우선되어야 한다(박지형, 2011). 이러한 방법들에는 수질, 유량 및 오염부하량간의 상관관계를 분석하고 회귀식을 도출하여 수질, 유량, 부하량 사이의 관계를 해석하는 방법과 수질에 관련되는 요인들을 동시에 대입시켜 보다 객관성 있는 해석을 유도할 수 있는 다변량해석 기법이 있다(윤양호와 박종식, 2000). 특히 다변량해석 기법 중 변수들 상호간의 상관성을 갖는 여러 변수들의 정보를 큰 손실없이 서로 독립적인 몇 개의 종합 특성치로 요약하는 기법인 요인분석이

하천의 수질관리 및 평가를 위해 국내·외에서 많은 연구가 수행되고 있다.

이와 관련된 국내 연구로는 백경원 등(1996)은 BOD, DO, SS등 제한된 수질변수에 대해 시기별로 통계분석을 실시하고 단순선형회귀식을 제안한 연구를 수행하였으며, 정상만 등(2000)은 금강 지류인 미호천 유역에서, 최한규 등(2002)은 소양호 상류유역에서, 박지형 등(2011)은 남한강 상·하류 수계 주요 하천을 중심으로 유량과 부하량 관계식을 도출하여 유량에 따른 수질특성을 분석하였다. 또한 국외의 경우 Colston(1974)은 도시지역의 토지이용별 소유역에 대해 유출량 및 수질을 회귀분석하여 상관관계식을 제안하였고, Dolan 등(1981)은 미국의 Grand 강에서 유량과 인에 대한 관계식을 개발하고 부하량을 산정한 후 유량을 규모별로 구분하여 관계식을 개발하면 정확도가 향상될 것으로 제안한 바 있다. 한편, 요인분석을 통해 하천의 수질평가에 활용한 연구는 유호식(2002), 정승원 등(2003), 김요용과 이시진(2011)은 한강수계를 대상으로 수질항목간 상관분석, 요인분석 및 군집분석을 통해 한강수질에 영향을 미치는 원인들을 분석하였으며, 김영주(2003)는 주성분 분석을 통해 도시호수에 영향을 미치는 오염원에 대한 해석을 실시한 바 있다. 또한 유순주 등(2005)은 요인분석을 이용하여 담수 이후 용담호의 조류발생에 영향을 미치는 요인들을 고찰하였으며, 박지형 등(2011)은 경험식과 요인분석을 통해 남한강 상·하류 수계의 주요하천을 중심으로 오염물질 유출특성을 해석하였다.

외국의 경우 Karim 등(2003)과 Petersen 등(2001)은 New Jersey Passic 강과 Elbe 강에 대한 시·공간적 영양물질농도와 관련하여 수질에 영향을 미치는 요인간의 공통성을 파악하기 위해 주

성분분석을 이용하였고, Bernard 등(2004)은 호소의 영양상태를 파악하고 관련 수질 항목들의 관리와 평가를 위하여 주성분 분석을 실시하였으며, Ying (2005)은 수질측정망 자료를 활용하여 지표수 수질을 평가하기 위하여 주성분 분석과 요인분석을 실시한 바 있다. 이처럼 다양한 수계에서 통계분석을 활용하여 수질에 영향을 미치는 요인을 분석하고 평가하는 연구가 활발히 진행되고 있지만 아직까지 영산강 · 섬진강수계 주요 유입하천을 대상으로 실측자료와 통계분석을 이용하여 수질에 영향을 미치는 요인을 분석하고 평가하는 연구는 아직까지 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 영산강 · 섬진강수계 주요 유입하천을 대상으로 실측된 유량자료와 수질자료를 활용하여 유량과 부하량의 회귀식을 개발하고 유량이 수질에 미치는 영향을 분석하였으며, 요인분석을 통해 수질에 영향을 미치는 주요 요인을 파악하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상 지역

본 연구의 대상지역은 황룡A(HW), 지석A(JS), 추령A(CR), 오수A(OS) 유역이다. 이 측정지점은 영산강 · 섬진강 분류로 유입되는 주요 유입지천이며, 환경부에서 8일 간격의 유량과 수질을 측정할 지점이다(Fig. 1). 황룡A 유역은 황룡강수계 중 발

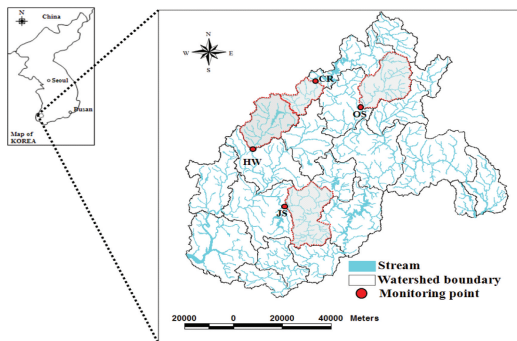


Fig. 1. Location of study sites and monitoring point (HW: Hwangryoung A; JS: Jiseok A; CR: Choryeong A; OS: Osu A)

원지부터 장성군과 광주광역시 광산구 경계점 전까지 전 구간 및 유역으로써 유역면적 365.0 km², 지석A 유역은 지석천 유역 중 발원지부터 화순군과 나주시 경계점 전까지 전 구간 및 유역으로써 유역면적 412.5 km², 추령A 유역은 추령천 유역 중 발원지부터 순창군과 정읍시 경계점 전까지 전 구간 및 유역으로써 유역면적 153.1 km², 오수A 유역은 오수천 유역 중 발원지부터 섬진강분류 합류점 전까지 전 구간 및 유역으로써 유역면적 371.1 km²이다.

2. 수질 및 유량 조사방법

수질 및 유량 조사는 2009년 1월부터 2011년 12월까지 3년간 평균 8일 간격으로 조사하였으며, 총 조사 횟수는 지점별로 평균 127회로 대상유역 말단에서 유량을 측정하고 동시에 수질시료를 채취하였다. 수질시료의 채취와 분석은 수질오염공정시험기준(환경부, 2008)에 준하여 실시하였으며, 수온, DO, pH, 전기전도도는 YSI 650MDS를 이용하여 현장에서 직접 측정하였다.

하천유량의 측정은 수문관측 매뉴얼(건설교통부, 2004. 5)에 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 이용하였고 현장여건을 고려하여 도섭법과 추대법법을 통해 유량을 측정하였다. 유량측정기준은 등유량 5% 내의 측선배분 및 유속이 0.2 m/s 미만일 때는 120초, 이상일 때는 40초 이상으로 측정하였다.

3. 유량-부하량 관계식

유량에 따른 수질의 변동을 파악하기 위해 유량-부하량 관계식을 이용하였다. 유량과 부하량은 경험적으로 식(1)의 관계를 가지며, 이를 변환하면 식(2)가 된다. 여기서 계수 b의 값이 1보다 크면 유량 증가에 따른 농도의 증가를, b가 1이면 농도변화가 없으며, b가 1보다 작으면 유량증가에 따른 농도의 감소를 의미한다(김진수 등, 2001, 이형진 등, 2007, 장주형 등, 2010, 박지형 등, 2011).

$$L = a \times Q^b \quad (1)$$

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

여기서, L(kg/day)은 부하량, Q(m³/day)는 하천 유량, a와 b는 계수이다.

4. 통계분석

본 연구에서는 모니터링을 통해 수집된 유량, 수온, pH, EC, DO, BOD, COD, SS, T-N, T-P, TOC 등의 수질자료를 이용하여 상관분석과 요인분석을 통계분석 프로그램인 SPSS(ver. 12.0)를 통해 분석하였다. 상관분석의 경우 두 변수간의 선형적인 상관관계를 파악하는 것으로 한 변수가 다른 변수와의 관련성이 있는지 여부와 관련성이 있다면 어느 정도의 관련성이 있는지를 알고자 할 때 유용한 기법이다. 여기서, 두 변수간의 관련성을 나타내기 위한 척도로는 상관계수(Correlation Coefficient, r)가 많이 이용되며, 상관계수는 -1에서 1까지의 값을 취하는데 절대 값이 1에 가까울수록 상관성이 강하다는 것을 의미한다. 요인분석은 다변량 분석법 중 하나로 여러 변수간의 상관행렬로부터 공통요인을 도출하여 서로 상관이 있는 경우 변수간의 상관성을 설명하고 변수를 적은 수로 축소시켜 요인을 추출하는 방법이다. 요인수의 결정방법은 고유치를 기준으로 결정하는 방식과 총분산중에서 요인이 설명해주는 정도를 기준으로 하는 방법이 있다.

본 연구에서는 고유치(Eigen Value)를 기준으로 요인분석을 실시하였다. 고유치는 요인이 설명할 수 있는 변수들의 분산 크기를 나타내는 것으로 고유치가 1보다 크다는 것은 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분석을 설명해 준다는 것을 의미하며, 고유치가 1보다 작다는 것은 1개의 요인이 변수 1개의 분산도를 설명해 줄 수 없다는 것을 의미하므로 주요인을 추출하기 위해서는 통상 고유치가 1이상을 기준으로 결정한다. 또한 변수들이 여러 요인에 대하여 비슷한 요인부하량(Factor Loading)을 나타낼 경우에 변수들이 어느 요인에 속하는지 분별하기가 어렵다. 따라서 변수들의 요인부하량이 어느 한 요인에 높게 나타나도록 하기 위한 방법인 Varimax

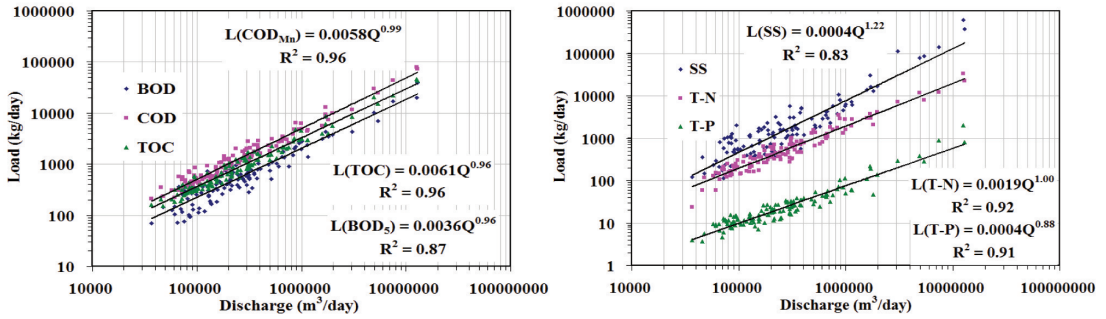
방식을 이용하여 주요 요인을 판별하였다.

III. 결과 및 고찰

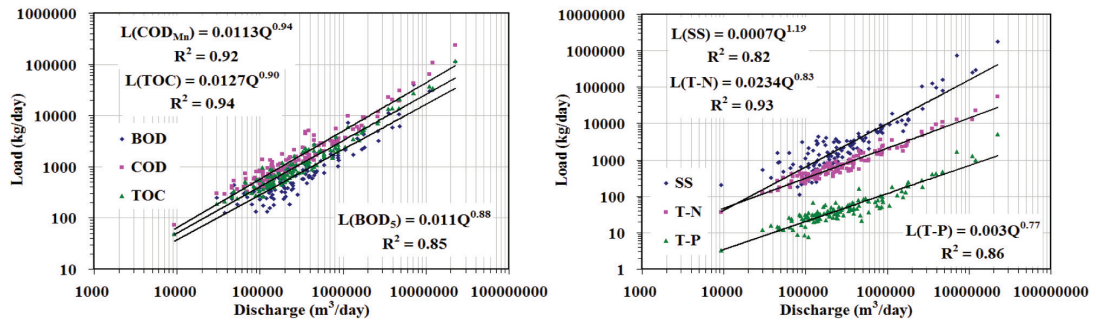
1. 회귀식을 이용한 오염물질 유출특성 분석 결과

본 연구의 대상유역인 황룡A(HW), 지석A(JS), 추령A(CR), 오수A(OS) 유역의 모니터링 자료로부터 유량(Discharge)과 오염부하량(Load)과의 관계식을 도출한 결과는 Fig. 2와 Table 1과 같다. 전반적으로 오염물질별 유량-부하량 관계식은 지점별로 결정계수(Coefficient of Determination, R²)가 모두 0.8이상으로 나타나 본 연구의 대상지역은 유량과 오염물질별 부하량의 관계가 매우 높게 나타났다. 또한 영산강 본류로 유입되는 주요 지천인 황룡A와 지석A의 BOD, COD, TOC, T-N, T-P의 경우 유량의 지수가 1보다 작거나 같게 나타나 유량 증가에 따른 농도의 증가현상은 보이지 않았다. 이는 황룡A와 지석A의 경우 평상시 점오염원에 의해 높은 농도로 수질을 유지하다가 강우시 다량의 유량이 유입되어 희석 효과가 나타났기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 유량지수가 1보다 작으면 비점오염원에 의한 추가적인 수질오염보다는 희석에 의한 효과가 더 크다는 것을 의미한다. 또한 황룡A와 지석A의 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.

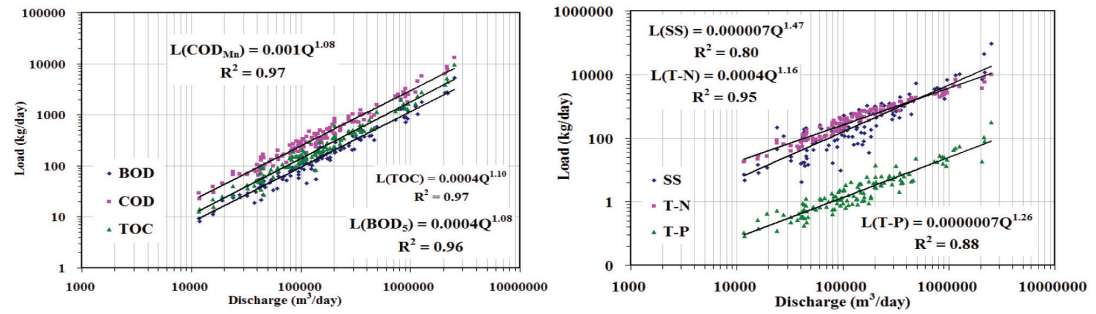
한편, 섬진강수계의 추령A와 오수A의 경우 영산강수계의 황룡강과 지석천과는 달리 유량과 BOD, COD, TOC, T-N, T-P 부하량의 관계식에서 유량 지수가 모두 1보다 크게 나타나 유량이 증가할수록 오염물질이 상승하는 경향을 보였다. 이러한 연구 결과는 박지형 등(2011)이 남한강 상·하류 수계 주요하천을 중심으로 수행한 연구결과와 유사하였는데 이 연구결과는 유량-부하량 관계식의 경우 점오염원의 영향을 크게 받는 유입하천은 유량의 지수



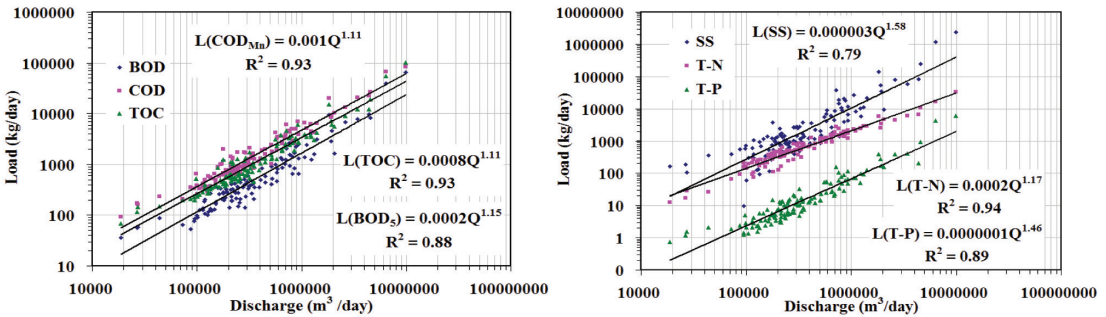
(a) HW



(b) JS



(c) CR



(d) OS

Fig. 2. Relationship between discharge and pollutants load at the study site.

Table 1. Reression equations for pollutants load at the study sites

Sites	Equations					
	BOD	COD	TOC	T-N	T-P	SS
HW	$L=0.0036Q^{0.96}$ ($R^2=0.87$)	$L=0.0058Q^{0.96}$ ($R^2=0.95$)	$L=0.0061Q^{0.96}$ ($R^2=0.96$)	$L=0.0019Q^{1.00}$ ($R^2=0.92$)	$L=0.0004Q^{0.88}$ ($R^2=0.91$)	$L=0.0004Q^{1.22}$ ($R^2=0.83$)
JS	$L=0.0111Q^{0.88}$ ($R^2=0.85$)	$L=0.0113Q^{0.94}$ ($R^2=0.92$)	$L=0.0127Q^{0.90}$ ($R^2=0.94$)	$L=0.0234Q^{0.83}$ ($R^2=0.93$)	$L=0.003Q^{0.77}$ ($R^2=0.86$)	$L=0.0007Q^{1.19}$ ($R^2=0.82$)
CR	$L=0.0004Q^{1.08}$ ($R^2=0.96$)	$L=0.001Q^{1.08}$ ($R^2=0.97$)	$L=0.0004Q^{1.10}$ ($R^2=0.97$)	$L=0.0004Q^{1.16}$ ($R^2=0.95$)	$L=7E-07Q^{1.26}$ ($R^2=0.88$)	$L=7E-06Q^{1.47}$ ($R^2=0.80$)
OS	$L=0.0002Q^{1.15}$ ($R^2=0.88$)	$L=0.001Q^{1.11}$ ($R^2=0.93$)	$L=0.0008Q^{1.11}$ ($R^2=0.93$)	$L=0.0002Q^{1.17}$ ($R^2=0.94$)	$L=1E-07Q^{1.46}$ ($R^2=0.89$)	$L=3E-06Q^{1.58}$ ($R^2=0.79$)

가 1 미만이며, 비점오염원의 영향을 크게 받는 유입하천은 유량의 지수가 1이상으로 나타났다.

2. 상관분석결과

영산강·섬진강수계의 황룡A, 지석A, 추령A, 오수A 유역의 각 하천에 대한 유량 및 수질항목별 상관분석을 실시한 결과는 Table 2와 같다. 영산강수계 황룡A 지점의 경우 TOC와 COD, COD와 BOD의 상관계수가 각각 0.835, 0.697로 강한 양(+)의 상관성을 보였고, TOC와 BOD의 상관계수는 0.597로 나타나 TOC와 COD의 상관성보다는 낮은 상관성을 보였다. 지석A 지점의 경우 TOC와 COD의 상관계수는 0.887로 나타났고, COD와 BOD의 상관계수는 0.662, TOC와 BOD는 0.711로 나타났으며, 추령A와 오수A의 TOC와 COD의 상관계수는 각각 0.750, 0.850, COD와 BOD는 각각 0.545, 0.800, TOC와 BOD는 각각 0.640, 0.793으로 나타났다. 본 연구지역의 경우 전반적으로 유기물의 오염도를 나타내는 간접지표인 BOD, COD, TOC 간의 상관성이 비교적 높은 양(+)의 상관관계를 보였으며, 이 중 TOC와 COD의 상관성이 COD와 BOD, TOC와 BOD보다 더 높게 나타났다.

한편, 황룡A, 지석A, 추령A, 오수A 유역의 유량, SS, T-P의 상관성을 살펴보면, 영산강수계의 황룡A와 지석A의 유량과 SS의 상관계수는 각각 0.706, 0.639로 비교적 강한 양의 상관관계를 보였지만, 이들 지점의 유량과 T-P의 상관계수는 각각 -0.037, -0.143, SS와 T-P는 각각 0.183, 0.158로 나타나 상관성이 매우 낮았다. 하지만, 섬진강수계의 추령

A와 오수A의 유량과 T-P의 상관계수는 각각 0.609, 0.855, SS와 T-P의 경우 각각 0.822, 0.962로 매우 강한 양(+)의 상관관계로 나타나 황룡A와 지석A와는 다른 경향을 보였다. 이는 앞서 언급했듯이 황룡A와 지석A의 경우 유량증가에 따른 SS의 농도는 높아지더라도 평상시 점오염원에 의해 높은 농도로 T-P가 유지되다가 유량증가에 의한 추가 오염보다는 오히려 희석의 효과가 나타난 것으로 해석될 수 있다. 하지만 추령A와 오수A의 경우 비점오염원으로 인해 집중강우시 많은 유량, SS와 SS에 흡착된 T-P가 동시에 유출되었기 때문에 유량, SS, T-P간의 상관성이 높게 나타난 것으로 판단된다. 이 밖에 수온과 DO의 상관계수는 각 지점별로 -0.662에서 -0.909의 범위로 음(-)의 상관성을 나타내어 온도가 높을수록 산소의 용해도가 낮아지는 전형적인 관계를 보였다.

3. 요인분석결과

영산강·섬진강 수계의 황룡A, 지석A, 추령A, 오수A를 대상으로 수질변화에 영향을 미치는 주요 인자를 요인분석(Factor Analysis)을 통해 분석한 결과는 Table 3과 같으며, 요인과 변량과의 상관계수에 따른 요인 구조를 명확하게 하기 위하여 직각 회전방식인 Varimax 방식을 적용하여 얻은 결과는 Table 4 및 Table 5와 같다. 영산강 수계의 황룡A와 지석A의 수질인자 중 고유치(Eigen value) 1이상을 기준으로 황룡A의 경우 4개의 요인이 결정되었고, 1요인의 고유치는 2.772로써 25.202% 기여하고 있으며, 나머지 2~4요인의 고유치와 기여율은

Table 3. Eigen values and cumulative percentage among parameters at the study sites

Sites	Factor	Initial eigen values		
		Total(%)	Variance(%)	Cumulative(%)
HW	1	2.772	25.202	25.202
	2	2.555	23.231	48.433
	3	1.996	18.146	66.579
	4	1.847	16.788	83.367
JS	1	3.588	32.621	32.621
	2	2.823	25.666	58.287
	3	2.044	18.578	76.865
CR	1	4.523	41.121	41.121
	2	1.944	17.675	58.795
	3	1.592	14.472	73.267
OS	1	4.472	40.652	40.652
	2	1.973	17.933	58.585
	3	1.874	17.037	75.622

각각 2.555, 1.996, 1.847과 23.231%, 18.146%, 16.788%로써 1요인부터 4요인까지 전체 분산의 83.367%까지 설명해 주고 있다. 회전된 요인들을 살펴보면, 황룡A의 제1요인의 경우 EC, DO, T-N, 수온 등의 “계절변화에 따른 질소계열 오염물질 유입”과 상관성이 높은 것으로 판단되며, 제2요인은 COD, TOC, T-P와 강한 양(+)의 상관관계를 보여

“하수에 의한 난분해성 유기물질과 인계열 오염물질 유입”과 관련이 있는 것으로 보인다. 제3요인은 pH와 양(+)의 상관관계를 보였는데, pH의 경우 “수중의 생화학적 반응”과 관련이 있는 것으로 판단되고(유호식, 2002), 제4요인의 경우 유량과 SS가 강한 양의 상관관계를 보여 “유량증가에 따른 부유물질 유입”과 관련이 있는 것으로 판단된다. 또한, 지석A의 경우 3개의 요인이 결정되었고, 1요인의 고유치는 3.588로써 32.621% 기여하고 있으며, 나머지 2와 3요인의 고유치와 기여율은 2.823, 2.044과 25.666%, 18.578%로써 1요인부터 3요인까지 전체 분산의 76.865%까지 설명해 주고 있다. 여기서, 제1요인은 BOD, COD, TOC가 강한 양의 상관성을 보여 “생분해성 및 난분해성 유기물질 유입”과 관련이 있는 것으로 보이며, 제2요인은 온도, DO, T-N과 상관성이 높아 “계절변화에 따른 질소계열 오염물질의 유입”과 관련이 있는 것으로 추정된다. 제3요인의 경우 유량과 SS의 상관성이 높아 “유량증가에 따른 부유물질 유입”과 관련이 있는 것으로 판단된다.

섬진강 수계의 추령A는 3개의 요인이 결정되었고 1요인부터 3요인까지 전체 분산의 73.267%까지를 설명해 주고 있으며, 제1요인의 고유치는 4.523으로 41.121% 기여하고 있으며, BOD, COD, TOC,

Table 4. Rotated factor matrix among water quality parameters in HW and JS of Yeongsan river basin

Parameters	(a) Components						
	HW				JS		
	1	2	3	4	1	2	3
Discharge	-0.083	-0.043	-0.202	0.907	0.040	-0.216	0.875
TEMP	-0.901	0.133	-0.285	0.114	0.175	-0.953	0.001
pH	0.145	0.144	0.900	-0.071	0.472	0.053	-0.582
EC	0.729	0.209	0.084	0.312	0.367	0.666	-0.452
DO	0.708	-0.068	0.614	-0.143	0.102	0.746	-0.348
BOD	0.061	0.534	0.715	0.137	0.839	0.204	0.130
COD	-0.116	0.849	0.323	0.165	0.878	-0.050	0.126
SS	-0.063	0.196	0.182	0.906	0.397	-0.125	0.746
T-N	0.803	-0.005	-0.068	0.140	0.440	0.799	-0.054
T-P	0.471	0.745	-0.086	0.034	0.716	0.407	-0.137
TOC	-0.113	0.931	0.141	-0.032	0.922	0.052	-0.060

Table 5. Rotated factor matrix among water quality parameters in CR and OS of Seomjin river basin

Parameters	(b) Components					
	CR			OS		
	1	2	3	1	2	3
Discharge	0.581	0.367	-0.635	0.605	0.608	0.177
TEMP	0.518	-0.712	-0.280	0.226	0.032	0.934
pH	-0.084	-0.753	0.213	-0.196	-0.686	0.063
EC	-0.112	0.161	0.907	0.098	-0.615	-0.234
DO	-0.581	0.597	0.322	-0.379	-0.342	-0.750
BOD	0.690	-0.064	-0.113	0.891	0.080	0.051
COD	0.836	-0.024	-0.042	0.874	0.001	0.189
SS	0.814	0.261	-0.130	0.796	0.433	0.030
T-N	0.319	0.509	0.267	0.415	0.492	-0.487
T-P	0.900	0.034	-0.138	0.804	0.447	0.146
TOC	0.900	-0.142	-0.128	0.924	0.024	0.225

SS, T-P와 강한 양의 상관관계를 보여 “유기물질 유입과 SS와 이에 흡착된 인계열 오염물질의 유입”과 관련이 있는 것으로 판단되며, 제2요인의 고유치는 1.944로써 17.675% 기여하고 있으며 온도, pH, DO, T-N과 상관성이 높아 “계절적 변동에 의한 질소계열 오염물질 유입”과 관련이 있고, 제3요인의 고유치와 기여율은 1.592와 14.472%로써 EC와 양(+)의 상관성이 매우 높게 나타났는데 이는 “물속에 용존되어 있는 이온들의 영향”과 관련이 있는 것으로 판단된다(박재현과 우보명, 1997). 오수A의 경우 3개의 요인이 결정되었고 1~3요인까지 전체 분산의 75.622%까지를 설명해 주고 있으며, 각각의 고유치와 기여율은 4.472, 1.973, 1.874와 40.652%, 17.933%, 17.037%로써 제1요인은 추령A처럼 BOD, COD, TOC, SS, T-P와 강한 양(+)의 상관관계를 보여 “유기물질 유입과 SS와 이에 흡착된 인계열 오염물질의 유입”과 관련이 있는 것으로 보이고, 제2요인은 유량과 높은 상관성을 보여 “유량변동”과 관련이 있으며, 제3요인은 온도와 DO의 상관성이 높아 “계절적 요인”으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 영산강 · 섬진강수계의 주요 유입지천

인 황룡A, 지석A, 추령A, 오수A의 수질 특성을 분석하기 위해 2009년 1월부터 2011년 12월까지 3년간 평균 8일 간격으로 유량 및 수질을 실측하였고 실측된 자료를 이용하여 회귀식과 요인분석을 실시하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 영산강수계 황룡A와 지석A의 오염물질별 유량-부하량 관계식을 도출한 결과 SS를 제외한 BOD, COD, TOC, T-N, T-P의 유량-부하량 관계식의 유량지수가 1보다 작거나 같아 유량증가에 따른 농도의 증가현상은 나타나지 않았다. 이는 비점오염원에 의한 추가적인 수질오염보다는 희석효과가 더 크다는 것을 의미하며, 황룡A와 지석A의 경우 비점오염원 보다는 점오염원이 수질에 더 큰 영향을 미치는 것으로 해석 될 수 있다. 하지만 섬진강수계 추령A와 오수A의 경우 유량지수가 1보다 크게 나타나 점오염원보다 비점오염원이 수질에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

2) 황룡A, 지석A, 추령A, 오수A의 유량과 수질 항목별 상관성은 유기물의 오염도를 나타내는 간접 지표인 BOD, COD, TOC간의 상관성이 높았고, 특히 COD와 TOC간의 상관성이 COD와 BOD, TOC와 BOD보다 더 높게 나타났다. 또한 유량, SS, T-P의 상관성은 점오염원의 영향을 받는 황룡A와 지석A 보다는 비점오염원의 영향을 받는 추령A와 오

수A에서 더 높은 상관성을 보였는데, 이는 집중강우시 다량의 유량에 의해 SS와 이에 흡착된 T-P가 유출되었기 때문인 것으로 판단된다.

3) 연구대상지점의 수질변화에 영향을 미치는 주요 인자를 파악하기 위한 요인분석을 실시한 결과 황룡A의 경우 제1요인은 EC, DO, T-N, 수온과 높은 상관성을 보여 “계절변화에 따른 질소계열 오염물질 유입”과 관련이 있었으며, 지석A의 제1요인은 BOD, COD, TOC와 강한 상관성을 보여 “유기물질 유입”과 관련이 있는 것으로 나타났다. 또한 추령A와 오수A의 경우 제1요인은 모두 BOD, COD, TOC, SS, T-P와 강한 양(+)의 상관관계를 보여 “유기물질 유입과 SS에 흡착된 인계열 오염물질 유입”과 관련이 높은 것으로 나타났다. 향후, 본 연구결과는 황룡A, 지석A, 추령A, 오수A 유역의 효율적인 수질관리를 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다. 하지만 본 연구의 결과는 특정유역(황룡A, 지석A, 추령A, 오수A 유역)의 모니터링 자료를 이용하여 통계분석을 통해 도출된 결과로써, 영산강·섬진강 수계 전체 하천의 수질특성 해석을 위해 본 연구 자료를 사용할 경우 세심한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 건설교통부, 2004, 수문관측매뉴얼.
- 김영일, 이상진, 2011, 수질오염총량관리제 시행의 문제점과 개선방안 계획 수립시 고려사항, 대한환경공학회지, 33(6), 385-389.
- 김영주, 2003, 주성분분석에 의한 도시호수의 수질 평가에 관한 연구, 환경관리학회지, 9(2), 197-203.
- 김요용, 이시진, 2011, 다변량 통계 분석기법을 이용한 한강수계 지천의 수질 평가, 대한환경공학회지, 33(7), 501-510.
- 김진수, 오승영, 김규성, 권순국, 2001, 관개기 광역논에서의 오염물질의 농도 특성, 한국농공학회, 43(6), 163-173.
- 박지형, 손수민, 류덕희, 2011, 경험식과 요인분석을 통한 오염물질 유출 특성 연구 -남한강 상·하류 수계 주요 하천을 중심으로-, 수질보전 한국물환경학회지, 27(6), 905-913.
- 박재현, 우보명, 1997, 산림유역내 강수로부터 계류수질에 미치는 영향인자 분석 -pH, 용존산소, 전기전도도-, 한국임학회지, 86(4), 489-501.
- 백경원, 정용태, 한건연, 송재우, 1996, 한강하류부수질의 통계학적 해석, 한국수자원학회지, 29(2), 179-190.
- 유순주, 채민희, 황중연, 이재안, 박종겸, 최태봉, 2005, 담수 이후 용담호 영양상태 변동 요인 분석, 수질보전 한국물환경학회지, 21(4), 360-367.
- 윤양호, 박종식, 2000, 주성분분석에 의한 거금수도의 수질 환경 및 식물플랑크톤 변동 요인 해석, 한국환경과학회지, 9(1), 252-258.
- 유호식, 2002, 한강수질에 영향을 끼치는 요인들의 통계분석, 대한환경공학회지, 24(12), 2139-2150.
- 이형진, 공동수, 김상훈, 신기식, 박지형, 김벽익, 김성미, 장승현, 천세억, 2007, 남한강수계 저수기 수질변동 특성에 관한연구, 수질보전 한국물환경학회지, 23(6), 889-896.
- 장주형, 이형진, 김현구, 박지형, 김지호, 류덕희, 2010, 점오염원과 비점오염원 부하량 정량화를 위한 수질·유량 모니터링 개선, 수질보전 한국물환경학회지, 26(5), 860-870.
- 정상만, 임경호, 최정현, 2000, 금강지류 유역에서의 유출량과 오염부하량의 상관관계 분석, 한국수자원학회논문집, 33(5), 527-536.
- 정승원, 이진환, 유종수, 2003, 한강하류의 환경학적 연구 v. 식물플랑크톤 군집의 대발생 특징, 한국조류학회지, 18(4), 255-262.
- 최한규, 백경원, 최용물, 오기호, 2002, 유량변동에 따른 소양강무역 수질의 통계학적 해석, 대한토목학회논문집, 22(2), 117-124.
- 환경부, 2008, 수질오염공정시험법.
- 환경부, 2009, 수질오염총량관리를 위한 목표수질

- /유량측정사업 통합운영지침.
- Bernard, P., Antoine, L. and Bernard, L. 2004, Principal Component Analysis an Appropriate Tool for Water Quality Evaluation and Management application to a Tropical Lake System, *Ecological Modeling*, 178, 295-311.
- 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 Tatal Phosphorus, *J. Great Lakes Res*, 7(3), 207-214.
- Karim, B. and Taha, F. M. 2003, Using Principal Component Analysis to Monitor Spatial and Temporal Changes in Water Quality, *Journal of Hazardous Materials*, B100, 179-195.
- Petersen, W., Bertino, L., callies, U. and Zorita, E. 2001, Process Identification by Principal Componebt Analysis of River Water Quality Data, *Ecological Modeling*, 138, 293-213.
- Ying, O. 2005, Evaluation of River Water Monitoring Stations by Principal Component Analysis, *Water Research*, 39, 2621-2635.