



오염총량관리를 위한 남강댐유역 BOD 자료의 공간특성 분석

Spatial Analysis of BOD Data in Namgang-Dam Watershed for TMDLs

김상민*[†] · 김성민* · 박태양*

Kim, Sang Min*[†] · Kim, Sung Min* · Park, Tae Yang*

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the spatial characteristics of Namgang-Dam watershed for a Total Maximum Daily Loads (TMDL). Three TMDL target sites, Gyeonghohogang1, 2, Namgang-Dam2, are located within Namgang-Dam watershed. Under the current criterion for TMDLs, 3-year arithmetic mean BOD concentration of the target sites should not exceed the target concentration for 2 consecutive years. Two and three times of violation were observed for Gyenghohogang2 and Namgang-Dam2 sites while no violation was found for Gyeonghohogang1 site. However, no violation was found since 1999 for all three sites. Correlation between each 12 stations within the watershed were analyzed and cluster analysis was conducted to figure out the spatial characteristics of the watershed. Correlation coefficient between Gyonghohogang1 and 2 was high (0.758) while the coefficients between lake station (Namgang-Dam2) and stream stations (Gyonghohogang1 and 2) were very low. Dendrogram indicated that all of three Namgang-Dam stations were very close and Gyenghohogang1, 2 stations were also close.

Keywords: Namgang-dam, TMDLs, Water quality, Spatial analysis, BOD

1. 서 론

오염총량관리는 기존의 농도규제 중심의 수질관리에 대한 문제점을 극복하기 위해 제안된 방법이다. 농도규제 중심의 수질 관리는 유역의 수계로 유입되는 하·폐수를 배출허용 기준이나 방류수 수질기준에 따라 규제하는 방법으로 배출허용기준을 만족하는 오폐수의 양적팽창에 따른 오염부하의 증가를 통제할 수 없으며, 오염원이 밀집한 정도에 따라 규제의 엄격성 정도가 달라지는 비합리적인 제도이다. 우리나라 하천의 중·하류에는 인구 및 산업시설이 과도하게 밀집되어 있어 현재의 농도규제 방식으로는 하천의 환경기준 달성에 근본적으로 한계가 있다 (Ministry of Environment, 2002). 따라서 개별오염원에 대한 규제방식에서 일정한 유역내의 모든 오염원을 관리할 수 있는 유역별 오염총량관리 (Total Maximum Daily Loads, TMDLs)가 필요하다.

오염총량관리는 하천의 용수목적 등에 맞는 목표수질을 설정

하고 해당 하천수계의 배수구역에서 배출되는 오염부하 총량이 설정된 목표수질을 달성할 수 있는 허용량 이하가 되도록 관리하는 제도이며 (Ministry of Environment, 2003), 1972년 미국에서 배출수 수질기준을 만족함에도 불구하고, 수체의 수질기준을 만족하지 못할 경우 오염총량관리를 각 주로 하여금 적용하도록 수질환경보전법 (Clean Water Act) 303 (d)항에서 규정한 것에서 출발했다 (Houck, 2002). 미국의 오염총량 관리는 수질기준을 만족시키기 위해 수체에서 받아들일 수 있는 수질 항목별 오염부하량의 최대치를 계산하여 삭감량을 산정한 후 유역별로 재분배한다 (USEPA, 2003). 우리나라의 오염총량관리는 상수원 수질 개선을 위하여 1998년 처음으로 도입되었으며 (Prime Minister's Office et al., 1998), 오염총량 관리를 위한 기술적 지침은 2002년 11월 국립환경연구원이 발표한 “수계오염총량관리기술지침”에 의해 마련되었다.

현재 시행되고 있는 오염총량관리제는 목표수질 설정 수계구간 (총량관리단위유역)의 지정된 장소에서 수온, pH, DO, 전기전도도, BOD, COD, TSS, T-N, T-P 등의 9개 항목을 수질 오염공정시험방법에 따라 8일 간격으로 연간 30회 이상 측정하도록 규정하고 있으며 산정시점으로부터 과거 3년간 측정된 결과를 토대로 통계학적 평균수질을 산정하여 당해 목표수질 설정지점의 수질을 확인하도록 하고 있다. 2010년까지는 BOD에 대해서만 목표수질을 설정하도록 되어 있으며 측정된 수질

* 경상대학교 지역환경기반공학과 (경상대학교 농업생명과학연구원)

† Corresponding author. Tel.: +82-55-751-5431

Fax: +82-55-752-0884

E-mail address: smkim@gnu.ac.kr

2010년 4월 15일 투고

2010년 5월 18일 심사완료

2010년 5월 18일 게재확정

자료로부터 3년간 수질 측정자료의 평균수질 (통계학적 평균) 값이 목표수질을 2회 연속 초과할 경우, 오염총량관리 시행계획 수립대상이 된다. 한편 수질이 2회 연속 1 mg/L 이하인 지점의 유역이거나 수질이 2회 연속 목표수질 보다 나은 지점의 유역은 시행계획을 수립하지 않아도 되도록 하고 있다.

오염총량관리의 대상이 되는 지점의 목표수질을 달성하기 위해 대상지점과 상·하류와의 수질의 상관관계를 분석하여 오염총량관리 목표 지점의 유역 수질관리 전략을 수립할 수 있을 것으로 생각된다. 유역 수질자료의 공간적 특성에 대한 연구결과를 살펴보면, Park et al. (1997)은 비교적 자연환경이 잘 보존되어 있는 왕숙천을 대상으로 수질의 시·공간적 특성을 분석한 바 있다. Lee et al. (2006)은 도시하천인 갑천 유역을 대상으로 수질오염의 공간적 특성을 분석하기 위하여 각 지점의 상·하류 구간 15개 지점을 대상으로 3회 수질조사를 통해 각 구간별 영양염류의 농도변화를 분석하고 원인을 분석하였다. Cho (2009)은 남해안의 시·공간적 수질환경 특성을 비교하기 위하여 2003년부터 2005년까지 남해안 각 해역별로 수온, 염분, COD, 용존무기질소, 용존무기인, 클로로필에 대한 분석을 통해 염분과 COD는 해역별 차이가 유의적 수준에서 뚜렷이 나타나며, 이는 여름철 강우와 하천으로부터 유입되는 하천수의 영향이 큰 것으로 분석하였다. Han et al. (2009)은 팔당수계 주요 7개 하천 52개 지점의 수질자료를 분석하여 각 하천별 수질의 시·공간적 특성을 분석하였다. 시간적으로는 대부분의 수질항목이 유량의 영향을 크게 받았으며, 봄철과 겨울철 유량의 감소로 BOD와 COD가 높게 나타났으며 SS는 홍수기에 높게 나타났다. 공간적 패턴의 차이는 인접해 있는 유역 특성이나 환경기초 시설의 효율 및 위치 등에 의한 것으로 분석하였다.

유역의 수질자료의 시·공간적 분석에 대한 외국의 사례를 살펴보면 Singh et al. (2004)은 다변량 통계분석을 통해 인도의 Gomti 강을 대상으로 수질자료의 시·공간적 특성을 분석하였다. Davis et al. (2001)은 다변량 분석을 통해 동부 켄터키주의 7개 저수지를 대상으로 수질의 공간적 특성을 분석하였으며, Hussain et al. (2008)은 동부 사우디아라비아 지역의 관개지구를 대상으로 수질을 평가하고 군집분석을 실시하였다. Ouyang et al. (2006)은 주성분 분석을 통해 플로리다에 위치한 대유역을 대상으로 지표수 수질의 시공간적 특성을 분석하였으며, Ferrier et al. (2001)은 스코틀랜드의 하천을 대상으로 시·공간적 특성을 분석하였으며, Caccia et al. (2005)은 플로리다주의 Biscayne 만을 대상으로 통계분석을 통해 수질의 공간적 특성을 분석하였다. Yin et al. (2005)은 중국 상하이 지역을 대상으로 도시개발과 수질의 공간적 특성의 관계를 분석하였으며, Chang (2008)은 한강 유역을 대상으로 수질 경

향의 공간적 분석을 실시하였다.

본 연구에서는 남강댐유역을 대상으로 오염총량관리를 위한 수질자료의 공간적 특성을 살펴보기 위해 대상유역의 수문/수질 계측망에 대한 유량자료와 수질자료를 구축하여 수질자료의 오염총량관리 기준을 만족하는 지를 살펴보고 각 지점별 시간적, 공간적 특성을 분석하였다.

II. 연구방법

1. 대상유역

본 연구의 대상유역은 남강댐 유역으로 남강은 경상남도 거창군 서상면의 덕유산 (EL. 1,594 m)에서 발원하여 남쪽으로 흐르면서 함양군 함양읍 지점에서 함양위천, 산청군 신안면 지점에서 남강의 제 1지류인 양천과 합류하며, 이후 남쪽으로 흐르다가 덕천강과 합류한 후 남강댐에 유입된다. 남강댐은 낙동강의 지류인 남강의 수자원을 종합적으로 개발·관리하여 홍수 조절 및 안정적인 용수공급을 도모하고 지속적인 수질개선을 통하여 안전한 수돗물을 제공함으로써 서부경남지역의 경제활성화와 사회발전에 기여할 목적으로 준공되었다.

다음의 Fig. 1은 남강댐유역의 하천도와 유량과 수질계측망

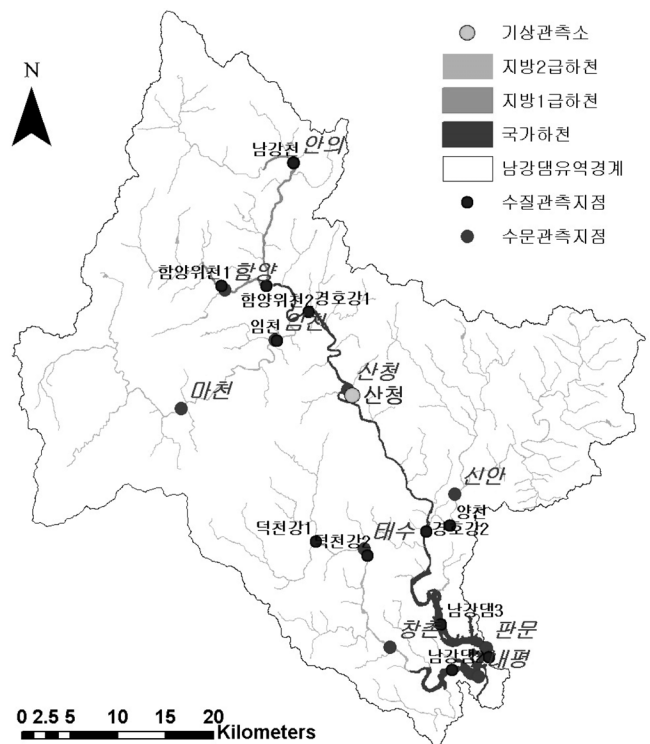


Fig. 1 Flow and water quality monitoring locations of the Namgang-Dam watershed

의 개요를 보여주고 있다. 남강댐 유역은 유역면적 2,293 km², 유역평균 표고 426 m, 유역평균경사 35 %, 형상계수 0.42의 유역특성을 가지고 있으며, 유로연장은 110.84 km에 이른다. 남강댐 유역에는 현재 기상청에서 운영하는 기상관측소 1개소(산청), 수자원공사에서 운영하고 있는 수위관측소 11개소, 낙동강 유역환경청에서 운영하고 있는 하천수 수질측정망 9개소, 수자원공사에서 운영하고 있는 호소수 수질측정망 3개소 등의 기상, 수문, 수질 관측망이 운영중에 있다 (Fig. 1). 이 외에 한국농어촌공사에서 농업용저수지 9개소에 대한 수질측정망을 운영하고 있다.

현재 남강댐 유역에는 오염총량관리의 적용을 위한 3개의 목표수질 지점(남강A, B, C)이 있으며, 각각 경호강1, 경호강2, 남강댐2 수질측정 지점에 해당한다 (Ministry of Environment, 2005). 남강A, C 지점의 BOD 목표수질(2010년)은 1.5 mg/L, 남강B 지점의 BOD 목표수질은 1.6 mg/L로 설정되어 있다.

2. 기상 및 수문자료

남강댐유역의 기상자료는 유역내에 위치한 산청 기상관측소로

Table 1 The stage–discharge relationships and coefficient of determination for Sancheong, Changchon, and Shinan stations

Station	Stage range	Stage–discharge relationship	Year
Sancheong	H<0.32	$Q=0.1519H^{0.7817}$	2003
	$0.320 \leq H \leq 2.100$	$Q=1.3686(H+0.8310)^{4.4531}$	
	$2.100 < H \leq 7.220$	$Q=14.6109(H+0.9331)^{2.5517}$	
	H<0.12	$Q=0.0997H^{2.0482}$	2004
	$0.12 \leq H \leq 2.71$	$Q=2.9240(H+0.6680)^{4.0390}$	
	$2.71 \leq H \leq 8.25$	$Q=3.4910(H+1.94)^{3.085}$	
	$0.42 \leq H \leq 3.27$	$Q=27.81334H^{2.169}$	2005
Changchon	H<0.43	$Q=0.1737H^{0.4348}$	2003
	$0.430 \leq H \leq 0.650$	$Q=28.7448(H+0.3020)^{4.1080}$	
	$0.650 < H \leq 3.350$	$Q=300.0550(H-0.4799)^{1.5071}$	
	$0.40 \leq H \leq 0.65$	$Q=118.798(H-0.006)^{3.352}$	2004
	$0.65 \leq H \leq 2.95$	$Q=94.508(H-0.02)^{2.614}$	
Shinan	H<1.030	$Q=0.563H^{0.3087}$	2003
	$1.030 \leq H \leq 1.800$	$Q=1.7482(H+0.2860)^{4.1322}$	
	$1.800 < H \leq 6.690$	$Q=60.7063(H-1.0722)^{2.0387}$	
	H<0.95	$Q=0.7176H^{0.22}$	2004
	$0.95 \leq H \leq 1.25$	$Q=20.29(H-0.5290)^{2.0}$	
	$1.25 \leq H \leq 4.8$	$Q=25.933(H-0.5540)^{2.4980}$	
	H<0.89	$Q=0.7674H^{1.1609}$	2005
	$0.89 \leq H \leq 2.21$	$Q=21.017977(H-0.546)^2$	
$2.21 \leq H \leq 3.06$	$Q=30.610602(H-0.935)^{2.625}$		

(Fig. 1)부터, 강우자료는 수문관측지점에 인접한 산청, 창춘, 신안 강우관측지점으로부터 구득하였으며, 결측이 발생한 자료는 인접한 지점의 자료를 이용하여 분석하였다. 산청 기상관측소는 기상청에 의해 1971년부터 운영되고 있으며, 기온, 적설량, 증발량, 풍속, 풍향, 습도, 운량, 일조시간 등의 항목을 관측하고 있다. 산청기상관측소의 연평균 강수량은 1479.1 mm, 연평균기온은 12.7 °C, 평균풍속은 1.4 m/s, 평균습도는 68 %, 일조합은 2,343.2 시간으로 조사되었다.

남강댐으로 유입되는 하천은 국가하천인 남강과 지방2급 하천인 덕천강과 경호강이 있다. 남강댐으로 유입되는 하천에는 각각 산청(남강), 창춘(덕천강), 신안(경호강)의 수위관측지점이 있다 (Fig. 1). 본 연구에서는 남강댐으로 유입되는 유입지점에 대한 수위자료와 각 지점에 대한 수위-유량관계식을 이용하여 남강댐으로 유입되는 유량을 산정하였다. 다음의 Table 1은 남강댐으로 유입되는 세 하천의 수위-유량 관계식을 보여주고 있다. 2006년과 2007년의 수위-유량관계는 국토해양부에서 제공한 자료로부터 얻어진 2005년의 수위-유량관계를 이용하여 산정하였다. 수위-유량 관계는 국토해양부에서 발행한 수문조사연보를 토대로 외삽하는 구간에 대해서는 수문조사연보에 있는 실측자료를 토대로 자료를 확장하였다.

3. 수질자료

남강댐유역에는 낙동강유역환경청에서 관리하는 남강천, 덕천강1, 2, 함양위천1, 2, 양천, 임천, 경호강1, 2 등 총 9개의 하천수 수질관측지점이 있으며, 한국수자원공사에서 관리하는 남강댐1, 2, 3 등 총 3개의 호소수 수질관측지점이 있다. 각 측정점별 위치는 Fig. 1에 표시되어 있다. 현재 관측되고 있는 수질측정 항목은 pH, DO, BOD, COD, SS, 총대장균군, 총질소, 총인 등으로, 각 수질관측지점의 자료는 1989년부터 2008년까지의 자료를 수집하여 정리하였다.

남강댐 유역에 대한 수질자료를 이용하여 오염총량관리의 대상지점이 되는 경호강1, 경호강2, 남강댐2 측정지점을 대상으로 오염총량관리기준과 비교하여 대상지점의 수질자료를 분석하였다.

4. 수질측정자료에 대한 통계분석

남강댐으로 유입되는 상류하천과 남강댐 수질과의 상관관계를 분석하기 위하여 각 수질측정지점의 자료를 이용하여 공분산과 상관계수를 산정하였다. 공분산(covariance)은 2개의 확률변수의 상관정도를 나타내는 값이다. 만약 2개의 변수중 하나의 값이 상승하는 경향을 보일 때, 다른 값도 상승하는 경향

의 상관관계에 있다면, 공분산의 값은 양수가 되며, 반대로 2개의 변수중 하나의 값이 상승하는 경향을 보일 때, 다른 값이 하강하는 경향을 보인다면 공분산의 값은 음수가 된다. 이렇게 공분산은 상관관계의 상승 혹은 하강하는 경향을 이해할 수 있으나 2개 변수의 측정 단위의 크기에 따라 값이 달라지므로 상관분석을 통해 정도를 파악하기에는 부적절하며, 공분산을 산정하는 식은 다음과 같다.

$$\sigma_{XY} = E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)] \quad (1)$$

여기서, X, Y는 변수, σ_{XY} 는 X, Y에 대한 공분산, μ_X 는 변수 X 전체의 평균, μ_Y 는 변수 Y 전체의 평균, E는 평균을 나타낸다.

상관계수 (correlation)는 두 개의 확률변수 사이의 선형적 관계 정도를 나타내는 척도를 나타내며 방향성과 선형적 결합 정도에 대한 정보를 모두 포함하고 있다. 두 변수의 공분산을 각 변수의 표준편차로 모두 나누어 구할 수 있으며, -1과 1사이에서 그 값이 결정된다. 공분산은 원래의 단위의 곱이 되기 때문에 경우에 따라서 이를 표준화할 필요가 있으며, 표준화한 결과가 상관계수가 된다. 상관계수는 다음의 식 (2)와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \rho_{XY} &= \frac{Cov[X, Y]}{\sqrt{Var|X|} \times \sqrt{Var|Y|}} \quad (2) \\ &= \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (-1 \leq \rho_{XY} \leq 1) \end{aligned}$$

여기서, ρ_{XY} 는 상관계수, $Cov[X, Y]$ 는 X, Y에 관한 공분산, $\sqrt{Var|X|}$, $\sqrt{Var|Y|}$ 는 X, Y에 관한 표준편차를 나타낸다.

수질측정지점간의 유사성을 분석하기 위해서 군집분석 (Cluster Analysis)을 이용하였다. 군집분석이란 각 객체의 유사성을 측정하여 유사성이 높은 대상 집단을 분류하고, 그 군집에 속한 객체들의 유사성과 서로 다른 군집에 속한 객체들의 유사성과 서로 다른 군집에 속한 객체 간의 상이성을 규명하는 통계분석방법이다. 측정지점간의 유사성 분석은 군집분석을 이용해 분석하고자 하는 객체들의 여러 가지 특성을 유사성 거리로 환산하여, 유사성 거리가 가까운 대상들을 동일한 집단으로 군집화 (clustering)하여 나타냈다.

Table 2 Observed rainfall, runoff, and runoff ratio for the monitoring stations within Namgang-Dam watershed

Year	Sancheong			Changchon			Shinan		
	Rainfall (mm)	Runoff (mm)	Runoff ratio (%)	Rainfall (mm)	Runoff (mm)	Runoff ratio (%)	Rainfall (mm)	Runoff (mm)	Runoff ratio (%)
2003	1835.0	946.0	51.6	2280.0	1849.7	81.1	2031.0	1760.0	86.7
2004	1874.0	746.6	39.8	1964.0	1494.8	76.1	1813.0	1100.1	60.7
2005	1219.0	439.9	36.1	1239.0	1067.9	86.2	1122.0	558.0	49.7
2006	1517.0	607.0	40.0	1684.0	1226.3	72.8	1540.0	751.6	48.8
2007	1623.0	717.7	44.2	1747.0	1359.1	77.8	1911.0	690.7	36.1
Mean	1613.6	691.4	42.3	1782.8	1399.6	78.8	1683.4	972.1	56.4

III. 결과 및 고찰

1. 유출량 분석

남강댐 유역으로 유입되는 하천의 연도별 유출량 자료는 Table 1에서 얻어진 각 수위관측지점별 수위-유량관계와 수위자료를 이용하여 연간 유출량을 산정하였다. 다음의 Table 2는 남강댐 유역 하천유량 측정지점에 대한 연도별 유출율을 산정한 결과를 보여주고 있다. 산청, 창촌, 신안 지점의 2003년부터 2007년까지 5년간의 연평균 유출율은 각각 42.3 %, 78.8 %, 56.4 %로 나타났다. 지점별로는 창촌 지점의 유출율이 가장 높은 것으로 나타났으며, 연도별로는 2003년의 유출량이 가장 높은 값을 보여주고 있다. 2005년의 경우 상대적으로 낮은 강우량을 보여주고 있다.

2. 수질기준 초과 하천현황

현재 하천에서의 BOD 수질기준은 하천등급에 따라 각각 1 mg/L 이하 (1급수), 3 mg/L 이하 (2급수), 6 mg/L 이하 (3급수), 8 mg/L 이하 (4급수)이며, 호소의 경우 COD를 적용하고 있으며 적용되는 값은 동일하다. 오염총량관리기준에 의하면 2010년까지는 BOD에 대해서만 적용하도록 하고 있으며, 측정된 수질자료로부터 3년간 수질 측정자료의 평균수질 (통계학적 평균)값이 목표수질을 2회 연속 초과할 경우, 오염총량관리 시행 계획 수립대상이 된다.

Fig. 2는 1993년부터 2008년까지의 월별로 측정된 하천수 수질측정지점에 대한 BOD 측정결과를 대상지점의 오염총량관리 수질기준 (1.5 mg/L)과 비교하여 보여주고 있다. Table 3은 각 측정지점별 연평균 값을 산정하여 연평균 값이 2급수 수질기준 (3 mg/L)과 1급수 수질기준 (1.5 mg/L)을 초과하는 횟수와 백분율을 보여주고 있다. 오염총량관리 수질기준은 대상

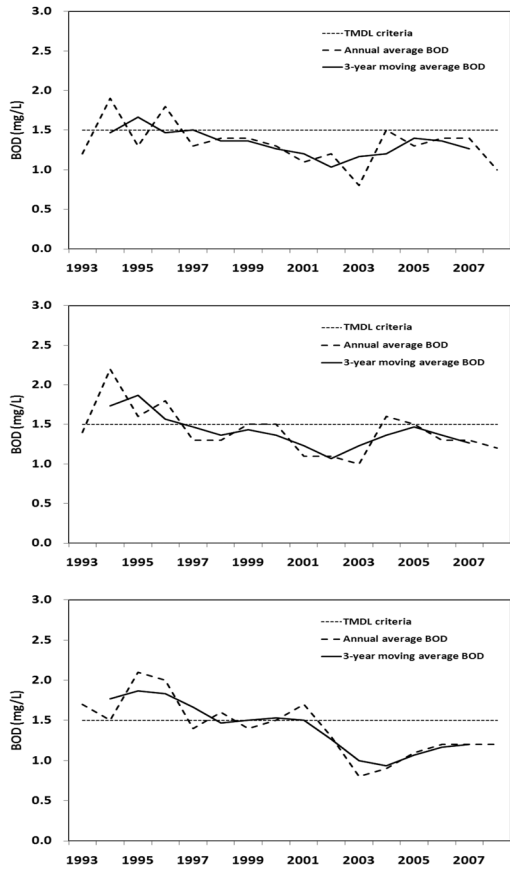


Fig. 2 Observed mean annual BOD concentration for Gyeonghogang1 (top), Gyeonghogang2 (middle), Namgang-Dam2 (bottom) stations compared with TMDL criteria (1.5 mg/L)

지점에 따라 다르며, 본 연구에 이용된 3개 지점 (경호강1, 경호강2, 남강댐2)의 경우 1.5 mg/L를 기준으로 하고 있다. Table 3의 마지막 줄은 오염총량관리의 기준이 되는 3년간 연평균 값이 연속 2회를 초과하는 횟수와 백분율을 보여주고 있으며, 오염총량관리의 기준이 되는 지점인 경호강1, 경호강2, 남강댐2은 각각 0, 2, 3회 기준값을 초과하였으나, 경호강2 지점의 경우 1998년 이후부터, 남강댐2 지점의 경우 1999년부터 기준값을 만족하고 있는 것으로 나타났다. 한편, 월별로 측정된 하천의 BOD 측정결과를 분석한 결과, 오염총량관리의 대상이 되는 경호강1, 경호강2, 남강댐2 측정지점에서는 각각 9, 5, 1회 2급수 수질기준을 초과하였으며, 오염총량관리의 기준이 되는 1.5 mg/L의 경우 각각 64, 93, 85회를 초과한 것으로 나타났다.

3. 수질 측정 지점간 상관관계 분석

다음의 Table 4는 수질 측정 지점간의 상관관계를 분석한 결과를 보여주고 있다. 오염총량관리의 대상이 되는 경호강1, 경호강2, 남강댐2 지점을 중심으로 살펴보면, 세 지점 중 가장 상류에 위치한 경호강1 지점은 직상류에 위치한 함양위천2 지점과 남강천과는 상관계수가 각각 0.599, 0.663으로 비교적 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났으나 함양위천1과는 낮은 상관관계 (0.162)를 보였다. 경호강2 지점은 상류에 위치한 경호강1 지점과 가장 높은 상관관계 (0.758)를 보이고 있다. 경호강2 지점은 인접한 양천과도 높은 상관관계 (0.619)를 보이며, 경호강1 지점과 마찬가지로 함양위천2, 남강천 지점과도 비교적 높은 상관관계를 보였다. 남강댐2 지점의 경우 인접한 호소

Table 3 Number (%) of instantaneous and mean annual BOD exceed 2nd degree stream criteria and TMDL criteria from for each stations within Namgang-Dam watershed 1993~2008

Station	No. (%) of instantaneous BOD exceed 3 mg/L	No. (%) of instantaneous BOD exceed 1.5 mg/L	No. (%) of annual mean BOD exceed 3 mg/L	No. (%) of annual mean BOD exceed 1.5 mg/L	No. (%) of 3-year mean BOD exceed 1.5 mg/L for two consecutive years
Namgangcheon	2 (1.0 %)	30 (14.9 %)	0 (0.0 %)	2 (12.5 %)	0 (0.0 %)
Hamyangwicheon1	24 (11.9 %)	87 (43.1 %)	2 (12.5 %)	8 (50.0 %)	7 (53.8 %)
Hamyangwicheon2	25 (10.4 %)	134 (55.8 %)	1 (5.3 %)	15 (78.9 %)	11 (84.6 %)
Kyeonghogang1*	9 (4.5 %)	64 (31.7 %)	0 (0.0 %)	3 (18.8 %)	0 (0.0 %)
Limcheon	1 (0.4 %)	56 (24.6 %)	0 (0.0 %)	1 (5.6 %)	0 (0.0 %)
Yangcheon	7 (3.1 %)	96 (42.1 %)	0 (0.0 %)	11 (61.1 %)	2 (15.4 %)
Kyeonghogang2*	5 (2.2 %)	93 (40.8 %)	0 (0.0 %)	8 (44.4 %)	2 (15.4 %)
Deokcheongang1	1 (0.0 %)	28 (0.0 %)	0 (0.0 %)	1 (5.3 %)	0 (0.0 %)
Deokcheongang2	0 (0.0 %)	11 (4.4 %)	0 (0.0 %)	0 (0.0 %)	0 (0.0 %)
Namgang-Dam3	4 (2.0 %)	101 (51.3 %)	0 (0.0 %)	11 (68.8 %)	7 (53.8 %)
Namgang-Dam2*	1 (0.5 %)	85 (43.1 %)	0 (0.0 %)	7 (43.8 %)	3 (23.1 %)
Namgang-Dam1	2 (1.0 %)	88 (44.7 %)	0 (0.0 %)	9 (56.3 %)	7 (53.8 %)

* represents the TMDL target stations

Table 4 BOD correlation analysis for water quality stations within Namgang-Dam watershed

Station	Namgang -cheon	Hamyang -wicheon1	Hamyang -wicheon2	Kyeongho -gang1*	Limcheon	Yangcheon	Kyeongho -gang2*	Deokcheon -gang1	Deokcheon -gang2	Namgang -Dam3	Namgang -Dam2*	Namgang -Dam1
Namgang -cheon	1.000											
Hamyang -wicheon1	0.098	1.000										
Hamyang -wicheon2	0.585	0.186	1.000									
Kyeongho -gang1*	0.663	0.162	0.599	1.000								
Limcheon	0.138	0.160	0.146	0.155	1.000							
Yangcheon	0.536	0.074	0.428	0.545	0.161	1.000						
Kyeongho -gang2*	0.610	0.126	0.598	0.758	0.116	0.619	1.000					
Deokcheon -gang1	0.162	0.076	0.110	0.229	0.081	0.237	0.272	1.000				
Deokcheon -gang2	0.070	0.168	0.129	0.083	0.135	0.110	0.051	0.047	1.000			
Namgang -Dam3	0.149	0.193	0.033	0.031	0.008	0.081	0.012	-0.070	0.097	1.000		
Namgang -Dam2*	0.231	0.296	0.199	0.153	0.084	0.085	0.136	-0.037	0.124	0.838	1.000	
Namgang -Dam1	0.148	0.254	0.174	0.112	0.070	0.081	0.055	-0.076	0.155	0.855	0.878	1.000

* represents the TMDL target stations

Table 5 Cluster analysis result of BOD for Namgang-Dam watershed

Station	Namgang -cheon	Hamyang -wicheon	Hamyang -wicheon	Kyeongho -gang1	Limcheon	Yangcheon	Kyeongho -gang2	Deokcheon -gang1	Deokcheon -gang2	Namgang -Dam3	Namgang -Dam2	Namgang -Dam1
Cluster	1	2	1	1	3	1	1	1	2	2	2	2

측정지점인 남강댐1, 남강댐3 지점과 매우 높은 상관관계 (0.878, 0.838)를 보였으나, 상류에 위치한 하천수 측정지점과는 전반적으로 비교적 낮은 상관관계를 보였다. 수질 측정 지점간의 상관관계 분석결과, 인접한 지점에 특이한 오염원이 존재하지 않는다면 상관관계는 수질 측정점의 거리가 가까울수록 대체로 높게 나타났으며, 멀수록 낮게 나타나는 경향을 보였다.

다음의 Table 5와 Fig. 3은 각 수질측점에 대한 군집분석 결과를 보여주고 있다. 소속군집을 3분류로 지정하고 임의로 전 지점을 나누면 소속군집 Table 5의 결과가 얻어진다. 남강천, 함양위천2, 경호강1, 양천, 경호강2, 덕천강1 지점은 1군에, 함양위천1, 덕천강2, 남강댐1, 남강댐2, 남강댐3 지점은 2군에, 임천은 3군으로 분류되었다. Fig. 3의 덴드로그램은 BOD에 대한 각 지점간의 관계를 거리로 표현한 그래프로 소속군집 분류군에서 다시 각 지점 간의 관계를 나타낸다. 1군에서는 남강댐

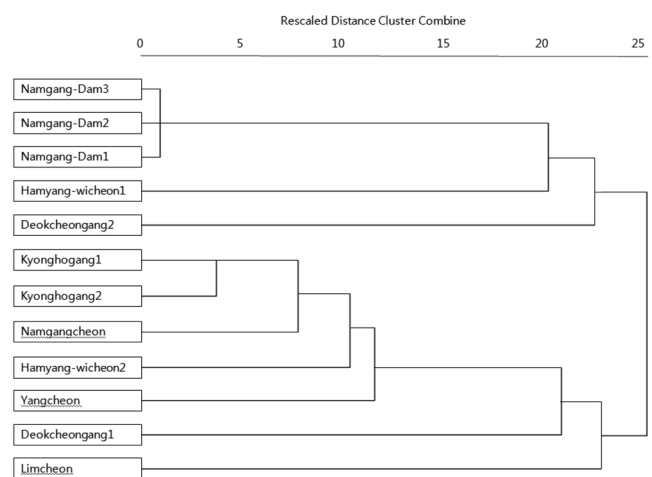


Fig. 3 Dendrogram for 12 stations within Namgang-Dam watershed

1, 2, 3이 가장 유사하며, 2군에는 경호강1, 2 지점이 유사하며, 3군에서 임천은 각 지점들과 유사성이 거의 없다. 이상의 결과를 살펴보면, 남강천에서 경호강을 거쳐 남강댐으로 유입되는 하천에 위치한 지점들은 비교적 유사한 경향을 보이고 있으나, 지천으로 유입되는 덕천강1, 덕천강2, 임천 지점은 BOD 값의 유사성이 거의 없는 것으로 분석되었다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 남강댐유역을 대상으로 오염총량관리를 위한 수질자료의 공간적 특성을 살펴보기 위해 대상유역의 수문/수질 계측망에 대한 유량자료와 수질자료를 구축하여 수질자료의 오염총량관리 기준을 만족하는 지를 살펴보고 각 지점별 공간적 특성을 분석하기 위하여 상관분석과 군집분석을 실시하고 결과를 고찰하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다

1) 남강댐 유역으로 유입되는 하천의 수위관측지점별 수위-유량관계와 수위자료를 이용하여 연간 유출량을 산정한 결과 산청, 창촌, 신안 지점의 2003년부터 2007년까지 5년간의 연평균 유출량은 691 mm, 1400 mm, 972 mm로 유출율은 각각 42.3 %, 78.8 %, 56.4 %로 나타났다. 창촌의 경우 강우량과 유출량이 모두 매우 높은 값을 나타냈다.

2) 오염총량관리의 대상이 되는 경호강1, 경호강2, 남강댐2 지점에 대한 BOD자료를 분석한 결과 1993년부터 현재까지 오염총량관리의 기준이 되는 3년간 연평균 값이 연속 2회를 초과하는 횟수는 각각 0, 2, 3회로 나타났다. 그린, 경호강2 지점의 경우 1998년 이후부터, 남강댐2 지점의 경우 1999년부터 기준 값을 만족하고 있는 것으로 나타났다.

3) 남강댐의 수질에 영향을 미치는 상류하천의 영향을 분석하기 위해 수질측점지점간의 상관성을 분석하고 군집분석을 실시하였다. 수질측점간의 상관관계를 살펴보면, 경호강1 지점은 직상류에 위치한 함양위천2, 남강천 지점과 비교적 높은 상관관계를, 경호강2 지점은 상류에 위치한 경호강1 지점과 가장 높은 상관관계 (0.758)를, 남강댐2 지점의 경우 인접한 호소측정지점인 남강댐1, 남강댐3 지점과 매우 높은 상관관계 (0.878, 0.838)를 보였다.

4) 군집분석 결과 남강천, 함양위천2, 경호강1, 양천, 경호강2, 덕천강1 지점은 1군에, 함양위천1, 덕천강2, 남강댐1, 남강댐2, 남강댐3 지점은 2군에, 임천은 3군으로 분류되었다.

5) BOD에 대한 각 지점간의 관계를 거리로 표현한 덴드로그램을 분석한 결과 남강천에서 경호강을 거쳐 남강댐으로 유입되는 하천에 위치한 지점들은 비교적 유사한 경향을 보이고 있으나, 지천으로 유입되는 덕천강1, 덕천강2, 임천 지점은 BOD

값의 유사성이 거의 없는 것으로 분석되었다.

오염총량관리 수질기준은 대상지점에 따라 다르며, 본 연구에 이용된 3개 지점 (경호강1, 경호강2, 남강댐2)의 경우 1999년부터는 기준값을 만족하고 있는 것으로 나타났으나, 월별로 측정된 자료에서는 기준값을 초과하는 횟수가 많은 것으로 조사되었다. 현재의 수질오염총량기준은 3년간의 장기간의 평균치로부터 목표값을 설정하고 있으나 순간적으로 수질이 악화되어 기준치를 초과하는 경우가 많은 것으로 나타나 이에 대한 보완책이 필요할 것으로 보인다. 미국의 경우 순간 측정치가 기준치를 초과하지 못하도록 하여 시기적으로 수질이 나빠지는 상황에서도 기준치를 만족하도록 하고 있다. 향후 우리나라의 오염총량관리 수질기준도 장기간 평균치에 대한 기준과 순간적인 측정치에 대한 기준을 따로 마련하여 수자원 이용의 안전성을 제고할 필요가 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보 기술 사업단의 연구비지원 (과제번호 4-5-3)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Caccia, V. G., and J. N. Boyer, 2005. Spatial patterning of water quality in Biscayne bay, Florida as a function of land use and water management. *Marine Pollution Bulletin* 50: 1416-1429.
2. Chang, H., 2008. Spatial analysis of water quality trends in the Han river basin, South Korea. *Water Research* 42: 3285-3304.
3. Cho, E. S., 2009. Compared of temporal and spatial sea water quality in the southern coasts of Korea. *Journal of the Environmental Sciences* 18(2): 141-151 (in Korean).
4. Davis, S. E. III, and B. C. Reeder, 2001. Spatial characterization of water quality in seven eastern Kentucky reservoirs using multivariate analysis. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 4: 463-477.
5. Ferrier, R. C., A. C. Edwards, D. Hirst, I. G. Littlewood, C. D. Watts, and R. Morris, 2001. Water quality of Scottish rivers: spatial and temporal trends. *The Science of the Total Environment* 265: 327-342.
6. Ministry of Environment, 2002. Status and Future Plan of TMDLs, www.me.go.kr

7. Ministry of Environment, 2003. Explanation of TMDLs, www.me.go.kr
8. Ministry of Environment, 2005. Approval of master plan of TMDLs for Gyeongnam province
9. Han, M., E. Lee, J. Oh, W. Kim, C. Lee, N. Eun, and W. Chung, 2009. Spatio-temporal water quality characteristics of major streams in Pal-dang watershed. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(3): 394-403 (in Korean).
10. Houck, O. A., 2002. The Clean Water Act TMDL Program, Environmental Law Institute.
11. Hussain, M., S. M. Ahmed, and W. Abderrahman, 2008. Cluster analysis assessment of logged water at an irrigation project, eastern Saudi Arabia. *Journal of Environmental Management* 86: 297-307.
12. Lee, H. S., H. Hur, S. A. Jeong, S. J. Hwang, and J. K. Shin, 2006. Spatial characterization of water pollution in the urban stream watershed (Gap stream), Korea. *Journal of Korean Society on Water Quality* 22(5): 943-951 (in Korean).
13. Ouyang, Y., P. Nkedi-Kizza, Q. T. Wu, D. Shinde, and C. H. Huang, 2006. Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water Research* 40: 3800-3810.
14. Park, J. K., 1997. Spatial and temporal characteristics of water quality in the Wangsook river and water environmental management. *Journal of the Korean Geographical Society* 32(4): 445-462 (in Korean).
15. Prime Minister's Office, Ministry of Environment, and 5 Local Government within the Han River Basin, 1998. Special plan for water quality management for drinking water resources of Han River Basin including Paldang lake.
16. Singh, K. P., A. Malik, D. Mohan, and S. Sinha, 2004. Multivariate statistical technique for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti river (India)-a case study. *Water Research* 38: 3980-3992.
17. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2003. Total Maximum Daily Load (TMDL) Program, www.epa.gov/owow/tmdl/intro.html (March 2003).
18. Yin, Z. Y., S. Walcott, B. Kaplan, J. Cao, W. Lin, M. Chen, D. Liu, and Y. Ning, 2005. An analysis of the relationship between spatial patterns of water quality and urban development in Shanghai, China. *Computers, Environment and Urban Systems* 29: 197-221.