

낙동강유역 불투과형 사방댐의 계류수 및 저류수 수질 특성 분석

Qiwen Li¹ · 유 송¹ · 이은재² · 이예은¹ · 김민식³ · 임상준^{1,4*}

¹서울대학교 산림과학부, ²국립산림과학원 산림기술경영연구소, ³백림FR,
⁴서울대학교 농업생명과학연구원

Water Quality Analysis of In-stream and Reservoir Water in Erosion Control Dams in the Nakdong River Basin

Qiwen Li¹, Song Eu¹, Eun Jai Lee², Ye Eun Lee¹, Min Sik Kim³ and Sang Jun Im^{1,4*}

¹Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

²Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science, Pocheon 11186, Korea

³Baekrim FR, Gwangju 12746, Korea

⁴Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

요약: 불투과형 사방댐에 의한 수질오염 문제는 산림유역관리에 있어 매우 중요하지만, 이에 대한 신뢰할 수 있는 연구는 상대적으로 부족하다. 이 연구에서는 이를 위하여 낙동강유역 사방댐을 대상으로 계류수와 저류수의 수질을 조사하였으며, 수질 특성과 유역의 물리적 환경과의 상관관계를 분석하였다. 전체 43개의 조사대상 사방댐 중에서 농업용수 등급이 하로 판정된 곳은 10%미만으로 나타나 전반적으로 수질은 양호하였다. 계류수 및 저류수에서 공통적으로 상관성이 높게 나타난 항목은 TOC와 산소요구량, SS와 탁도, SS와 Chl-a, Chl-a와 탁도 등이었다. 계류수에서 높은 상관성을 보인 항목들은 BOD와 SS, BOD와 Chl-a, BOD와 탁도, TOC와 Chl-a 등이었다. 이 연구의 결론은 사방댐 저류수의 수질이 대부분 양호하였고 저류수 수질이 유출수 수질에 다소 영향이 있지만 개별 수질항목에 국한된다는 것이다.

Abstract: Water pollution in erosion control dams is a major issue for forest watershed management, but the effects of erosion control dams on water quality remain poorly understood. In this study, water quality data from streams and dam reservoirs were collected over the Nakdong river basin. Monitored data were further analyzed to examine the relationship between watershed characteristics and water quality. Of the total 43 erosion control dams, less than 10% had lower water quality that was not suitable for agricultural use. TOC and oxygen demand, SS and turbidity, SS and Chl-a, and Chl-a and turbidity showed high correlations ($p < 0.01$) both in stream water and in detained water. BOD and SS, BOD and Chl-a, BOD and turbidity, and TOC and Chl-a showed high correlations only in stream water. Overall, the results demonstrated that for most erosion control dams the water quality was relatively good. In addition, the quality of downstream water is somewhat affected by the water detained by erosion control dams, in limited ways.

Key words: check-dam, water pollution, water quality, contamination, correlation coefficient

서론

산지토사재해예방을 위한 사방댐 설치사업은 1986년부터 정책적으로 추진되었으며, 2018년 기준 약 11,859개의 사방댐이 전국적으로 시공되었다(Korea Forest Service, 2018). 특히, 기후변화로 인한 폭우 및 국지성 호우가 증가함에 따라 재해예방을 위한 사방댐의 역할이 날로 증

대되고 있어 국민의 재산과 생명을 보호하기 위한 사방댐 설치사업이 지속적으로 추진되고 있다.

2014년 개정된 사방기술교본에서는 사방댐을 크게 불투과형, 투과형, 복합형 사방댐으로 구분한다. 투과형과 복합형 사방댐은 토사를 전부 혹은 일부 통과시키는 반면 불투과형 사방댐은 모든 토사를 저류하며, 국내에서 시공된 사방댐의 약 87%가 여기에 속한다(Lee, 2017).

최근에는 사방댐에 의한 악취나, 모기 발생, 계류수의 변색 등 수질·보건학적 문제가 제기되고 있다. 이러한 수질 문제는 유량이나 유속 감소에 따른 계류수의 정체, 낙엽 등 산림유기물의 퇴적 등이 주요 원인이다. 계류에 체

* Corresponding author
E-mail: junie@snu.ac.kr

ORCID

Sang Jun Im  <https://orcid.org/0000-0003-3782-9288>

류되어 있는 유목은 유기물과 토사를 퇴적시키고 어류 및 수생곤충에게 서식공간을 제공한다(Seo et al., 2012). 또한, 낙엽에 의한 양분 공급은 계류 내 수생생물의 활동을 왕성하게 하는 등 계류의 수생태계를 유지하는 데 큰 역할을 한다(Haapala et al., 2003). 반면에 사방댐과 같은 황공작물은 하천연속성을 단절시키고(Ma et al., 2013), 시공직후에 계류의 저서성 대형무척추동물의 생육활동에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Seo and Lee, 2012). 일부에서는 사방댐 시공으로 계류의 수질이 악화된다는 연구결과도 있다(Lee et al., 2009). 이와 같이 사방댐은 산지재해 예방 목적을 가지고 있지만 수생태계 기능 측면에서도 긍정적 혹은 부정적 영향을 주고 있다.

사방댐 또는 사방공작물이 계류 수질에 미치는 영향에 관한 국내 연구는 거의 없는 실정이다(Park and Kim, 2013). 국외의 경우에도 그 영향이 아직까지 명확하지 않은 것으로 알려져 있다. 사방댐이나 상류의 작은 댐의 수질과 하류의 수질은 큰 연관성이 없었으나(Santucci et al., 2005; Mendoza-Lera et al., 2012; Menéndez et al., 2012; Park and Kim, 2013; Arroita et al., 2015), Camargo et al.(2005)의 연구에서는 작은 댐 하류에서 상류에 비해 전기전도도(EC)는 약 2배, 질소는 약 3~5배, 인은 약 2~5배, 클로로필-a(Chl-a)는 약 2~10배 증가한다고 하였다. Tiessen et al.(2011)의 연구에서는 수리공작물로 인해 계류의 연간 토사, 총 질소(T-N), 총 인(T-P)이 각각 66~77%, 15~20%, 9~12% 감소하였고 그 중 용해성 질소와 인은 각각 14~23%, 10~15% 감소하였다. 비슷한 연구결과로 Nhwatiwa and Marshall(2010)과 Mbaka and Mwaniki(2017)에 의하면 Chl-a, 아질산염, 질산염, 반응성 인(reactive phosphorus), T-P 등이 상류가 하류보다 높았다. 이와 같이 사방댐과 같은 소규모 수리구조물에 의한 수질 변화는 유역의 특성, 계류 환경, 구조물의 운영방식 등에 따라 달라지기 때문에 보다 정밀한 조사와 분석이 요구된다.

따라서 이 연구는 낙동강 권역을 대상으로 불투과형 사방댐의 저류수와 계류수에 대한 수질 기초자료를 수집하여 사방댐 유역의 수질현황을 파악하고 사방댐이 계류 수질에 미치는 영향을 알아보는 것을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

1. 조사대상

낙동강 유역에 설치된 전체 사방댐을 대상으로 시공년도, 유역의 특성, 사방댐 형식 등을 고려하여 우선적으로 54개소를 1차 조사하였으며, 그 중에서 계류수가 흐르고 있는 43개 사방댐을 최종 선정하였다. 선정된 사방댐은 Figure 1과 같이 낙동강 권역에 걸쳐 강원도 5개, 경상남

도 12개, 경상북도 25개, 대구광역시 1개로 나타났다.

사방댐의 수질과 유역 현황과의 관계를 파악하기 위하여 유역면적 및 토지이용 현황을 조사하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다. 유역면적과 토지피복은 각각 USGS에서 제공되는 ASTER GDEM자료(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)와 환경공간정보서비스의 1:5000 세분류 토지피복 지도에서 추출하였다(<https://egis.me.go.kr/>). Table 1에서는 대구, 경북, 경남, 강원 순으로 사방댐 일련번호를 부여하였다. 조사대상 사방댐의 유역면적은 10.38~1629.52 ha 범위를 보이며, 대부분 500 ha미만이었다. 사방댐 유역의 토지이용은 대부분 산림으로 나타났으나, 사방댐(16)은 과수원이 약 22.8%이었고 사방댐(17)은 기타 지역이 약 28.3%이었으며, 사방댐(36)은 논이 전체 면적의 17.2%를 차지하였다.

2. 조사방법

사방댐의 계류 및 저류수의 수질 조사를 위해 2017년 10월 18일부터 11월 10일까지 사방댐 유입 계류의 상류, 사방댐 저류수, 사방댐 유출 계류의 하류에서 현장 수질 조사 및 시료 채취를 실시하였다. 사방댐 상류지점은 사방댐으로 물이 흘러드는 계류 중에서 사방댐에 인접한 상류 계류를 선정하였으며, 계류 바닥으로 물이 스며들어 지표 흐름이 없는 경우에는 지표 흐름이 나타나는 계류지점을 선정하였다. 사방댐 저류수는 원칙적으로 댐 어깨나 방수로 근처에서 시료를 채취하였으며, 댐 본체에 접근하기 어려운 곳에서는 댐의 양안에서 수질 시료를 채취하였다. 또한, 사방댐에 저류된 물이 없거나 물빠기 구멍 등을 통해 사방댐을 통과하여 상·하류 계류가 연결된 경우에는 사방댐에서 채수를 실시하지 않았다. 사방댐 하류지점은 원칙적으로 앞댐을 지나 계류로 유출되는 지점에서 시료를 채취하였으며 유량이 적거나 계류 바닥을 통해 물이 흐르는 경우에는 하류를 따라 지표유출 지점을 찾아 시료를 채취하였다.

시료의 수질 분석은 현장 분석과 실내 분석으로 나뉘어 실시하였다. 수온, 수소이온농도(pH), 용존산소량(DO), EC는 현장에서 OTT사의 Hydrolab MS5를 이용하여 측정하였다. 생물화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 총유기탄소량(TOC), T-N, 암모니아성 질소(NH₄-N), 질산성 질소(NO₃-N), T-P, 부유물질량(SS), Chl-a, 탁도 등 수질항목은 실내에서 분석하였다. 이를 위해 현장 채취한 시료는 무균채수병에 담아 냉장 보관하여 48시간 내 서울대학교 농생명과학공동기기원(NICEM)으로 옮겨 수질오염공정시험기준(국립환경과학원 고시 제2017-2018호)에 따라 수질항목별로 분석하였다. 항목별 수질결과에 대한 통계분석은 IBM사의 SPSS 25.0을 이용하였다.

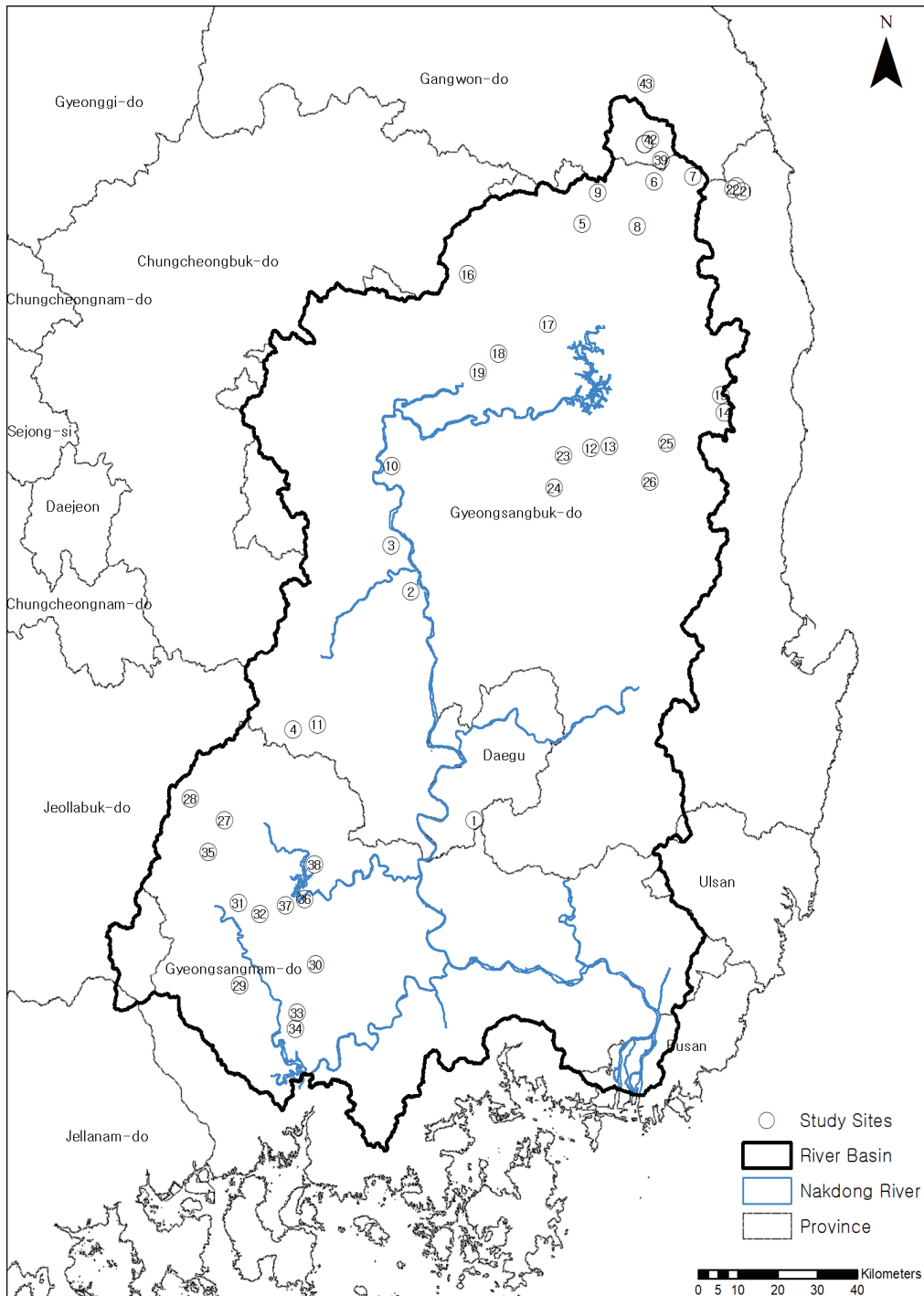


Figure 1. Location map of study sites in Nakdong river basin.

결과 및 고찰

1. 계류수 및 사방댐 저류수의 수질

현장 접근성, 사방댐의 저수 상태 등 원인으로 인해 분석에 사용된 시료는 유입수 43개, 저류수 15개, 유출수 43개로 총 101개이었다. NH₄-N은 1개 지점을 제외한 나

머지 100개에서 모두 검출되지 않았으므로 분석에서 제외하였다. 나머지 수질 항목들의 기초통계량은 Table 2와 같다.

pH는 유입수에서 최저치 4.9, 유출수에서 최고치 8.04, 평균 7.04로 나타났으며 채수위치별 평균값 차이는 없었다. DO도 평균 8.94 mg/L로 채수위치별 차이를 보이지 않았

Table 1. Land use of upstream catchment of erosion control dams.

| No. | Drainage area(ha) | Urban | Agriculture | | | | Forest | | | Others |
|-----|-------------------|-------|-------------|-------|---------|--------|------------|-----------|---------|--------|
| | | | Paddy | Farm | Orchard | Others | Coniferous | Broadleaf | Mixed | |
| 1 | 306.79 | 1.01% | | 0.02% | | | 1.63% | 34.37% | 60.72% | 2.24% |
| 2 | 49.17 | | | 0.41% | | | | 45.26% | 53.96% | 0.37% |
| 3 | 33.34 | 1.81% | | | | | | | 96.87% | 1.32% |
| 4 | 26.88 | | | | | | | | 100.00% | |
| 5 | 144.94 | 0.59% | | | | | 52.99% | 36.81% | 8.81% | 0.80% |
| 6 | 374.64 | 0.20% | | | | | 73.97% | 21.01% | 4.43% | 0.38% |
| 7 | 918.80 | 0.35% | | 0.08% | | | 76.58% | 20.76% | 1.78% | 0.46% |
| 8 | 381.99 | 1.06% | 0.61% | 7.75% | | 0.17% | 10.09% | 72.89% | 3.91% | 3.52% |
| 9 | 145.97 | 0.06% | | | | | 51.44% | 42.13% | 1.60% | 4.76% |
| 10 | 46.97 | 0.79% | | | | | 7.86% | 17.97% | 72.39% | 1.00% |
| 11 | 544.19 | 0.37% | | | | | 55.63% | | 43.18% | 0.82% |
| 12 | 52.70 | | | | | | | 68.61% | 31.39% | |
| 13 | 139.71 | 0.40% | | 0.27% | 1.41% | | 17.12% | 58.52% | 20.19% | 2.09% |
| 14 | 32.60 | | | 0.00% | 4.03% | | 36.88% | 19.86% | 39.00% | 0.22% |
| 15 | 239.43 | 1.23% | | 0.11% | 0.00% | | 39.39% | 42.36% | 13.13% | 3.79% |
| 16 | 56.10 | 1.66% | | 9.07% | 22.80% | | 21.43% | 22.24% | 13.89% | 8.91% |
| 17 | 36.63 | | | | | | 29.68% | 5.06% | 36.92% | 28.34% |
| 18 | 1629.52 | 1.40% | | 0.35% | | | 0.53% | 25.32% | 69.41% | 0.37% |
| 19 | 36.53 | 0.41% | | | | | | | 99.59% | |
| 20 | 366.71 | 0.07% | | | | | 46.04% | 52.10% | 1.79% | |
| 21 | 1629.52 | 0.15% | | | | | 55.07% | 41.27% | 3.07% | 0.45% |
| 22 | 499.52 | 0.32% | | | | | 61.28% | 35.29% | 2.73% | 0.39% |
| 23 | 14.44 | 1.33% | | | | | | 94.28% | 4.40% | |
| 24 | 99.94 | 0.03% | | 0.56% | | 0.03% | 6.17% | 82.89% | 8.26% | 2.06% |
| 25 | 38.69 | 0.03% | | 0.87% | | | 8.59% | 68.64% | 15.27% | 6.61% |
| 26 | 69.98 | 0.25% | | 0.42% | | | 69.53% | 9.90% | 19.55% | 0.36% |
| 27 | 191.56 | 0.62% | 1.29% | 0.85% | 0.50% | | 22.69% | 79.53% | 48.56% | 1.16% |
| 28 | 123.45 | | | | | | 51.91% | 0.10% | 48.00% | |
| 29 | 366.41 | 0.01% | | | | | 63.10% | 3.73% | 32.91% | 0.25% |
| 30 | 37.37 | 0.07% | | | | | 59.52% | 23.60% | 11.25% | 5.56% |
| 31 | 264.95 | 0.82% | 1.08% | 0.84% | | | 0.05% | 68.64% | 26.66% | 1.91% |
| 32 | 54.71 | 0.59% | 5.59% | 0.64% | 1.02% | | 1.27% | 80.27% | 7.39% | 3.24% |
| 33 | 22.58 | 0.23% | | | | | | 61.34% | 38.43% | |
| 34 | 10.38 | 0.39% | | | | | | 2.42% | 94.27% | 2.93% |
| 35 | 162.36 | | | | | | 32.04% | 44.34% | 18.05% | 5.56% |
| 36 | 1533.84 | 3.76% | 17.20% | 3.77% | 9.87% | 0.65% | 18.05% | 18.02% | 18.13% | 10.55% |
| 37 | 617.32 | 0.64% | | 0.11% | | | 48.55% | 9.35% | 37.89% | 3.47% |
| 38 | 132.61 | 2.45% | 3.94% | 5.84% | 0.15% | 0.06% | 0.16% | 34.08% | 44.86% | 8.46% |
| 39 | 127.71 | | | | | | 64.48% | 33.40% | 2.12% | |
| 40 | 59.04 | 0.03% | | | | | 59.24% | 32.61% | 8.12% | |
| 41 | 67.64 | 0.05% | | | | | 59.51% | 32.65% | 7.79% | |
| 42 | 94.08 | 0.22% | | 0.07% | | | 68.26% | 27.87% | 3.53% | 0.06% |
| 43 | 402.09 | 0.73% | | 4.21% | 1.04% | 0.45% | 21.73% | 63.21% | 5.23% | 3.40% |

다. EC의 위치별 평균값은 저류수에서 71.0 (37.0 ~136.0) $\mu\text{S/cm}$ 로, 유입수 132.7 (32.0~803.0) $\mu\text{S/cm}$, 유출수 136.4 (33.0~677) $\mu\text{S/cm}$ 에 비해 다소 낮게 나타났다. BOD, COD, TOC, T-P의 평균값은 각각 0.52, 2.73, 1.34, 0.005 mg/L로 위치별 평균 차이는 미미했다. 반면, T-N과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 계류수에서 각각 평균 0.79, 0.68 mg/L로 저류

수 평균값인 0.55, 0.37 mg/L보다 높게 나타났다. SS의 경우 유입수, 저류수, 유출수 순으로 평균 7.24, 3.29, 4.84 mg/L를 기록함으로써 위치별로 확연히 다른 결과를 보였다. 탁도도 SS와 비슷한 경향을 보였으며, Chl-a의 평균값은 유입수 0.68 (0~4.02) $\mu\text{g/L}$, 저류수 3.71 (0~30.69) $\mu\text{g/L}$, 유출수 3.86 (0~123.4) $\mu\text{g/L}$ 로 나타나 유입수에서 낮

Table 2. Water quality data of inflow, outflow and reservoir water of erosion control dams.

| | | Temp. (°C) | pH | DO (mg/L) | EC (μS/cm) | BOD (mg/L) | COD (mg/L) | TOC (mg/L) | T-N (mg/L) | NO ₃ -N (mg/L) | T-P (mg/L) | SS (mg/L) | Chl-a (μg/L) | Turb. (NTU) |
|---------------------|------|---------------|------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|---------------|--------------|-----------------|----------------|
| Inflow (n=43) | Min. | 9.09 | 4.90 | 7.07 | 32.0 | 0.15 | 0.78 | 0.30 | 0.09 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 0.15 |
| | Max. | 17.88 | 8.03 | 9.95 | 803.0 | 1.48 | 7.46 | 2.67 | 7.72 | 7.17 | 0.027 | 61.33 | 4.02 | 15.10 |
| | Mean | 13.43 | 7.03 | 9.04 | 132.7 | 0.50 | 2.69 | 1.12 | 0.79 | 0.68 | 0.005 | 7.24 | 0.68 | 2.61 |
| | S.D. | 2.27 | 0.62 | 0.6 | 154.6 | 0.36 | 1.63 | 0.59 | 1.27 | 1.21 | 0.006 | 12.18 | 0.95 | 3.70 |
| Reservoir (n=15) | Min. | 10.63 | 5.97 | 6.99 | 37.0 | 0.06 | 0.90 | 0.47 | 0.14 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 0.18 |
| | Max. | 19.10 | 7.88 | 9.80 | 136.0 | 1.51 | 4.52 | 3.28 | 1.51 | 1.30 | 0.015 | 15.00 | 30.69 | 4.76 |
| | Mean | 14.19 | 7.04 | 8.71 | 71.0 | 0.57 | 2.50 | 1.37 | 0.55 | 0.37 | 0.006 | 3.29 | 3.71 | 1.11 |
| | S.D. | 2.44 | 0.54 | 0.85 | 30.3 | 0.43 | 1.15 | 0.79 | 0.38 | 0.39 | 0.004 | 4.17 | 7.82 | 1.11 |
| Outflow (n=43) | Min. | 10.19 | 5.34 | 5.34 | 33.0 | 0.14 | 0.92 | 0.34 | 0.11 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 0.14 |
| | Max. | 18.60 | 8.04 | 9.92 | 677.0 | 2.01 | 18.87 | 13.54 | 7.63 | 7.13 | 0.026 | 56.50 | 123.4 | 16.40 |
| | Mean | 13.54 | 7.04 | 8.92 | 136.4 | 0.52 | 2.84 | 1.56 | 0.79 | 0.68 | 0.005 | 4.84 | 3.86 | 2.16 |
| | S.D. | 2.14 | 0.56 | 0.73 | 133.3 | 0.39 | 2.94 | 1.99 | 1.22 | 1.16 | 0.007 | 9.89 | 18.74 | 3.20 |

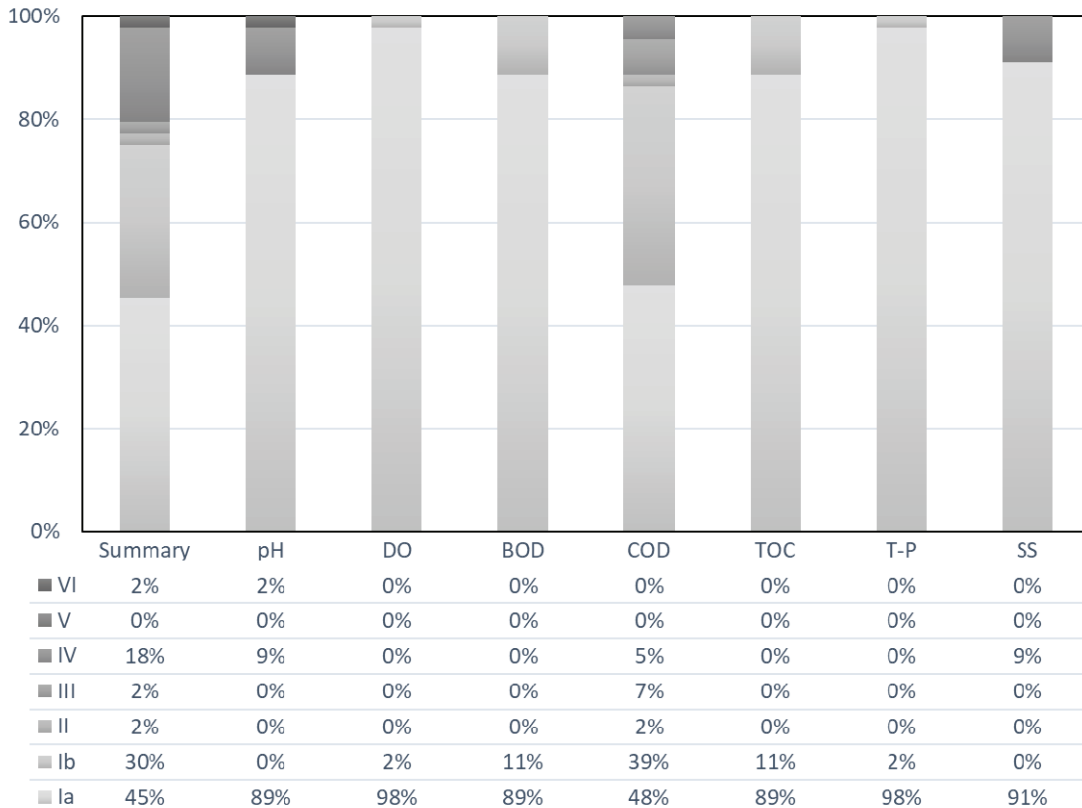


Figure 2. Water quality grade of inflow of erosion control dams.

고 저류수와 유출수에서 높았다. 수온의 경우 유입수, 저류수, 유출수에서 각각 평균 13.43, 14.19, 13.54 °C로 비슷하게 나타났다. 저류수의 경우, 원칙적으로 사방댐 어께나 방수로에서 표층의 물을 채취하였기에 큰 차이가 없는 것으로 보인다.

2. 계류수 및 사방댐 저류수 수질 등급 분석

환경정책기본법 제 10조, 동법 시행령 제 2조에 나온 수질환경기준을 적용하여 조사대상 계류수 및 사방댐 저류수의 수질등급을 판정하였다. 판정 결과(Figure 2~4), 우선 유입수의 경우, 전체 사방댐 중에서 사방댐(41)에서 만 농업용수로도 사용이 어려운 IV등급 이하 등급으로

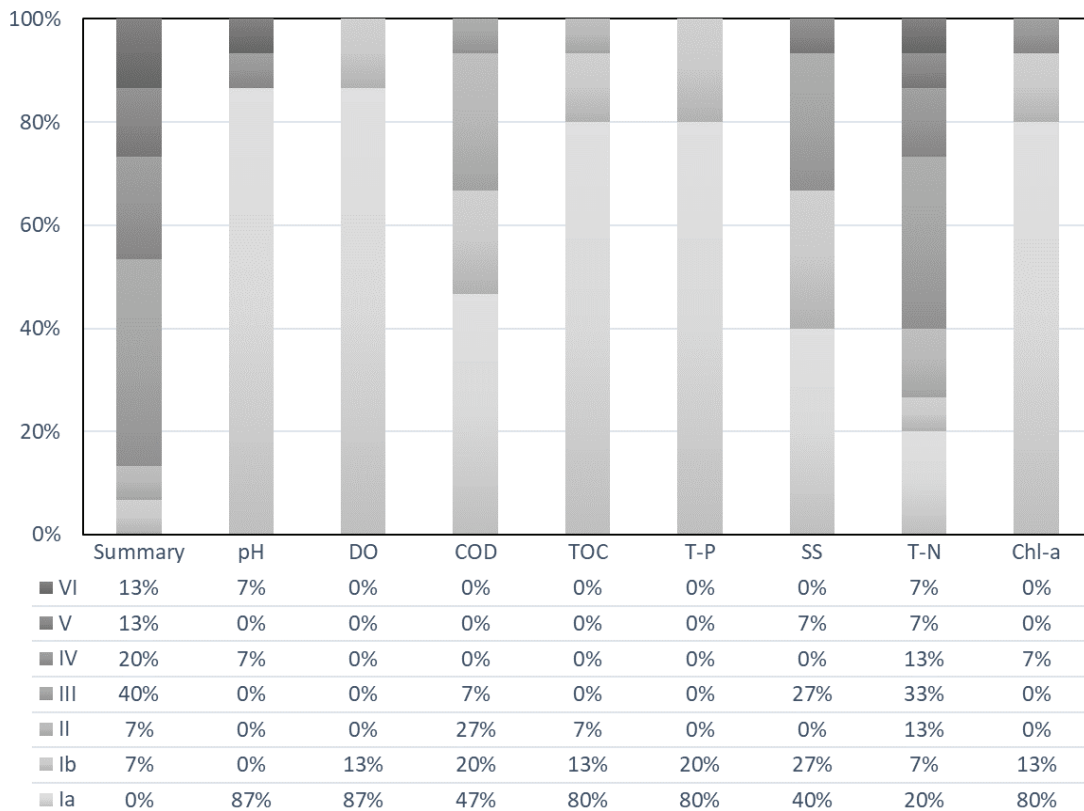


Figure 3. Water quality grade of reservoir of erosion control dams.

나타났다. 사방댐(41) 유역은 99.95%가 산림이지만 현장 조사에 의하면 시로 채취지점 상류에 위치한 폐탄광에서 산성 침출수가 유입되는 것으로 조사되었다(Choi, 1997; Kim et al., 2005).

사방댐 저류수의 수질등급 결과를 보면(Figure 3), 농업 용수로 사용이 불가능한 저류수는 사방댐 11번, 20번, 30번, 32번 등 4곳으로 판정되었다. 사방댐(11)의 저류수는 T-N이 V등급으로 판정되었다. 사방댐(11)은 지역주민들이 계류에서 취수할 목적으로 이용했고 조사 당시에는 사방댐의 밸브식 물빼기 구멍으로 배수량을 조정하고 있었다. 이 지역의 토지이용은 대부분이 산림으로 되어 있으며, 활엽수림이 55.63%, 혼효림이 43.18%를 이루고 있다. 유역 상류에 점 오염원은 없었으며, 낙엽 등과 같은 유기물이 침전 및 분해되는 과정에서 많은 양의 영양물질이 유출되고(Duan et al., 2014), 방수로가 없어 갈수기에 물이 오랫동안 정체되어 수질이 악화된 것으로 판단된다(Choi, 2014).

사방댐(20)의 저류수는 pH가 최저등급 VI등급으로 판정되었으나 그 값은 5.97로 IV등급 기준 6.0과 매우 근접하였고 유입수 및 유출수의 pH가 모두 IV등급으로 나타났다. 같은 지역 사방댐(22)의 pH도 IV등급으로 나타

났다. 사방댐(20)은 산림이 99.93%, 사방댐(22)는 산림이 99.29%를 차지하였다. 계류수의 EC가 매우 낮아 오염물의 유입이 없는 것으로 보이고 같은 지역 하류에 위치한 복합형 사방댐(21)의 pH는 Ia등급으로 판정되었다. 민원이 가장 많은 지역에 위치한 사방댐(20~22)에 대해 현장 조사를 한 결과, 사방댐(21)은 원래의 불투과형 사방댐을 일부 개방하여 복합형 사방댐으로 되어있었고 사방댐(20)과 사방댐(22)은 굴참나무 군락 내에 위치하여 굴참나무 낙엽으로 수면이 뒤덮였으며 악취도 심했다. 특히 사방댐(20)의 경우, 유입수와 유출수가 농업용수로 사용이 가능하지만 저류수의 pH가 농업용수로도 사용이 불가능한 것은 대량의 유기물 퇴적과 정체된 흐름으로 조성된 혐기성 환경에서 낙엽분해과정에 따른 pH 감소로 추정된다(Nykqvist, 1963). 연구에 따르면 댐 상류 저수지(headwater reservoir)는 낙엽 분해속도를 감소시킨다(Mendoza-Lera et al., 2012; Menéndez et al., 2012).

사방댐(32)의 경우, 저류수의 Chl-a는 IV등급, SS는 V등급으로 나타났는데 해당 사방댐의 유입수가 상수원 1급으로 판정되어 오염물질 유입으로 인한 것은 아니었다. 조사 당시 저수량이 많지 않아 저류수의 월류는 없었으며 유량 감소에 따른 Chl-a의 증가와 SS의 증가로 판

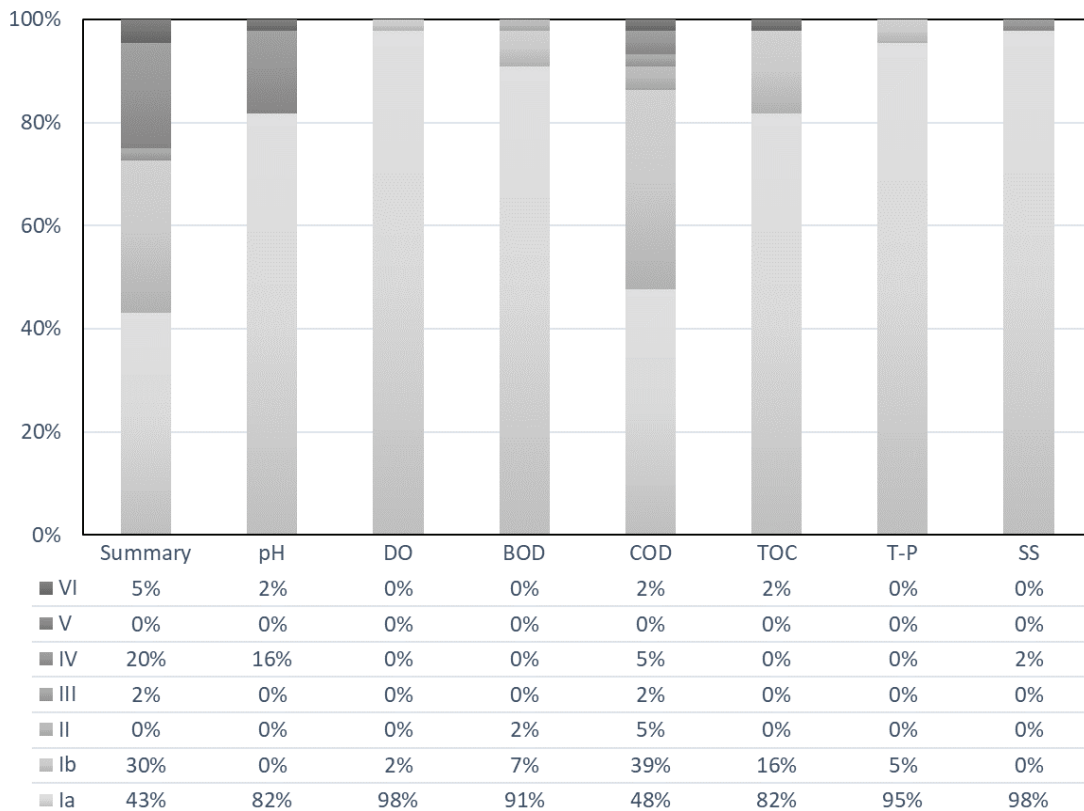


Figure 4. Water quality grade of outflow of erosion control dams.

단된다(Imteaz et al., 2003; Cheon et al., 2006; Yoon, 2012; Lim et al., 2015; Jung and Kim, 2017).

사방댐(30) 저류수는 T-N이 VI등급으로 판정되었으며 상류유역의 토지피복은 활엽수림 59.52%, 침엽수림 23.6%, 혼효림 11.25%로 산림이 94.37%, 기타 나지 2.55%로 나타났다. 사방댐(30)은 취수 목적으로 이용되고 있으며 사방댐의 방수로 대신에 댐 어깨 쪽에 밸브형식의 취수시설이 설치되어 있으며, 현장 조사 시 만수상태였고 방수로가 없는 사방댐(11)의 저류수와 같은 원인으로 판단된다.

유출수의 경우(Figure 4), IV등급 이하에 속한 곳이 두 곳으로 나타났다. 그 중 한 곳은 pH 등급이 매우 나쁨(VI 등급)으로 나타난 사방댐(41)이고, 다른 한 곳 사방댐(30)에서는 COD, TOC가 VI등급으로 나타났다. 사방댐(41)은 앞서 설명한 상류 폐탄광이 원인이고, 사방댐(30)의 유출수 수질은 저류수 수질과 연관되는 것으로 판단된다. 종합적으로, 수질 분석을 실시한 43개 사방댐 중 90% 이상이 농업용수로서 적합한 것으로 나타났다.

3. 수질인자 간 상관관계

유입수, 저류수, 유출수별로 수질인자 간의 상관관계를

분석하였다(Table 3, 4). 일반적으로 맑은 물에서 수온과 DO는 음의 상관관계로 나타난다. 이번 연구에서는 유입수에서만 유의확률(p) 0.01 수준으로 음의 상관관계를 보였고 저류수 및 유출수에서는 상관관계를 보이지 않았다. 또한 상관계수가 유입수에 비해 낮게 나타나 온도에 비해 DO가 다소 높게 나타난 경향이 있어 맑은 유입수와 달리 저류수 및 유출수에서는 DO에 영향 주는 요인이 복합적인 것으로 추정되어 DO뿐만 아니라 다른 수질인자도 함께 보아야 한다.

물속의 유기물질의 양을 측정하는 산소요구량은 저류수에서 COD를, 계류수(유입, 유출)에서는 BOD를 사용한다. 그 이유는 호수와 같이 흐름이 정체된 곳에서는 조류의 생장이 활발하기에 생체량인 조류를 유기물질량으로 포함시키기 위해 COD를 사용한다(Sawyer et al., 2003). Table 4에서는 저류수의 COD와 TOC, T-N과 NO₃-N, SS와 Chl-a, SS와 탁도, Chl-a와 탁도 등이 매우 높은 양의 상관관계(p<0.01)를 보였으며, DO와 EC (p<0.01), COD와 NO₃-N (p<0.05), TOC와 NO₃-N (p<0.05)는 음의 상관관계를 보였다.

유입수에서는 pH와 EC (p<0.01), pH와 TOC (p<0.05)가 음의 상관관계를 가졌고 BOD와 TOC, BOD와 SS,

Table 3. Correlation analysis among water quality parameters of stream water.

| | Temp. | pH | DO | EC | BOD | TOC | T-N | NO ₃ -N | T-P | SS | Chl-a |
|---------|--------------------|----------|----------|--------|--------|---------|---------|--------------------|---------|-------|---------|
| Inflow | pH | 0.302* | | | | | | | | | |
| | DO | -0.605** | -0.213 | | | | | | | | |
| | EC | 0.044 | -0.489** | -0.068 | | | | | | | |
| | BOD | 0.024 | -0.086 | -0.148 | -0.010 | | | | | | |
| | TOC | -0.012 | -0.320* | 0.092 | -0.008 | 0.359* | | | | | |
| | T-N | -0.142 | -0.128 | 0.249 | 0.025 | -0.035 | 0.009 | | | | |
| | NO ₃ -N | -0.161 | -0.121 | 0.262 | 0.023 | -0.039 | 0.002 | 0.999** | | | |
| | T-P | 0.074 | -0.247 | 0.178 | 0.168 | 0.111 | 0.174 | 0.619** | 0.617** | | |
| | SS | 0.018 | 0.126 | -0.265 | -0.017 | 0.817** | 0.086 | 0.004 | 0.001 | 0.001 | |
| | Chl-a | -0.030 | 0.032 | -0.137 | 0.096 | 0.651** | 0.382* | 0.098 | 0.096 | 0.254 | 0.761** |
| | Turb. | 0.130 | 0.045 | -0.234 | -0.015 | 0.818** | 0.198 | 0.025 | 0.014 | 0.017 | 0.843** |
| Outflow | pH | 0.282 | | | | | | | | | |
| | DO | -0.284 | 0.122 | | | | | | | | |
| | EC | -0.072 | -0.400** | -0.068 | | | | | | | |
| | BOD | 0.195 | 0.029 | 0.060 | -0.017 | | | | | | |
| | TOC | 0.166 | 0.162 | 0.020 | -0.027 | 0.725** | | | | | |
| | T-N | -0.206 | -0.198 | 0.154 | 0.009 | -0.072 | -0.102 | | | | |
| | NO ₃ -N | -0.219 | -0.188 | 0.163 | -0.001 | -0.085 | -0.114 | 0.999** | | | |
| | T-P | 0.060 | -0.247 | -0.105 | 0.164 | 0.109 | 0.190 | 0.580** | 0.575** | | |
| | SS | -0.002 | 0.176 | 0.245 | -0.046 | 0.790** | 0.817** | 0.051 | 0.042 | 0.153 | |
| | Chl-a | 0.096 | 0.262 | 0.149 | -0.033 | 0.643** | 0.949** | -0.027 | -0.035 | 0.136 | 0.827** |
| | Turb. | 0.131 | 0.074 | 0.209 | -0.022 | 0.901** | 0.724** | 0.046 | 0.034 | 0.095 | 0.892** |

*: Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

**: Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

Table 4. Correlation analysis among water quality parameters of reservoir.

| | Temp. | pH | DO | EC | COD | TOC | T-N | NO ₃ -N | T-P | SS | Chl-a | |
|-----------|--------------------|--------|--------|----------|-------|---------|---------|--------------------|--------|-------|---------|---------|
| Reservoir | pH | 0.260 | | | | | | | | | | |
| | DO | -0.294 | 0.190 | | | | | | | | | |
| | EC | 0.254 | -0.206 | -0.710** | | | | | | | | |
| | COD | -0.050 | -0.201 | -0.271 | 0.261 | | | | | | | |
| | TOC | 0.147 | -0.155 | -0.413 | 0.359 | 0.876** | | | | | | |
| | T-N | 0.098 | 0.027 | -0.233 | 0.378 | -0.490 | -0.445 | | | | | |
| | NO ₃ -N | 0.007 | 0.050 | -0.141 | 0.247 | -0.568* | -0.554* | 0.985** | | | | |
| | T-P | 0.032 | -0.239 | -0.407 | 0.315 | 0.510 | 0.491 | -0.177 | -0.216 | | | |
| | SS | 0.044 | 0.231 | -0.154 | 0.321 | 0.341 | 0.026 | 0.191 | 0.167 | 0.175 | | |
| | Chl-a | 0.274 | 0.284 | -0.034 | 0.137 | 0.387 | 0.135 | -0.100 | -0.114 | 0.262 | 0.802** | |
| | Turb. | 0.041 | 0.002 | -0.010 | 0.139 | 0.444 | 0.102 | -0.205 | -0.207 | 0.363 | 0.755** | 0.913** |

*: Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

**: Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

BOD와 Chl-a, BOD와 탁도, TOC와 Chl-a, T-N과 NO₃-N, T-N과 T-P, NO₃-N과 T-P, SS와 Chl-a, SS와 탁도, Chl-a와 탁도가 p<0.01로 매우 높은 양의 상관관계를 보였다. 유출수에서는 유입수와 비슷한 양상을 보였지만 TOC와 pH, TOC와 SS, TOC와 탁도의 상관성이 낮게 나타났다.

유입수, 저류수, 유출수에서 모두 상관성이 높게 나타난 것은 TOC와 산소 요구량(BOD 혹은 COD), T-N과 NO₃-N, SS와 Chl-a, SS와 탁도, Chl-a와 탁도 등이었다.

BOD와 COD는 물속의 유기물의 양을 가늠하는 인자이기 때문에 총 유기탄소량과 상관성이 높게 나타난 것이고, T-N은 NO₃-N과 비 NO₃-N의 합이기 때문에 상관성이 높다. SS와 탁도는 물속의 부유물질이 높으면 탁도가 높아지기 때문이며, Chl-a와 SS가 높은 상관성을 보이는 것은 사방댐이 대부분 상류지역에 위치하여 N:P 값이 16을 초과하여 인이 제한요소로 작용하고 농업활동이 적은 상류지역은 산림토양 기원 인(P)이 주요 유입원이기 때

Table 5. Linear regression of outflow and inflow of water detained erosion control dams.

| (n=15) | pH | DO | EC | BOD | COD | TOC | T-N | NO ₃ -N | T-P | SS | Chl-a | Turb. |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|--------|--------|---------|--------|
| β (a=0) | 0.9917 | 0.9966 | 0.9131 | 0.9184 | 1.2894 | 1.7526 | 0.9681 | 0.9693 | 1.0149 | 0.8711 | 31.9934 | 1.2544 |
| R ² | 0.9972 | 0.9919 | 0.8723 | 0.5362 | 0.3460 | 0.2490 | 0.9125 | 0.8839 | 0.7276 | 0.2385 | 0.3975 | 0.2806 |

문이다(Park and Cha, 2013).

T-P와 다른 인자 간 상관성이 다소 낮게 나타난 것은 Figure 2~4에서와 같이 모든 시료의 T-P등급이 상수원 1급으로서 측정 데이터의 범위가 좁기 때문이다. 또한, Chl-a와 영양염류인 N, P의 상관성이 낮은 것도 모든 시료에서 III등급 이상으로 판정되어 데이터의 범위가 작은 원인으로 추정되며 이는 상류지역이 대부분 산림으로 인간 활동의 영향이 상대적으로 적기 때문이다.

계류수(유입수와 유출수)는 BOD가 SS, Chl-a, 탁도 등과 매우 높은 양의 상관관계(p<0.01)를, TOC와 Chl-a (p<0.05)가 양의 상관관계를 나타냈다. 이는 흐름이 느린 하천 내에서 미처리된 영양염류를 이용한 식물플랑크톤의 생장에 의해 공급되는 자생 BOD의 합으로 추정된다 (Fallon and Brock, 1979; Kim et al., 1997; Yang and Kim, 2006; Kim et al., 2013).

T-N과 T-P의 상관성은 계류수에서는 높지만 저류수에서는 낮은 것으로 나타났다. Park and Cha(2013)는 합천호 상류 수계의 T-N과 T-P가 상관성이 낮다고 하였고 Yoon(2012)는 주암호의 T-N과 T-P가 낮은 상관성을 보였다고 하였다. 한편, 산림 유역 상류수(headwater)에서 T-N과 T-P가 높은 상관성을 보이기도 하였다(Jones et al., 2004). 전반적으로, 수질인자 간 상관관계를 보면 유입수와 유출수는 비슷한 경향이 있지만 저류수는 판이한 양상을 보였다.

4. 사방댐 저류수가 유출수 수질에 미치는 영향

저류가 없는 사방댐의 유입수와 유출수는 계류 바닥이나 암반으로 유출되어 사방댐의 영향이 적다. 따라서 사방댐이 수질에 미치는 영향은 사방댐을 통과한 유출수의 수질이 유입수에 비해 어떤 경향을 보이는 가이다. 이를 알아보기 위해 저류수가 있는 15개 사방댐의 유출수를 종속변수, 유입수를 독립변수로 설정하여 선형회귀분석을 하였다(Table 5). 회귀분석 결과 pH, DO, EC, BOD, T-N, NO₃-N, T-P 등은 유입수와 유출수의 수질이 유사하게 나타나 사방댐이 수질에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

Figure 5는 BOD, COD, TOC, SS, Chl-a, 탁도 등 항목에 대한 유입-유출 비교이다. 회귀분석 결과, 기울기는 Chl-a (31.993), TOC(1.753), COD(1.289), 탁도(1.254), SS(0.871),

BOD(0.918) 순으로 1:1 비율에서 많이 벗어난 것으로 나타났다. BOD와 COD는 모두 산소요구량을 측정하는 항목이지만 전자는 미생물에 의한 유기물 분해, 즉 생화학적 분해이고 후자는 화학적 분해라는 차이가 있다. COD의 경우, TOC와의 상관성이 높는데 이는 물속의 미생물에 의해 분해되는 유기물 양과 미생물 생체량도 함께 측정하기 때문이다(Sawyer et al., 2003). 또한 상류 댐에 의한 하류의 부영양화 현상으로 유출수의 식물성 플랑크톤이 증가한다(Camargo et al., 2005). 즉, 사방댐 저류수를 통과한 유출수는 유입수에 비해 생화학적 분해 가능한 유기물 양은 줄어들었고 미생물 생체 기원 유기물 함량은 증가한 것으로 분석되었다.

마지막으로 SS는 유출수에서 낮아지는 경향을 보였는데 이는 사방댐의 순기능 중 하나인 토사유출 감소효과이며 탁도는 Chl-a와 상관성이 높아 비슷한 경향을 보인다(Boix-Fayos et al., 2007; Piton and Recking, 2017; Zhao et al., 2017). 이 연구는 갈수기에 1회 측정된 자료를 근거로 분석되었다는 한계를 가지며, 추후 반복적인 측정 및 조사대상지를 확대하여 분석한다면 사방댐이 수질에 미치는 영향을 조금 더 정확하게 분석할 수 있을 것이다.

결론

낙동강 유역의 43개 불투과형 사방댐의 유입수, 저류수, 유출수에 대해 수질을 분석하였다. 또한 수질 항목별 수질환경기준 등급을 판정하여 오염 정도를 파악하였다. 수질 항목 간의 상관관계 통계분석을 실시하였고 저류수 유무에 따른 사방댐의 유출수의 변화를 분석한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 선정된 43개 사방댐 중 15개의 저류수 샘플링이 가능한 사방댐에서는 유입수, 저류수, 유출수를 채취하였고 그 외 지역에서는 유입수, 유출수만 채취하였으며 각각의 사방댐으로 흘러드는 상류유역의 물리적 환경과 토지 이용 현황을 분석하였다.

2) 채취된 시료의 수질 분석 결과 43개의 사방댐 중 5곳은 농업용수로 사용이 불가능하였다. 그중 1곳은 폐탄광 침출수의 영향을 받은 곳이었으며 나머지 4곳은 취수를 위해 사방댐에 물을 저수하는 과정에서 산림으로부터 유출된 낙엽 등의 유기물이 퇴적되어 부후가 진행된 곳

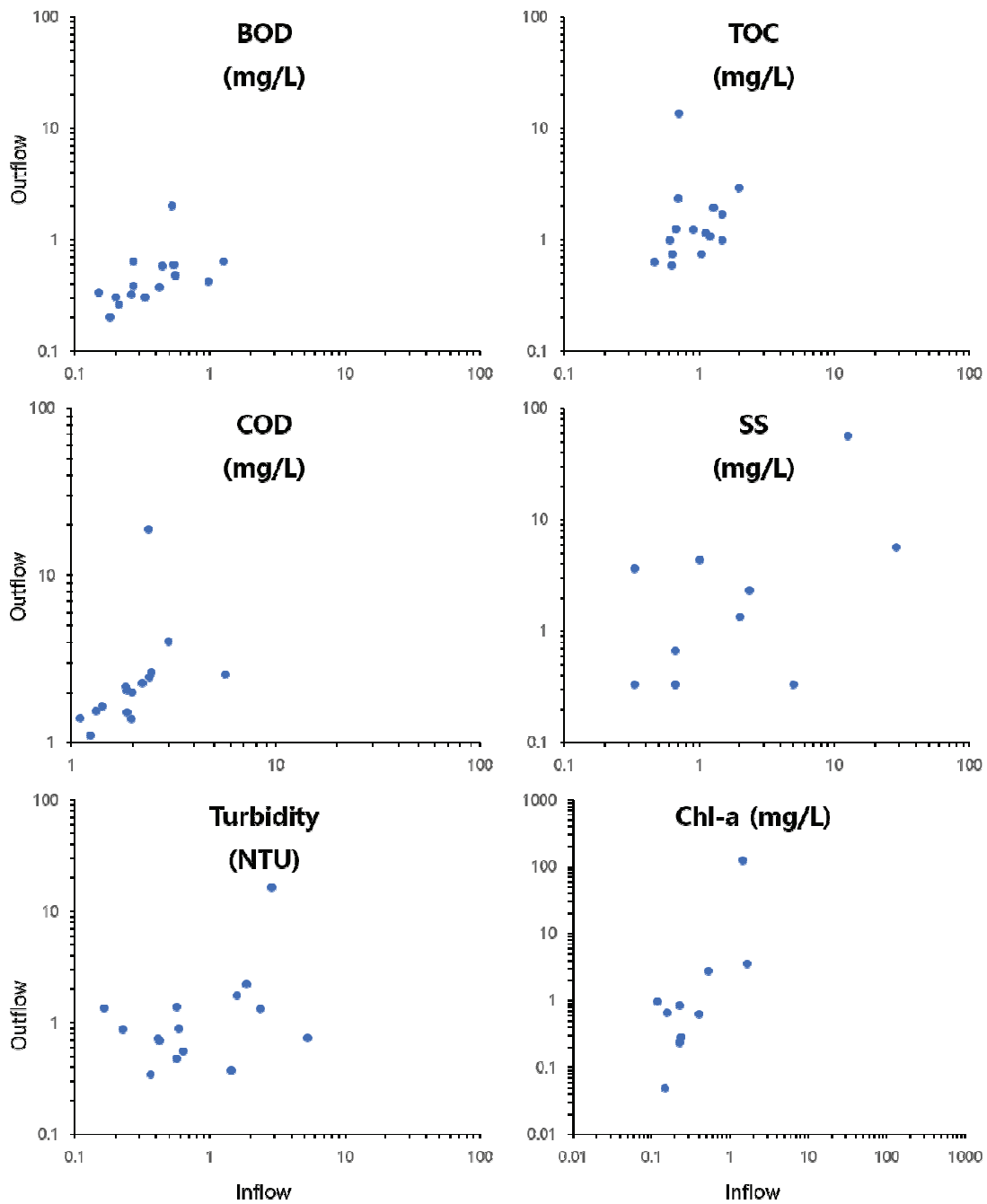


Figure 5. Comparison between outflow and inflow of water detained erosion control dams.

이었다.

3) 유입수, 저류수, 유출수별로 수질인자 간 상관관계를 분석한 결과, 공통적으로 TOC와 산소 요구량의 상관성이 매우 높게 나타났으며 SS와 탁도, SS와 Chl-a, Chl-a와 탁도의 상관성이 매우 높게 나타났다.

4) 유입수 및 유출수에서만 상관성이 높게 나타난 것들은 BOD와 SS, BOD와 Chl-a, BOD와 탁도, TOC와 Chl-a 등이었다. 이는 흐름이 느린 하천 내 미처리된 영양염류

를 이용한 식물플랑크톤의 성장과 연관이 있는 것으로 추정된다.

5) 저류수가 있는 사방댐의 유출수와 유입수에 대해 회귀분석을 실시한 결과 선 SS와 탁도는 유출수에서 줄어드는 추세로 선행연구와 유사하였다. 또한, 사방댐 저류수를 통과한 유출수는 유입수에 비해 생화학적 분해가 가능한 유기물 함량은 줄어들었고 미생물 생체 기원 유기물 함량은 증가한 것으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2017061B10-1919-AB01)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- Arroita, M., Aristi, I., Díez, J., Martínez, M., Oyarzun, G. and Elosegui, A. 2015. Impact of water abstraction on storage and breakdown of coarse organic matter in mountain streams. *Science of The Total Environment* 503-504: 233-240.
- Boix-Fayos, C., Barberá, G.G., López-Bermúdez, F. and Castillo, V.M. 2007. Effects of check dams, reforestation and land-use changes on river channel morphology: Case study of the Rogativa catchment (Murcia, Spain). *Geomorphology* 91(1): 103-123.
- Camargo, J.A., Alonso, Á. and De La Puente, M. 2005. Eutrophication downstream from small reservoirs in mountain rivers of Central Spain. *Water Research* 39(14): 3376-3384.
- Cheon, S.U., Lee, J.A., Lee, J.J., Yoo, Y.B., Bang, K.C. and Lee, Y.J. 2006. Relationship among Inflow Volume, Water Quality and Algal Growth in the Daecheong Lake. *Journal of Korean Society on Water Environment* 22(2): 342.
- Choi, W.Z. 1997. A Study on the Assessment of the Contamination by Acid Mine Drainage in Abandoned Coal Mines. *Journal of Soil and Groundwater Environment* 2(3): 31-38.
- Choi, Y.S. 2014. Woody debris runoff from forested watersheds and limnological effects in reservoirs. (Ph.D). Kangwon. Kangwon National University.
- Duan, S., Delaney-Newcomb, K., Kaushal, S.S., Findlay, S. E.G. and Belt, K.T. 2014. Potential effects of leaf litter on water quality in urban watersheds. *Biogeochemistry* 121(1): 61-80.
- Fallon, R.D. and Brock, T.D. 1979. Decomposition of blue-green algal (cyanobacterial) blooms in Lake Mendota, Wisconsin. *Applied and Environmental Microbiology* 37(5): 820-830.
- Haapala, A., Muotka, T. and Laasonen, P. 2003. Distribution of benthic macroinvertebrates and leaf litter in relation to streambed retentivity: implications for headwater stream restoration. *Boreal Environment Research* 8(1): 19-30.
- Imteaz, M.A., Asaeda, T. and Lockington, D.A. 2003. Modelling the effects of inflow parameters on lake water quality. *Environmental Modeling & Assessment* 8(2): 63-70.
- Jones, D.G., Summer, W.B., Miwa, M. and Jackson, C.R. 2004. Baseline Characterization of Forested Headwater Stream Hydrology and Water Chemistry in Southwest Georgia.
- Jung, S.Y. and Kim, I.K. 2017. Analysis of Water Quality factor and Correlation between Water Quality and Chl-a in Middle and Downstream Weir Section of Nakdong River. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 39(2): 89-96.
- Kim, B.C., Kim, D.S., Hwang, G.S., Choi, K.S., Heo, W.M. and Park, W.K. 1997. Contribution of Primary Production of Phytoplankton to Organic Pollution in a Eutrophic River, the Nakdong River. *Journal of Environmental Research* 14: 83-89.
- Kim, G.H., Jung, K.Y., Yoon, J.S. and Cheon, S.U. 2013. Temporal and Spatial Analysis of Water Quality Data Observed in Lower Watershed of Nam River Dam. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 13(6): 429-437.
- Kim, H.J., Yang, J.E., Ok, Y.S., Lee, J.Y., Park, B.K., Kong, S.H. and Jun, S.H. 2005. Assessment of Water Pollution by Discharge of Abandoned Mines. *Journal of Soil and Groundwater Environment* 10(5): 25-36.
- Kim, S.J., Jeong, Y.H., Kim, K.H., Chung, C.G., Jun, J.H. and Yoo, J.Y. 2004. Short-term Variations of Electrical Conductivity and Major Anions in Streamwater during the Storm Events in Rehabilitated Catchments. *Journal of Korean Forestry Society* 93(7): 464-470.
- Korea Forest Service. 2018. Statistics of landslide in Korea: number of erosion control dams. http://forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/Isis/UI_Lsis_1000_050102.html&orgId=Isis&mn=KFS_02_06_05_01_02.
- Lee, D.H., Lee, K.H., Lee, H.H., Ma, H.S., Bae, K.H. and Kim, J.H. 2009. The Variation of Benthic Macroinvertebrates Caused by Erosion Control Works in a Torrential Stream - Focused on Variation of Benthic Macroinvertebrates Analyzed immediately after Construction Works. *Korean Journal of Environment and Ecology* 23(4): 353-364.
- Lee, K.H. 2017. A Study on the Determination of Maintenance Priority Order among Debris Barriers on the Basis of Exterior Condition Evaluation. (Ph.D). Kyungsangbuk-do. Yeungnam University.
- Lim, J.S., Kim, Y.W., Lee, J.H., Park, T.J. and Byun, I.G. 2015. Evaluation of Correlation between Chlorophyll-a and Multiple Parameters by Multiple Linear Regression Analysis. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 37(5): 253-261.
- Ma, H.S., Park, J.H. and Kang, W.S. 2013. Changes of Cluster Index of Benthic Macroinvertebrates by Construction of Erosion Control Structures in Mountain Stream. *Journal of Agriculture & Life Science* 47(6): 15-21.

- Mbaka, J.G. and Mwaniki, M.W. 2017. A critical review of the effect of water storage reservoirs on organic matter decomposition in rivers. *Environmental Reviews* 25(2): 193-198.
- Mendoza-Lera, C., Larrañaga, A., Pérez, J., Descals, E., Martínez, A., Moya, O., Arostegui, I. and Pozo, J. 2012. Headwater reservoirs weaken terrestrial-aquatic linkage by slowing leaf-litter processing in downstream regulated reaches. *River Research and Applications* 28(1): 13-22.
- Menéndez, M., Descals, E., Riera, T. and Moya, O. 2012. Effect of small reservoirs on leaf litter decomposition in Mediterranean headwater streams. *Hydrobiologia* 691(1): 135-146.
- Nhiwatiwa, T. and Marshall, B. E. 2010. Water quality and plankton dynamics in two small dams in Zimbabwe. *African Journal of Aquatic Science* 32(2): 139-151.
- Nykvist, N. (1963). Leaching and decomposition of water-soluble organic substances from different types of leaf and needle litter (No. 3).
- Park, H.G. and Cha, E.H. 2013. A Study on the Influence of Water Quality on the Upper Stream of Hap-Chun Lake. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 35(2): 94-100.
- Park, J.H. and Kim, C.S. 2013. Analysis of Influence on Stream Water Quality by Soil Erosion Control Structures. *Journal of Korean Forestry Society* 102(4): 571-577.
- Piton, G. and Recking, A. 2017. Effects of check dams on bed-load transport and steep-slope stream morphodynamics. *Geomorphology* 291: 94-105.
- Santucci, V.J., Gephard, S.R. and Pescitelli, S.M. 2005. Effects of Multiple Low-Head Dams on Fish, Macroinvertebrates, Habitat, and Water Quality in the Fox River, Illinois. *North American Journal of Fisheries Management* 25(3): 975-992.
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L. and Parkin, G.F. 2003. *Chemistry for environmental engineering and science* (5th ed.). Boston: Boston : McGraw-Hill.
- Seo, J.I., Chun, K.W., Kim, S.W., Im, S.J. and Damdinsuren, E. 2012. Spatio-temporal Variations in the Dynamics and Export of Large Wood in Korean Mountain Streams. *Journal of Korean Forestry Society* 101(3): 333-343.
- Seo, J.P. and Lee, H.H. 2012. Effects of Debris Barrier on Community Structure and Functional Feeding Groups of the Benthic Macroinvertebrate. *Journal of Korean Forestry Society* 101(3): 480-487.
- Tiessen, K.H.D., Elliott, J.A., Stainton, M., Yarotski, J., Flaten, D.N. and Lobb, D.A. 2011. The effectiveness of small-scale headwater storage dams and reservoirs on stream water quality and quantity in the Canadian Prairies. *Journal of Soil and Water Conservation* 66(3): 158-171.
- Yang, H.J. and Kim, B.I. 2006. The Trend of Water Quality Variations and Correlation between COD & Chl-a Concentration for the Juam Reservoir. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 28(12): 1331-1336.
- Yoon, C.H. 2012. Comparative Analysis on Seasonal Water Quality Factors in Juam Dam. *Journal of Korea Society of Environmental Administration* 18(3): 115-123.
- Zhao, G., Kondolf, G.M., Mu, X., Han, M., He, Z., Rubin, Z., Wang, F., Gao, P. and Sun, W. 2017. Sediment yield reduction associated with land use changes and check dams in a catchment of the Loess Plateau, China. *CATENA* 148: 126-137.

Manuscript Received : May 9, 2019

First Revision : July 16, 2019

Accepted : July 17, 2019