

오염총량관리를 위한 남강댐유역
수질자료의 시·공간적 특성 분석
Temporal and 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, Gyeonghogang1, 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 Gyenghogang2 and Namgang-Dam2 sites while no violation was found for Gyeonghogang1 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 Gyonghogang1 and 2 was high (0.758) while the coefficients between lake station (Namgang-Dam2) and stream stations (Gyonghogang1 and 2) were very low. Dendrogram indicated that all of three Namgang-Dam stations were very close and Gyenghogang1, 2 stations were also close.

Keywords: Namgang-Dam, TMDLs, Water Quality, Spatial Analysis, BOD

I. 서론

오염총량관리는 하천의 용수목적 등에 맞는 목표수질을 설정하고 해당 하천수계의 배수구역에서 배출되는 오염부하 총량이 설정된 목표수질을 달성할 수 있는 허용량 이하가 되도록 관리하는 제도이며(환경부, 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 오염총량관리는 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(국무총리실 등, 1998), 오염총량관리를 위한 기술적 지침은 2002년 11월 국립환경연구원이 발표한 “수계오염총량관리기술지침”에 의해 마련되었다.

현재 시행되고 있는 오염총량관리제는 목표수질 설정 수계구간(총량관리단위유역)의 지정된 장소에서 수

* 경상대학교 지역환경기반공학과 교수(농업생명과학연구원) E-mail : smkim@gnu.ac.kr
** 경상대학교 지역환경기반공학과 연구원
*** 경상대학교 지역환경기반공학과 연구원

은, pH, DO, 전기전도도, BOD, COD, TSS, T-N, T-P 등의 9개 항목을 수질오염공정시험방법에 따라 8일 간격으로 연간 30회 이상 측정하도록 규정하고 있으며 산정시점으로부터 과거 3년간 측정된 결과를 토대로 통계학적 평균수질을 산정하여 당해 목표수질 설정지점의 수질 확인하도록 하고 있다. 2010년까지는 BOD에 대해서만 목표수질을 설정하도록 되어 있으며 측정된 수질자료로부터 3년간 수질 측정자료의 평균수질(통계학적 평균) 값이 목표수질을 2회 연속 초과할 경우, 오염총량관리 시행계획 수립대상이 된다. 한편 수질이 2회 연속 1mg/L이하인 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 것이다. 유역 수질자료의 공간적 특성에 대한 연구결과를 살펴보면, 박종관(1997)은 비교적 자연환경이 잘 보전되어 있는 왕숙천을 대상으로 수질의 시·공간적 특성을 분석한 바 있다. 이흥수 등(2006)은 도시하천인 갑천 유역을 대상으로 수질오염의 공간적 특성을 분석하기 위하여 각 지천의 상·하류 구간 15개 지점을 대상으로 3회 수질조사를 통해 각 구간별 영양염류의 농도변화를 분석하고 원인을 분석하였다. 한미덕 등(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.

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

II. 연구방법

2.1 대상유역

본 연구의 대상유역은 남강댐 유역으로 다음의 Fig. 1은 남강댐유역의 하천도와 유량과 수질측정망의 개요를 보여주고 있다. 남강댐 유역은 유역면적 2,293km²으로 현재 기상청에서 운영하는 기상관측소 1개소(산청), 수자원공사에서 운영하고 있는 수위관측소 11개소, 낙동강 유역환경청에서 운영하고 있는 하천수 수질측정망 9개소, 한국수자원공사에서 운영하고 있는 호소수 수질측정망 3개소 등의 기상, 수문, 수질 관측망이 운영중에 있다. 현재 남강댐 유역에는 오염총량관리의 적용을 위한 3개의 목표수질 지점(남강A, B, C)이 있으며, 각각 경호강1, 경호강2, 남강댐 2 수질측정 지점에 해당한다(환경부, 2005). 남강A, C 지점의 목표수질(2010년)은 1.5mg/L, 남강B 지점은 1.6mg/L으로 설정되어 있다.

2.2 수질자료

남강댐유역에는 낙동강유역환경청에서 관리하는 남강천, 덕천강1, 2, 함양위천1, 2, 양천, 임천, 경호강 1, 2 등 총 9개의 하천수 수질관측지점이 있으며, 한국수자원공사에서 관리하는 남강댐1, 2, 3 등 총 3개의 호소수 수질관측지점이 있다. 각 측정별 위치는 Fig. 1에 표시되어 있다. 현재 관측되고 있는 수질측정 항목은 수질관측항목은 pH, DO, BOD, COD, SS, 총대장균군, 총질소, 총인 등으로, 각 수질관측지점의 자료는 1989년부터 2007년까지의 자료를 수집하여 정리하였으며, 1989년 이후부터 관측을 시작한 관측지점은 관측시

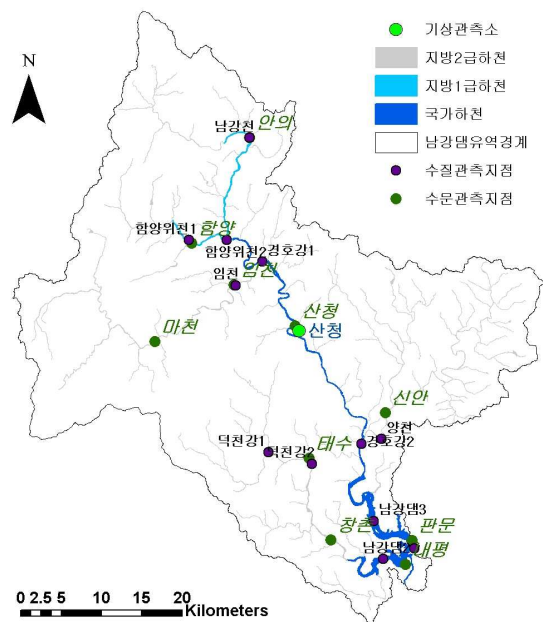


Fig. 1. Flow and water quality monitoring locations of the Namgang-Dam watershed.

작 시점부터 2008년까지의 자료를 수집, 정리하였다.

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

2.3 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 경향의 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 부적절하다.

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.

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.

III. 결과 및 고찰

3.1 수질기준 초과 하천현황

현재 하천에서의 BOD 수질기준은 하천등급에 따라 각각 1mg/L 이하(1급수), 3mg/L 이하(2급수), 6mg/L 이하(3급수), 8mg/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 시행계획 수립대상이 된다.

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 3mg/L	No. (%) of instantaneous BOD exceed 1.5mg/L	No. (%) of annual mean BOD exceed 3mg/L	No. (%) of annual mean BOD exceed 1.5mg/L	No. (%) of 3-year mean BOD exceed 1.5mg/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

Fig. 2는 1993년부터 2008년까지의 월별로 측정된 하천수 수질측정지점에 대한 BOD 측정결과를 대상지점의 오염총량관리 수질기준(1.5mg/L)과 비교하여 보여주고 있다. Table 3은 각 측정지점별 연평균 값을 산정

하여 연평균 값이 2급수 수질기준(3mg/L)과 1급수 수질기준(1.5mg/L)을 초과하는 횟수와 백분율을 보여주고 있다. 오염총량관리 수질기준은 대상지점에 따라 다르며, 본 연구에 이용된 3개 지점(경호강1, 경호강2, 남강댐2)의 경우 1.5mg/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 1.5mg/L의 경우 각각 64, 93, 85회를 초과한 것으로 나타났다. 현재의 수질오염총량기준은 3년간의 장기간의 평균치로부터 목표값을 설정하고 있으나 순간적으로 수질이 악화되어 기준치를 초과하는 경우가 많은 것으로 나타나 이에 대한 보완책이 필요할 것으로 보인다.

3.2 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 상관관계수가 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 호소측정지점인 남강댐1, 남강댐3 지점과 매우 높은 상관관계(0.878, 0.838)를 보였으나, 상류에 위치한 하천수 측정지점과는 전반적으로 비교적 낮은 상관관계를 보였다. 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 남강댐1, 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 BOD값의 유사성이 거의 없는 것으로 분석되었다.

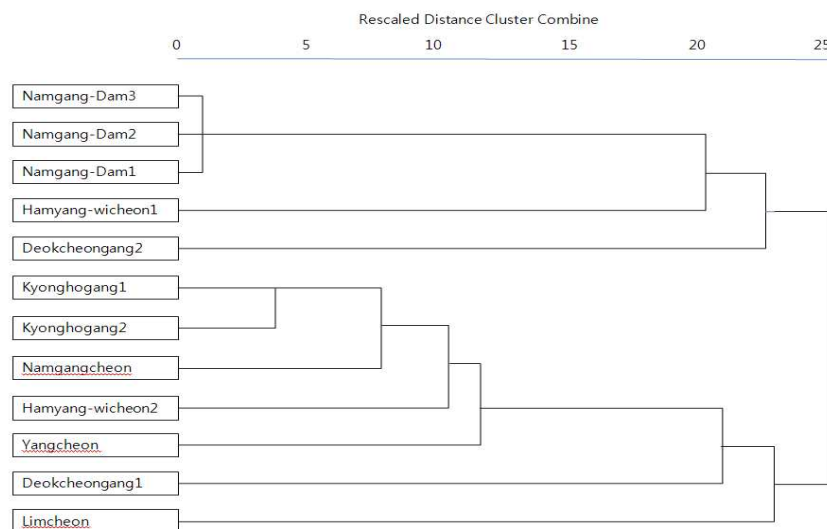


Fig. 3 Dendrogram for 12 stations within Namgang-Dam watershed

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) 남강댐유역의 오염총량관리를 위해 대상유역에 대한 기상, 수문, 수질, 지형자료를 구축하였다.
- 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. 그런, 경호강2 지점의 경우 1998년 이후부터, 남강댐2 지점의 경우 1999년부터 기준값을 만족하고 있는 것으로 나타났다.
- 3) 남강댐의 수질에 영향을 미치는 상류하천의 영향을 분석을 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. 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 BOD값의 유사성이 거의 없는 것으로 분석되었다.

감 사 의 글

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

REFERENCES

1. 국무총리실, 환경부 등 관계부처 및 한강수계 5개 시·도, 1998. 팔당호 등 한강수계 상수원 수질관리 특별대책.
2. 환경부, 2002. 오염총량관리제 추진 현황 및 향후추진 계획, <www.me.go.kr>
3. 환경부, 2003. 오염총량관리제도 해설, <www.me.go.kr>
4. 환경부, 2005. 경상남도 오염총량관리기본계획 승인7.
5. 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).
6. Houck, O. A., 2002. The Clean Water Act TMDL Program, Environmental Law Institute.
7. 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).
8. 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).
9. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2003. Total Maximum Daily Load (TMDL) Program, <www.epa.gov/owow/tmdl/intro.html> (March 2003)