



## 강우시 및 비강우시 수질 모니터링을 통한 도암호 탁수 발생 원인 분석

### Characteristics of Spatial Variability in Water Quality on Stream of Lake Doam Watershed

권혁준<sup>a</sup> · 이재원<sup>b</sup> · 임정하<sup>c</sup> · 우수민<sup>d</sup> · 김종건<sup>e</sup> · 임경재<sup>f</sup> · 김동진<sup>g</sup> · 홍은미<sup>h,†</sup>

Kwon, Hyeokjoon · Lee, Jaewan · Lim, Jungha · Woo, Soomin · Kim, Jonggun · Lim, Kyeongjae · Kim, Dongjin · Hong, Eunmi

#### ABSTRACT

The Doam Lake watershed is one of the non-point source management areas announced by the Ministry of Environment, and is a constant problem for the stream ecosystem due to Storm water. In this study, a total of 48(rainfall) and 47(non-rainfall) sites were investigated for the entire watershed (Samyangcheon, Chahangcheon, Hoenggyecheon, Yongpyeongcheon, Songcheon, Lake Doam) on August 15, 2019 and on October 18, 2019 to estimate the source of turbid water in the Doam Lake watershed. Subsequently, water quality analysis was performed on Suspended Solid (SS), Turbidity, Total Phosphorus (TP), Total Nitrogen (TN), and Biochemical Oxygen Demands (BOD) and correlation among water quality parameters was analyzed based on the analyzed samples. As a result, most of the turbid water generated during rainfall was in highland fields. During rainfall, Hoenggyecheon had the highest average SS concentration among all streams, and during non-rainfall, the average SS concentration was highest in Yongpyeongcheon, so the two stream were selected as vulnerable areas. However, since Yongpyeongcheon may be a temporary phenomenon due to river construction, additional continuous monitoring is required. Therefore, in the Doam Lake watershed, intensive management is required for vulnerable areas.

Keywords: Alpine field; non-point source (NPS); precision monitoring; runoff

#### 1. 서론

최근 이상기후로 인한 여름철 집중호우 발생과 강우강도의 증가로 다량의 토사와 오염물질이 하천으로 유입되어 수질오염을 가중시키고 있다 (Kim et al., 2007; MOE, 2017; Kim et al., 2019). 특히 고랭지 밭에서 비료, 농약 그리고 인 등의 다량의 오염물질이 흡착된 토양이 하천으로 유입되면서 수생태계에 미치는 영향이 크며, 하류의 댐 및 저수지로 이동하여

녹조와 부영양화의 원인으로 작용한다 (MOE, 2017). 고랭지 밭과 같이 급경사에서 이루어지는 경작은 비점오염물질 유출을 가중시키는 주요한 원인이며, 경작지 내의 객토와 비료, 퇴비의 과다한 사용이 큰 문제로 부각되고 있다 (Park et al., 2004; Lee et al., 2006; Park, 2006; Kwak et al., 2012). 이러한 고랭지 밭에서 발생한 오염부하량은 강우 시 평지 밭에서 발생된 오염부하보다 약 3배 높게 나타날 수 있다 (Lee et al., 2017). 도암호 유역은 고랭지 밭에서의 토사 유출과 비점오염 발생에 의한 피해가 지속적으로 나타나는 지역 중 하나로, 강우 시 탁수 발생으로 인하여 2007년 환경부에서는 비점오염원 관리지역으로 지정하였다.

국내 고랭지 밭에서 강우시 발생하는 비점오염물질 유출에 대한 모니터링은 다음과 같이 진행되었다. Choi et al. (2009)은 평지밭과 고랭지밭에서 발생하는 비점오염물질에 대해 비교분석하였다. Park et al. (2011)은 대관령 지역의 고랭지 밭에서 수질과 토양특성 모니터링으로 채소 재배지별 농업환경을 분석하였다. Park et al. (2012)은 도암호 유역에서 고랭지 경작에 의한 하천의 수질특성에 대해 분석하였다. Kwon et al. (2020)은 상류지역의 고랭지 밭에서 발생된 강우유출수가 말단부 하천에 미치는 영향에 대해 연구한 결과 강우유출수에 영향을 미치는 가장 큰 인자는 최대 강우강도와 평균 강우강도라고 하였다. 이러한 고랭지 밭 비점오염원 유출에 대한 저감방안 연구는 Won et al. (2014)에 의해 최적관리기법 (BMP,

<sup>a</sup> Master Course Student, Department of Environment Sciences, Kangwon National University

<sup>b</sup> Undergraduate Student, Department of Environment Sciences, Kangwon National University

<sup>c</sup> Researcher, EM Research Institute

<sup>d</sup> Researcher, EM Research Institute

<sup>e</sup> Assistant Professor, Department of Rural Construction Engineering, Kangwon National University

<sup>f</sup> Professor, Department of Rural Construction Engineering, Kangwon National University

<sup>g</sup> Researcher, Wonju Regional Environmental Management Office

<sup>h</sup> Assistant Professor, School of Natural Resources and Environmental Science, Kangwon National University

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-33-250-8571 Fax.: +82-33-259-5563

E-mail: [eunmi.hong@kangwon.ac.kr](mailto:eunmi.hong@kangwon.ac.kr)

Received: September 24, 2020

Revised: October 13, 2020

Accepted: October 19, 2020

Best Management Practices)인 벚짚거둑과 토양개량제를 적용한 고랭지 경작지에서의 강우유출수량과 오염부하 저감 효율, 작물의 생산성에 대한 연구가 이루어졌다. 또한 이와 더불어 비강우시 하천 모니터링을 통한 수질환경 현황에 관한 연구에서 Choi et al. (1997)은 농업지역의 소유역에서 모니터링을 실시하여 평수기와 갈수기의 하천 수질의 계절과 연간변화를 파악하였다. Kim et al. (2013)은 창원에 위치한 지방하천 두 곳을 모니터링 하여 하천의 생태적 건강성을 진단하였다. Park et al. (2016)은 충청남도에 위치한 하천의 85지점을 대상으로 모니터링하여 수질특성을 분석한 후 우선적 수질개선이 필요한 하천을 선정하였다. 이와 같이 강우시 고랭지 밭 비점 오염원 모니터링과 비점오염원 대책에 관한 최적관리기법 연구, 그리고 비강우시 하천 수질환경 모니터링과 같은 연구들이 다양하게 이루어졌지만, 유역내 하천의 수질을 강우시 및 비강우시로 나눠 세밀하게 조사하여 유역 말단에 위치한 저수지의 탁수 발생 원인을 분석한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구는 대표적 고랭지 농업지역인 도암호 유역에서 탁수 발생원인 분석을 위해 강우와 비강우 시 소하천별 현장 모니터링을 수행하였으며 흙탕물 분석을 위한 지표로 탁도, SS (Suspended Solids), TP (Total Phosphorus), BOD (Biochemical Oxygen Demand), TN (Total Nitrogen) 등 총 5가지 수질 항목 분석을 통해 도암호 유역의 탁수 발생 원인을 분석하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구대상지역

도암호 유역은 행정구역상 대관령면 수하리, 용산리, 황계리, 차항리를 포함하고 있으며, 삼양천, 차항천, 황계천, 용평천, 송천 5개의 소하천으로 구성되어 있다. 도암호 유역의 수계는 상류 지역의 차항천, 삼양천, 황계천이 만나 송천으로 합류되고, 중류에서 용평천이 합류되어 도암호로 유입된다.

도암호 유역의 면적은 148.6 km<sup>2</sup>로 주요 토지이용현황은 Table 1과 같이 산림 98.9 km<sup>2</sup> (66.6%), 초지 24.2 km<sup>2</sup> (16.3%), 도시지역 4.9 km<sup>2</sup> (3.3%), 밭 13.4 km<sup>2</sup> (9.0%), 기타지역 7.2 km<sup>2</sup> (4.9%)로 나타났다. 가장 많은 비율을 차지하는 토지이용은 산림, 초지, 밭 순이며, 이 중 전체 토지 이용의 약 5.3%인 7.9 km<sup>2</sup>가 고랭지 밭이다. 고랭지 밭이 가장 넓게 분포되어 있는 지역은 차항천 유역으로 면적은 2.5 km<sup>2</sup>이다. 이곳에서 행해지는 고랭지 농업은 경사가 가파른 산지에서 이루어지고, 마사토에 의한 객토가 이루어져 토양 유실이 심한 것으로 알려져 있다 (Joo et al., 2007).

### 2. 수질모니터링 및 수질 분석

본 연구에서 강우 모니터링은 태풍 크로사 발생일인 2019년 8월 15일 12-17시 최대 강우강도 발생 시간에 실시하였으며, 비강우 모니터링은 2019년 10월 18일 12-19시까지 진행하였다. 모니터링은 도암호 유역 5개 하천에서 강우 시 48지점, 비강우 시 47지점을 대상으로 수행하였으며, 유역 하류에서 상류방향으로 각 하천 지점의 교각 위에서 채수를 실시하였다. 하천 모니터링 지점은 Fig. 1과 같이 A (삼양천 지점, n=9), B (차항천 지점, n=11), C (황계천 지점, 강우 n=14, 비강우 n=13), D (용평천 지점, n=7), E (송천·도암호 지점, n=7)로 구분하였다. 기상관측자료는 도암호 유역 내에 위치한 대관령 측후소에서 관측된 자료를 바탕으로 일 강수량, 강우 강도, 선행무강우일수를 분석하였으며, 강우 모니터링 시 총 강수량은 90.3 mm, 최대강우강도 16.1 mm/hr, 평균강우강도 2.4 mm/hr, 선행무강우일수는 7.1일로 나타났다. 비강우 조사 시 선행무강우일수는 3.0일이었으며, 10월 3일 107.1 mm의 강우사상 이후 일 강우 10 mm 이상의 강우는 관측되지 않았다.

본 조사에서 채수한 시료는 무균 폴리에틸렌 용기에 채수하여 수질오염 공정시험기준 (2018)에 준하여 분석을 실시하였다. TP은 자외선/가시선분광법을 이용하여 측정하였다. TN은 자외선/가시선분광법-산화법을 이용하여 측정하였다.

Table 1 Land use characteristics in the Doam Lake watershed

Stream	Forest	Glass land	Urban area	Upland field (alpine field)	Etc.	Total
	Area (km <sup>2</sup> )					
Samyang	22.8	9.7	0.7	3.1(1.8)	1.5	37.7
Chahang	18.5	4.5	1.0	4.5(2.5)	1.4	29.9
Hoengye	10.7	2.4	0.7	2.4(1.6)	0.8	16.9
Yong-pyeong	20.6	4.7	1.7	2.5(1.6)	1.3	30.6
Song	26.4	2.9	0.9	0.9(0.4)	2.3	33.5
Total	98.9	24.2	4.9	13.4(7.9)	7.2	148.6

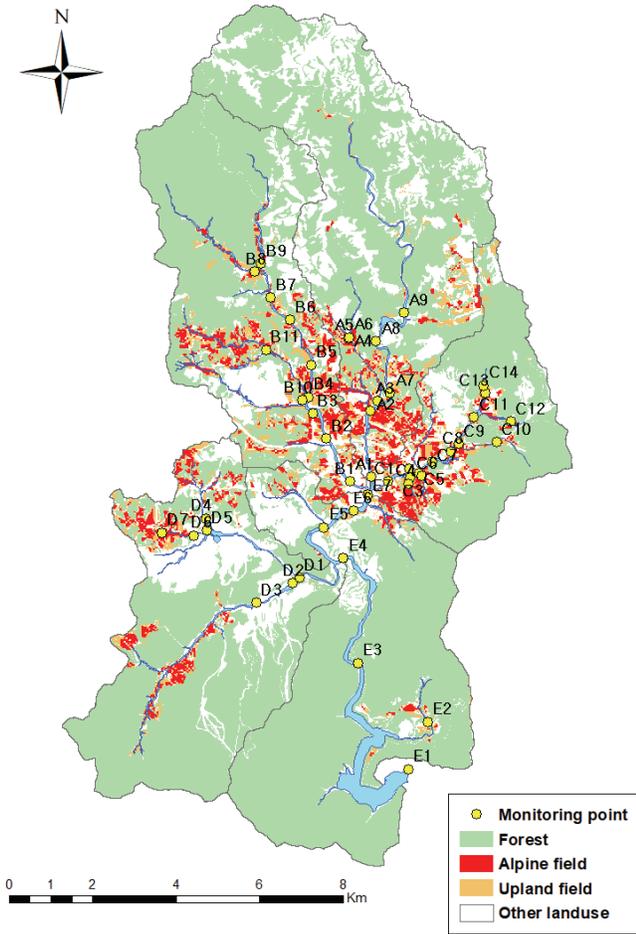


Fig. 1 Monitoring point and land-use in Doam Lake watershed

SS는 시료를 GF/C Filter에 여과 후 105°C에서 건조하여 필터의 여과 전과 후의 무게 차이를 측정하였다. 탁도는 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) 탁도계 (Hach 2100P)를 이용하여 측정하였다. BOD는 20°C에서 산소의 농도 측정하여 5일 후의 산소 농도의 차이를 이용하여 측정하였다.

### 3. 수질모니터링 결과 통계 분석

수질 분석 자료의 통계학적 분석은 SPSS Ver. 24를 이용하였다. 하천에 유입된 토양입자가 기타 수질항목의 농도에 영향을 주는지 파악하기 위해 강우시 탁수시료 48개와 비강우시 47개의 시료에 대해 Pearson 상관관계 분석을 실시하여 r (correlation coefficient)와 p-value를 산정하였다.

## III. 결과 및 고찰

본 연구에서 도암호 유역 소하천별 강우와 비강우시 수질

모니터링 결과는 Fig. 2-3과 같다. 도암호 유역 전체 소하천의 강우시 SS 평균 농도는 732.8 (25.3-2722.0) mg/L로 비강우시 16.1 (0.3-420.0) mg/L 보다 약 46배 높았으며, 표준편차도 강우시 643.1로 비강우시 61.6에 비해 지점별 편차가 컸다. 그중에서도 황계천 (C)은 강우시 SS의 평균농도와 최대농도가 가장 높았으며, 전체 하천 중 SS 500 mg/L 이상인 지점이 가장 많이 분포하였다. 특히 황계천 하류 C3 지점 주변에서 SS 농도가 2,722 mg/L로 매우 높게 나타났다. 현장 모니터링 관찰 결과 이 지역은 밭에서 직접적으로 하천에 강우유출수가 유입되고 있어서 높은 SS의 농도를 보인 것으로 판단된다. 상류의 C10 지점과 C11 지점에서는 A목장과 축산원이 위치해 있었으나 SS 405.6, 612.0 mg/L로 하류인 C3 지점에 비해 낮은 SS 농도를 보였다. 비강우시 SS의 농도는 전체지점 평균 25 mg/L 이하로 양호한 수질 값을 보였으며, 강우시와는 달리 용평천 (D)에서 최대 값을 보였다. 용평천 하류의 A리조트와 골프장 인근 D1-3 지점에서 SS 농도는 36.0, 87.0, 420.0 mg/L로 가장 높았다.

탁도의 경우 강우시 평균 587.1 NTU로 비강우시 13.9 NTU 보다 약 42배 높았으며, 강우시 표준 편차 658.8로 비강우시 표준 편차 62.4 보다 지점별 편차가 컸다. 강우시 탁도는 용평천에서 평균 991 NTU로 가장 높았으며, 최대 값은 SS의 농도가 높았던 황계천과는 달리 삼양천 A5 지점에서 3060 NTU로 가장 높았다. 현장 모니터링시 관찰결과 이 지점에서도 황계천의 높은 탁수가 유입된 곳과 마찬가지로 밭에서 강우유출수가 직접적으로 하천으로 유입되고 있었다. 특히 이 지점은 3060 NTU로 높은 탁도를 나타냈지만, 그에 반해 SS의 농도는 862.0 mg/L로 황계천의 C3 지점과 큰 차이를 보였다. 두 지점에서 재배하는 작물과 토양의 종류와 입자의 크기가 다르기에 각각의 SS 농도와 탁도의 차이를 보였을 것으로 판단된다. 비강우시에는 용평천에서 평균 73 NTU로 소하천 중 가장 높았다. 강우와 비강우시 토사에 의해 높아진 SS와 탁도의 증가로 두 항목의 상관성 분석결과 0.994, 0.626으로  $p < 0.01$  수준에서 양의 상관관계를 나타냈다.

TP의 경우 강우시 전체 유역 평균 0.428 (0.063-1.432) mg/L, 표준 편차 0.337로 하천수 수질환경기준 약간 좋음 (0.1 mg/L 이하)~매우나쁨 수준 (0.5 mg/L 초과)을 보였으며 최대 값은 용평천에서 나타났다. 비강우시에는 평균 0.051 mg/L, 표준 편차 0.105로 강우시에 비해 평균 약 8.4배, 편차 약 3배 낮았으며, 수질등급은 약간좋음 수준 (0.1 mg/L 이하)으로 비교적 양호한 수질이였다. 황계천 (C) 중류 C6, C7와 용평천 (D) 하류 D1 지점을 제외한 전체지점에서 모두 0.1 mg/L 이하의 농도 값을 보였다. 하지만 황계천과 용평천 일부 지점에서는 보통 (0.2 mg/L 이하)~매우나쁨 (0.5 mg/L 초과) 등급으로

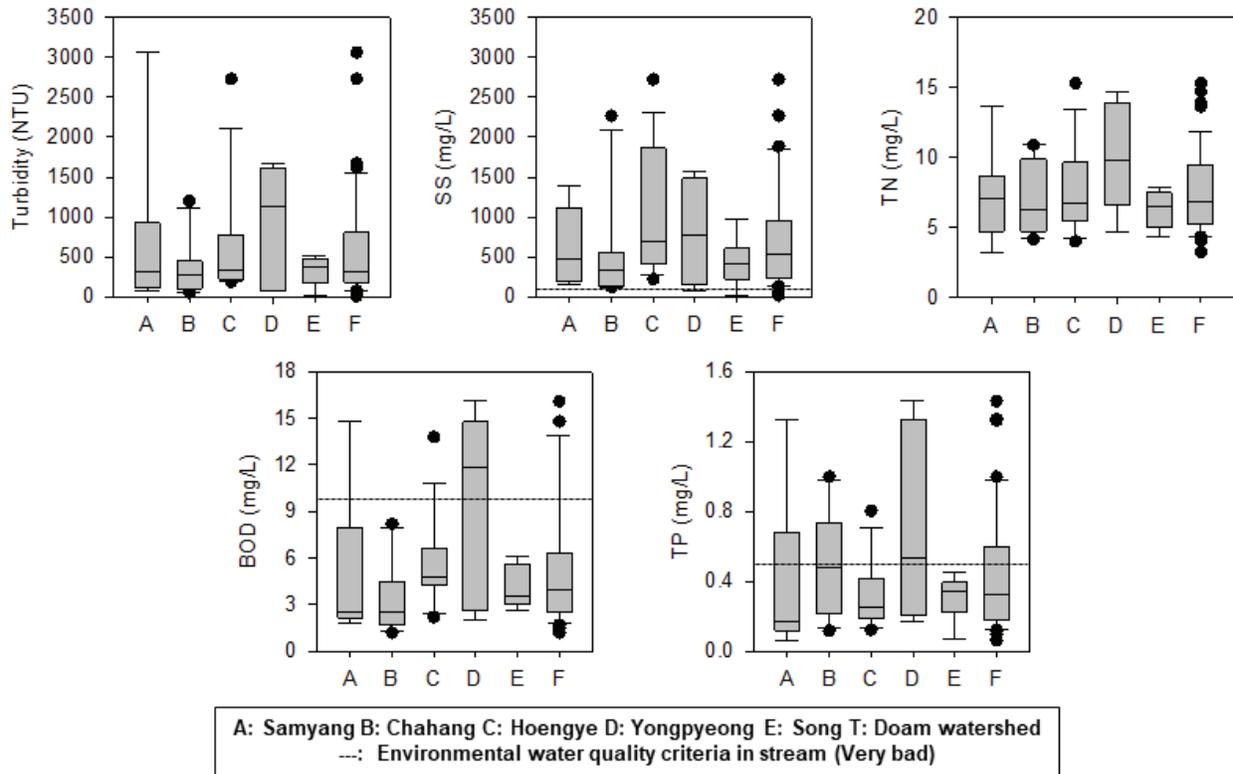


Fig. 2 Box plots of water quality parameters in the Doam Lake watershed during rainfall

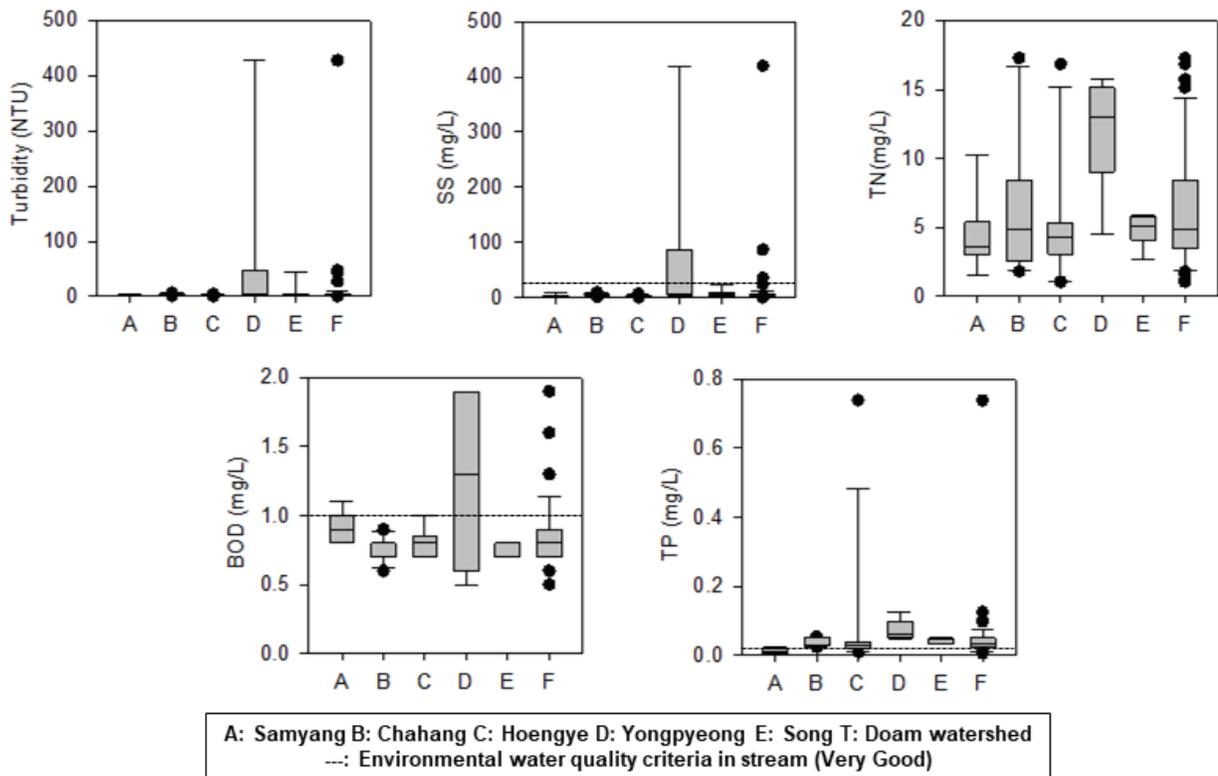


Fig. 3 Box plots of water quality parameters in the Doam lake watershed during non-rainfall

**Table 2** Analysis of pearson correlation between water quality parameter in rainfall and non-rainfall

Event	Parameter	SS	Turbidity	TP	TN	BOD
Rainfall (N=48)	SS	1	0.626*	0.434*	0.572*	0.604*
	Turbidity	-	1	0.571*	0.772*	0.732*
	TP	-	-	1	0.721*	0.787*
	TN	-	-	-	1	0.713*
	BOD	-	-	-	-	1
Non-rainfall (N=47)	SS	1	0.994*	0.073	0.089	0.647*
	Turbidity	-	1	0.071	0.084	0.607*
	TP	-	-	1	0.446*	0.084
	TN	-	-	-	1	0.090
	BOD	-	-	-	-	1

\*: significant at p<0.01

강우 유출수와 비슷한 농도 값을 보였다. TP와 SS의 상관성 분석결과 강우시 상관계수는 0.434로 p<0.01 수준에서 양의 상관관계를 보였으며 (Table 2), 토사에 흡착된 인이 수계로 유입되어 양의 상관관계를 보인 것으로 판단된다. 토사 유출이 적은 비강우시에는 두 항목간 상관계수는 0.073으로 유의성이 없다고 분석되었다.

TN의 농도는 강우시 7.5 (3.24-15.29) mg/L, 표준 편차 3.0, 비강우시에는 6.3 (1.07-17.29) mg/L, 표준 편차 4.4로 나타났다. 평균 농도는 강우시와 비강우시에 유사하였으나, 표준 편차와 최대 농도는 강우시와 비교하여 비강우시에 약 1.2배 높았다. 특히 강우와 비강우시 황계천의 C6 지점에서는 15.29, 16.84 mg/L로 매우 높았다. 강우시 SS와 TN 항목간 상관계수는 0.572로 p<0.01에서 유의성을 보였지만, 토사 유출이 적었던 비강우시에는 두 항목간 유의성은 나타나지 않았다. 하지만 강우와 비강우시 모두 TN이 높게 검출된 것으로 보아, 강우시 두 항목간의 나타난 유의성은 유의미한 결과 값이라고 판단하기 어려웠다. 본 연구대상지의 본래 기저유출에 포함된 TN의 농도가 높아 강우와 비강우시 모두 높게 나타났을 것이라고 판단된다.

BOD의 농도는 강우 시 5.3 (1.2-16.1)mg/L, 표준 편차 4.0으로 좋음 (2 mg/L 이하)~매우나쁨 수준 (11 mg/L 이하), 비강우시에는 평균 0.9 (0.5-1.9) mg/L, 표준 편차 0.3으로 다소 낮게 나타났으며, 수질기준은 매우좋음 수준 (1 mg/L 이하)이었다. 두 모니터링 간의 농도 차이는 강우시 약 6배 더 높았다. 강우시 BOD 10 mg/L 이상을 나타낸 곳은 삼양천 상류 (A5-6), 황계천 중류 C6, 용평천 상류 (D4-7) 총 7지점이었다. 비강우 시 BOD의 경우 하천공사가 진행되고 있던 용평천 (D) 하류의 D1-3 지점에서 BOD 1.5 mg/L 이상으로 나타났으며, 강우시와 비강우시 BOD의 평균 농도와 최대 농도는 전체 하천 중 용평천에서 가장 크게 나타났다. BOD와 SS간 상관관계는 강우시 0.604, 비강우시 0.647로 모두 양의 상관관계를 보

였다. 강우시 두 수질항목은 비료나 퇴비 등의 다량의 유기물이 흡착된 토사 유출로 하천 내 유기물 증가와 더불어 BOD의 농도도 증가하여 두 항목간에 상관관계를 보인 것으로 판단된다. 또한 비강우시에도 양의 상관관계를 보였으나 토사 유출이 적었으며, 두 항목간 증감의 뚜렷한 패턴을 볼 수 없었다. 낮은 SS와 BOD의 농도로는 두 항목간 유의미한 결과 값이라고 판단할 수 없었다.

소하천별 분석을 진행했을 때 강우시 취약지점은 황계천, 비강우시에는 용평천으로 분석되었다. 강우시에는 모든 하천에서 탁수 유출이 있었지만, 그중에서도 황계천 (C)에서는 상류 C13, C14 두 지점을 제외하고 모든 지점에서 SS 400 mg/L 이상이었으며, 하류지역에서는 SS 1,600 mg/L 이상인 지점이 전체 하천 중 가장 많이 분포하였다 (Fig. 4). 또한 하류 C3 지점에서 고령지 발의 배수로에서 배출되는 고농도 탁수가 하천으로 직접적으로 유입되었으며, 유역 전체 지점 중 가장 높은 SS와 TP, TN 농도를 보였기에 황계천 (C)을 취약지점으로 선정하였다.

비강우시에는 대부분의 지역에서 SS 25 mg/L 이하로 양호한 수질 값을 보였으나, 용평천에서는 지류를 제외하고 중·상류 지역에서 SS 25 mg/L 이상의 농도 나타났다. 그중 용평천 지류의 상류 A리조트 부근에서는 100 mg/L 이상의 농도를 보였다 (Fig. 5). 또한 현장 모니터링 시 D3 지점에서는 하천공사 진행 중이었으며, 하류 지역인 D1-2 지점에서도 D3 지점의 영향으로 SS의 농도가 높게 검출되었다. 황계천에서는 C3 지점 외에도 비강우시 C6 지점에서 토사 유입이 관찰되지 않았지만, TP와 TN의 농도가 16.84, 0.739 mg/L로 강우 유출수와 비슷한 농도로 관찰되었다. 이곳은 발의 바로 옆에 위치한 하천으로 강우 시에도 SS와 TP의 농도가 높게 나타난 곳이다. 육안 모니터링시 이곳은 나지 상태의 발이었으나 주변의 유입되는 물이나 토사는 관찰할 수 없었다. 또한 C6 지점의 상류 부근인 C7 지점에서도 0.1 mg/L로 평시 하천에서 발생된

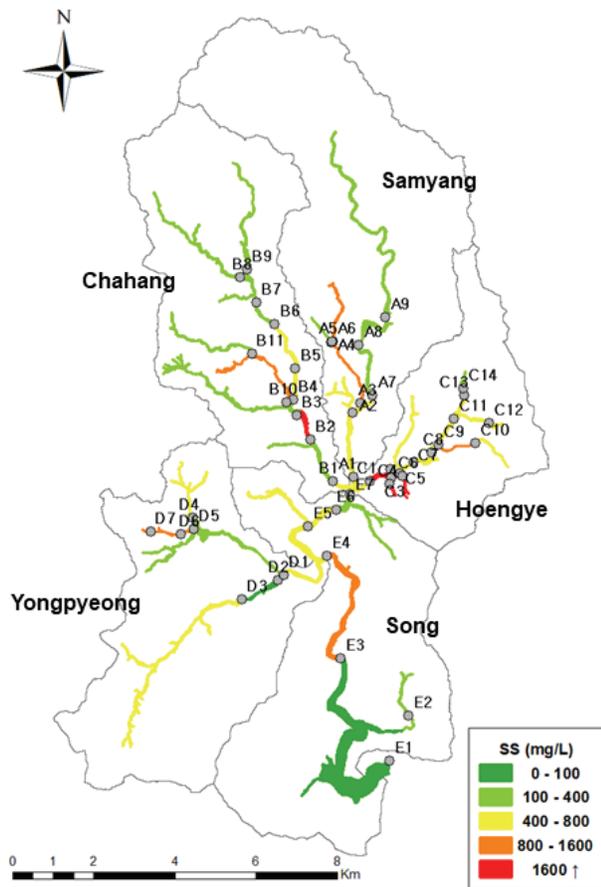


Fig. 4 Distribution map of SS concentration in the Doam lake watershed during rainfall

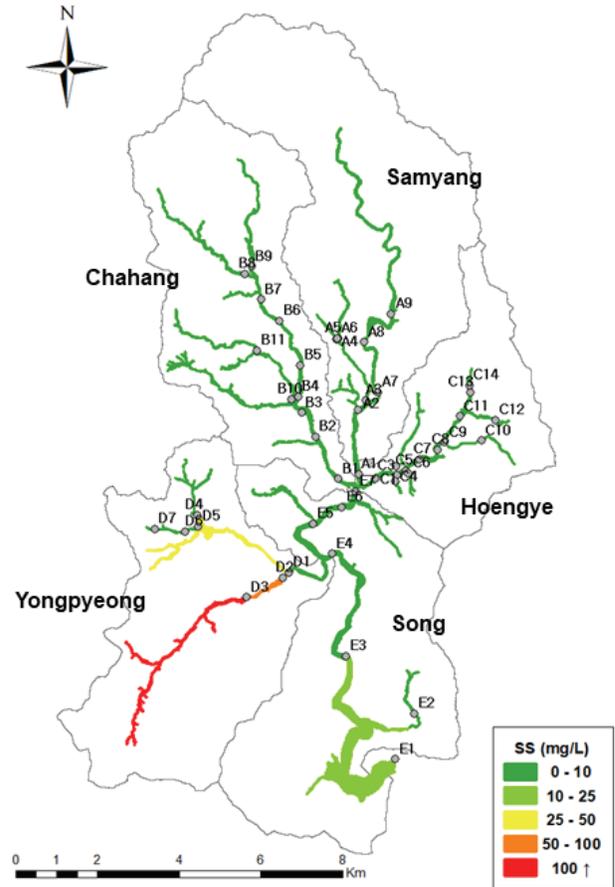


Fig. 5 Distribution map of SS concentration in the Doam lake watershed during non-rainfall

TP의 농도에 비해 높게 나타났다. 2019년 6월부터 2020년 5월 까지 황계천 비강우 수질조사 시에도 원인을 알 수 없는 탁수가 흘렀으며 TP와 SS도 높게 검출되었다. 하지만 뚜렷한 원인은 찾지 못하였다. 다음과 같은 분석결과로 본 연구에서는 비강우시 높은 SS의 농도를 나타냈던 용평천 (D)과 높은 영양염류의 농도를 나타냈던 황계천 (C)를 비강우시 취약지역으로 선정하였다. 하지만 용평천의 경우에는 일시적으로 하천공사로 인해 탁수 유출이 생긴 것으로 판단되나, 하천공사가 끝난 뒤에 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

2017년 기준 도암호 유역에서의 비점오염원 저감사업은 주로 구조적 시설물이 설치되어있으며, 말목장이 위치하는 삼양천과 차향천 유역에 집중적으로 설치되었다 (MOE, 2017). 본 연구에서 강우시 취약지역으로 분석된 황계천에는 주로 상류지역에 들쭉기와 중·하류에 수로가 위치해있다. 하지만 설치된 저감시설에 비해 효과는 미미하다. 따라서 우선적으로 탁수 발생원에서 경사도, 토양 상태, 토지이용, 밭의 경우 파종된 작물의 종류에 따른 최적관리기법의 적용이 필

요하다. 또한 밭에서 발생하는 오염부하를 줄일 수 있는 벚짇 거적과 토양개량제 (Shin et al., 2013) 등의 비구조적 저감기법 적용이 동반되어야 할 것으로 예상된다.

#### IV. 결론

본 연구는 비점오염원 관리지역 중 하나인 도암호 유역에서 탁수 발생원인 분석을 위해 삼양천, 차향천, 황계천, 용평천, 송천 총 5개의 소하천에서 강우 시 48지점 비강우 시 47지점에 대해 모니터링을 실시하였다. 이후 SS, 탁도, TP, TN, BOD 다섯 개의 항목에 대한 수질분석을 하였으며, 이후 강우와 비강우 시 지점별 농도 비교와 수질항목간 상관성 분석을 통해 하천에 유입된 토양입자가 기타 수질항목의 농도에 영향을 주는지 알아보았다.

강우시 수질항목 농도는 비강우시보다 지역별 편차가 크게 나타났다. 수질항목간 상관관계 분석결과 강우시 SS와 탁도 TP, TN, BOD 항목에서, 비강우시에는 SS와 탁도, BOD간

$p < 0.01$  수준에서 유의성을 보였다.

소하천유역 분석결과 강우시 황계천 (C)에서는 두 지점을 제외하고 모든 지점에서 SS 400 mg/L 이상이였으며, 하류지역에서는 SS 1,600 mg/L 이상인 지점이 전체 하천 중 가장 많이 분포하였다. 또한 황계천의 C3 지점에서는 전체 하천중 강우시 SS, TP, TN이 가장 높게 나타났다. 비강우시에는 대부분의 지역에서 SS 25 mg/L 이하의 양호한 수질을 보였으나, 용평천 (D)에서는 하천공사로 인해 일부지역에서 25 mg/L 이상의 농도를 보였다. 따라서 강우시에는 황계천 (C), 비강우시에는 용평천 (D)을 취약지역으로 선정하였으나, 비강우시에는 하천공사로 인해 일시적인 현상일 수 있으므로 지속적인 모니터링을 통한 관찰이 필요하다.

도암호 유역에서는 취약지역을 대상으로 경사도, 토양상태, 토지이용, 밭 작물, 지역적 특성 등을 고려한 효율적인 최적관리기법의 적용이 필요하다고 판단되며, 본 연구의 결과는 비점오염원 저감방안 및 대책 수립과 주변 비점오염원 저감시설의 효율성과 문제점, 비점오염원 집중 관리지역 선정에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

## 감사의 글

본 논문은 원주지방환경청의 남·북한강 상류 수계 흙탕물 및 수질오염원인 파악을 위한 정밀조사와 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020003050001).

## REFERENCES

- Choi, J. D., Y. H. Choi, and C. M. Lee, 1997. Water quality changes of small stream in two rural watersheds. *Korean National Committee on Irrigation on and Drainage* 4(2): 25-37 (in Korean).
- Choi, Y. H., C. H. Won, J. Y. Seo, M. H. Shin, H. J. Yang, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2009. Analysis and comparison about NPS of plane field and alpine field. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(5): 682-688 (in Korean).
- Joo, J. H., Y. S. Jung, J. E. Yang, Y. S. Ok, S. E. Oh, K. Y. Yoo, and S. C. Yang, 2007. Assessment of pollutant loads from alpine agricultural practices in Nakdong River basin. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 26(3): 233-238 (in Korean). doi:10.5338/KJEA.2007.26.3.233.
- Kim, H. H., J. H. Park, J. Y. Hwang, H. D. Kang, and G. S. Jung, 2013. Water quality and ecological monitoring of the Gaeumjeongcheon and Bansongsohacheon stream in the city of Changwon. *Journal of Agriculture and Life Science* 47(5): 73-82 (in Korean).
- Kim, J. K., J. S. Choi, Y. S. Jang, K. Y. Lee, and B. C. Kim, 2007. Effect of turbid water on fish community: Case studies of the Daegi stream and Bong-san steam. *Korea Journal of Ecology and Environment* 40(3): 459-467 (in Korean).
- Kim, J. K., S. I. Lee, B. K. Park, C. H. Won, D. H. Kum, and J. D. Choi, 2019. Analysis of flow rate-SS discharges characteristics and causes during rainfall season in Daegi-cheon Watershed. *Journal of Wetlands Research* 21(1): 9-15 (in Korean). doi:10.17663/JWR.2019.21.1.009.
- Kwak, S. J., B. D. Bhattarai, E. J. Kim, C. K. Lee, H. J. Lee, and W. M. Heo, 2012. Characteristics of non-point pollution discharge on stormwater runoff from Lake Doam watershed. *Korean Journal of Ecology and Environment* 45(1): 62-71 (in Korean).
- Kwon, H. J., J. G. Kim, K. J. Lim, D. J. Kim, and E. M. Hong, 2020. Determination of EMC and MFFn rainfall runoff in Songcheon, Doam Lake watershed. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 62(4): 13-22 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2020.62.4.013.
- Lee, J. T., G. J. Lee, Y. S. Zhang, S. W. Hwang., S. J. Im, C. B. Kim, and Y. H. Mun, 2006. Status of fertilizer application and soil management for major vegetable crops in farmers fields of alpine area. *Korea Journal of Soil Science and Fertilizer* 39(6): 357-365 (in Korean).
- Lee, S. I., J. Y. Shin, M. H. Shin, S. H. Joo, J. Y. Seo, W. J. Park, J. Y. Lee, and J. D. Choi, 2017. Characteristics of non-point pollutant runoff in highland field fields through long-term monitoring. *Journal of the Korean Society of Agricultural* 59(4): 85-96 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2017.59.4.085.
- MOE, 2017. Non-point pollution source management area monitoring and evaluation program.
- Park, D. S., T. H. Kim, S. S. Kim, S. M. Lee, S. M. Kim, and J. H. Hur, 2004. Monitoring of pesticide residues at alpine and sloped-land in Gangwondo, Korea. *The Korean Journal of Pesticide Science* 8(3): 189-197 (in Korean).
- Park, H. K., 2006. Environmental damages and control measures by highland agriculture-study on system improvement. M.S, diss., Chuncheon, Ind.: Kangwon National University.

14. Park, K. H., B. S. Kim, H. J. Yun, K. Y. Ryu, J. C. Yun, J. Y. Choi, K. D. Kim, and Y. I. Jin, 2012. Characteristics of water quality at main streams and Lake Doam in Daegwallyeong area. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 45(6): 882-889 (in Korean). doi:10.7745/KJSSF.2012.45.6.882.
15. Park, K. H., H. J. Yun, K. Y. Ryu, J. C. Yun, J. J. Lee, H. A. Hwang, K. D. Kim, and Y. I. Jin, 2011. The monitoring of agricultural environment in Daegwallyeong area. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 44(6): 1027-1034 (in Korean). doi:10.7745/KJSSF.2011.44.6.1027.
16. Park, S. H., H. S. Kim, B. U. Cho, E. H. Moon, and J. H. Choi, 2016. Watershed management plan through water quality monitoring for main branches of 4 water systems in Chungcheongnamdo. *Journal of Korean Society on Water Environment* 32(2): 163-172 (in Korean). doi:10.15681/KSWE.2016.32.2.163.
17. Shin, M. H., J. R. Jang, H. J. Shin, D. H. Kum, Y. H. Choi, C. H. Won, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2013. Application of surface cover materials and soil amendments for reduction of non-point source pollution from upland fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(4): 21-28 (in Korean). doi: 10.5389/KSAE.2013.55.4.021.
18. Won, C. H., M. H. Shin, S. I. Lee, D. H. Kum, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2014. Effects of surface cover and soil amendments on the NPS load reduction from alpine fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(3): 47-53 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2014.56.3.047.