



도암호 유역의 융설에 의한 수질 변화 모니터링

Water Quality Monitoring by Snowmelt in Songcheon, Doam Lake Watershed

권혁준^a · 홍다혜^b · 변상돈^c · 임경재^d · 김종건^e · 남창동^f · 홍은미^{g,†}

Kwon, Hyeokjoon · Hong, Dahye · Byeon, Sangdon · Lim, Kyoungjae · Kim, Jonggun · Nam, Changdong · Hong, Eunmi

ABSTRACT

The Doam Lake Watershed is one of Gangwon-do's non-point source management areas. This area has a lot of snowfall in winter, and it is expected that there will be a lot of soil erosion in early spring due to snow melting. In this study, snow melting was monitored in the Doam Lake watershed from February to 3, 2020. It was conducted to analyze the water quality changes by calculating the concentration of non-point source pollution caused by snowmelt, and to compare the concentration of water quality during snowmelt event with rainfall and non-rainfall event. As a result of water quality analysis, Event Mean Concentration (EMC) at the first monitoring was SS 33.9 mg/L, TP 0.13 mg/L, TN 4.33 mg/L, BOD 1.35 mg/L, TOC 1.84 mg/L. At the second monitoring, EMC were SS 81.3 mg/L, TP 0.15 mg/L, TN 3.12 mg/L, BOD 1.32 mg/L, TOC 3.46 mg/L. In parameter except SS, it showed good water quality. It is necessary to establish management measures through continuous monitoring.

Keywords: Alpine field; Doam Lake watershed; EMC; NPS; snowmelt monitoring

1. 서론

수질오염원은 도시와 공장 등에서 발생하는 점오염원과 주로 강우시 도시와 농촌지역에서 흘러나온 빗물 유출수와 같은 임의 장소에서 발생하는 비점오염원으로 구분할 수 있다 (Lee and Kim, 2019). 수질오염의 주 원인인 비점오염원은 오염발생량과 배출특성의 파악이 어려우며, 발생량이 매우 불규칙하고, 시간에 따른 부하량의 변동폭이 큰 특성을 가지고 있다 (Kim et al., 2008b). 그중 강우시 농경지에서 토양유실로 인한 탁수발생은 하천의 수생태계와 상수원 수질관리에 가장

큰 영향을 미치는 중요한 인자이다 (Choi et al., 2014).

수질환경보전법 제54조 1항에 의하면 환경부에서는 비점오염원에서 유출되는 강우유출수로 인하여 하천·호소 등의 이용목적, 주민의 건강이나 재산, 자연생태계가 중대한 위해가 발생하거나 발생할 우려가 있는 지역에 대해 관리지역으로 지정한다. 강원도는 전국에서 가장 양호한 수질을 보이나, 비점오염원 관리지역인 소양강과 남한강 상류에서의 토양유실로 하천과 호소의 수질 및 수생태계 부정적 영향을 미치고 있으며, 2020년을 기준으로 최근 10년간 저감사업으로 2천 억원이 투자되었으나 토사유출은 지속되고 있다 (RIG, 2020).

강우시 발생된 탁수에는 주로 다량의 영양염류와 유해물질이 포함되어 유출되며 (Kwon et al., 2020), 수계 내 직접적으로 빗을 저해하고 BOD (Biochemistry Oxygen Demand)에 변화를 주어 수서곤충과 저서성무척추동물 군집에 영향을 준다 (Lida et al., 2012). 특히, 겨울철 적설에 의한 융설은 강우 못지않게 비점오염물질 유출의 문제를 야기시킬 수 있다 (Choi et al., 2012a; Wu et al., 2018). 강우의 경우 지하로 침투하여 지하수를 형성하고 포화상태가 되면 지표유출로 하천 유출량에 영향을 미치지만, 강설은 기온의 상승에 서서히 녹아 하천 유출량에 영향을 미치는 특징을 가지고 있기에 다른 유출 특성으로 하천에 미치는 영향은 서로 다를 것이다 (Kim et al., 2008a).

국내에서 농경지 비점오염원에 관한 연구는 주로 강우 유출수 모니터링 및 분석 연구가 진행되었으며 (Joo et al., 2007;

^a Ph.D. Course Student, Interdisciplinary Graduate Program in Environmental and Biomedical Convergence, Kangwon National University

^b Researcher, K-ECO

^c Master Course Student, Interdisciplinary Graduate Program in Environmental and Biomedical Convergence, Kangwon National University

^d Professor, Department of Rural Construction Engineering, Kangwon National University

^e Assistant Professor, Department of Rural Construction Engineering, Kangwon National University

^f Researcher, Korea Rural Community Corporation Gangwon Regional Headquarter

^g Assistant Professor, School of Natural Resources and Environmental Science, Kangwon National University

[†] Corresponding author

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

E-mail: eunmi.hong@kangwon.ac.kr

Received: March 17, 2021

Revised: April 28, 2021

Accepted: April 28, 2021

Park et al., 2012; Lee et al., 2017; Kwon et al., 2020), 겨울철 용설시 수질 모니터링 연구는 강우 시 발생하는 비점오염물질 모니터링 연구에 비해 다소 적다 (Choi et al., 2012a). Kim et al. (2007)은 SWAT 모형을 이용하여 쌍천 유역의 장기유출 특성을 분석하였으며, Kim et al. (2014)는 SWAT 모형으로 충주댐 유역에서의 용설의 영향과 댐유입량에 미치는 영향을 연구하였다. Choi et al. (2012a)은 도암호 유역 송천에서 용설에 의한 수질 농도를 정량화하였으며, 용설로 발생하는 유출수 농도는 여름철 강우시 발생하는 유출수 농도와 비슷하다고 하였다. Choi et al. (2012b)는 대관령 지역 소하천에서 용설과 강우시 발생하는 비점오염부하를 비교하였으며, 용설 유출농도와 비슷하게 나타난 강우사상을 제시하였다.

해외에서 이루어진 연구 결과로는, 용설 기간 농경지에서 SS (Suspended Solids)와 P (Phosphorus)의 이동은 겨울철 기온과 강수량, 눈 덮힘 상태, 토양의 동결 상태 조건에 따라 달라지며, 고농도 인을 포함한 유출수는 수질저하와 수생생물의 다양성을 감소시킬 수 있다고 하였다 (Su et al., 2011). Tanasienko et al. (2011)의 연구결과, 용설 초기 부유물질의 전체 유출량 중 34%가 용설초기와 후기에 발생했다. Iida et al. (2012)의 연구결과, 용설 기간 일 평균 SS의 농도는 평시보다 용설기간 동안 6-7배 높게 분석되었다. Wu et al. (2018)은 고지대에서 용설로 인해 발생하는 유출이 강우시 발생하는 유출보다 지표유출이 더 컸다. 이처럼 해외에서는 용설로 인한 수질오염 연구에 대해 다양한 연구가 이루어졌지만 국내

에서는 주로 강우시 비점오염물질로 인한 수질오염 연구가 주를 이루며, 용설 비점오염 연구는 대부분 모형을 사용하여 해석한 연구이다. 용설 유출에 의한 수질을 직접적으로 현장에서 일정한 시간간격으로 수집한 시료에 대해 분석하여 비교 및 해석한 연구는 부족하다.

따라서 본 연구에서는 고랭지 밭에서 발생하는 탁수로 인해 비점오염원관리지역으로 지정된 도암호 유역에서 2020년 2월부터 3월까지 2회 용설 모니터링을 실시하였다. 이에 따라 용설로 발생하는 비점오염물질의 농도를 유량기중평균농도로 산정하여 여름철 발생하는 비점오염물질 농도와 평시 하천에서의 농도와 비교하였으며, 겨울철 도암호 유역 송천에서의 용설로 인한 수질 변화를 알아보았다. 본 연구의 자료는 용설 유출에 적합한 최적관리기법 개발에 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지

본 연구는 강원도 평창군 대관령면에 위치한 도암호 유역 송천에서 수행되었다. 도암호 유역의 주요하천으로는 상류에서 하류까지 흘러가는 송천과 지류인 차향천과 횡계천이 위치하며, 중류에는 용산천이 위치한다. 송천은 도암호 유역 상류 황병산에서 발원하여 도암호까지 이어지는 도암호 유역의

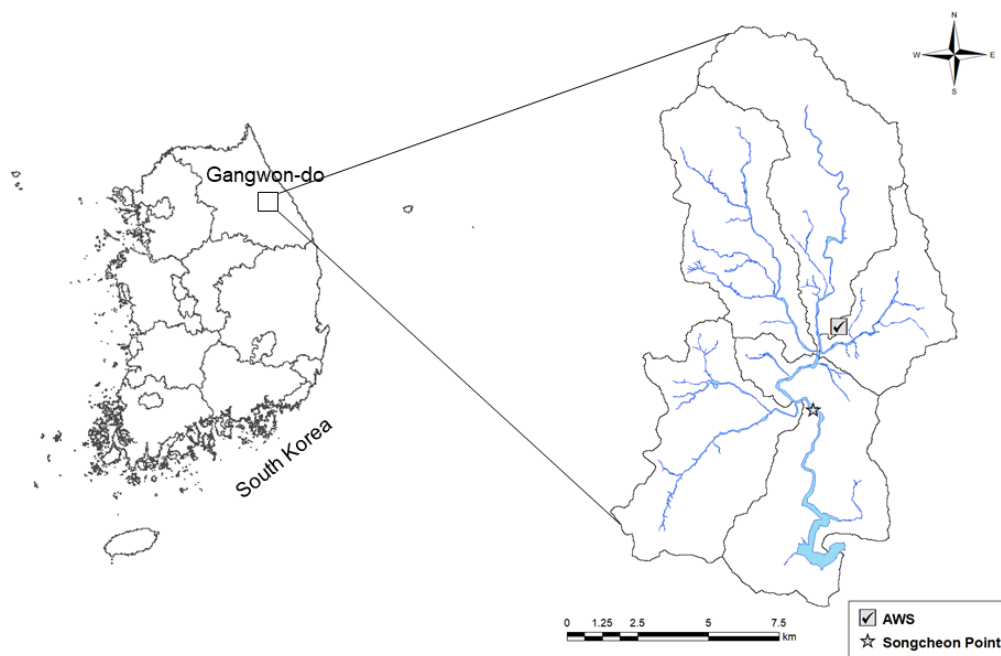


Fig. 1 Monitoring point in Doam Lake watershed

중심 하천이다. 도암호 유역의 면적은 148.6 km² 이며, 주요 토지이용은 산림이 98.9 km² (66.6%), 초지 24.2 km² (16.3%), 농업지역 14.0 km² (9.4%), 시가화/건조지역 4.9 km² (3.3%) 기타 6.7 km² (4.5%)로 구성되어 있다. 그중 밭은 13.4 km²로 유역면적의 약 9%를 차지하며, 고랭지 밭은 7.9 km² (5.3%)로 분석되었다. 대관령지역은 고산기후에 속하며 2019년 기준 연평균 기온은 12.3℃이며 연 강수량은 1,198.5 mm 이다. 기후자료는 기상청 대관령측후소 자료를 사용하였으며 모니터링 지점으로부터 북동쪽으로 약 3.0 km 떨어진 곳에 위치하고 있다. 모니터링은 송천 중류로 유입되는 지류인 용산천이 유입되는 곳의 약 500 m 떨어진 곳에서 실시하였다 (Fig. 1).

2. 현장모니터링 및 분석방법

본 연구에서는 도암호 유입 전, 유역 하천 말단인 송천에서 강설 후 기온이 영상으로 상승하는 시기를 고려 2020년 2월 27일부터 3월 4일까지, 2020년 3월 20일부터 23일까지 두 번 모니터링을 실시하였다. 시료 채취는 ISCO 3700 자동채수기를 이용하여 2-4시간 간격으로 6-12개 시료를 1 L씩 채수를 실시하였다. 채취한 시료는 무균채수병에 담아 아이스박스에 보관 후 실험실로 운반하여 SS, 탁도, TP (Total Phosphorus), TN (Total Nitrogen), BOD, TOC (Total Organic Carbon) 항목에 대해 수질오염공정시험기준 (2018)에 의거하여 분석하였다. SS는 GF/C 유리섬유지에 시료를 여과한 후 105℃에서 건조하여 시료 여과 전과 후의 무게 차이를 계산하였다. 탁도는 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) 탁도계 Hach 2100P를 이용하여 측정하였다. TP는 자외선/가시선분광법으로 분석하였다. TN은 자외선/가시선분광법-산화법으로 분석하였다. BOD는 BOD bottle에 시료를 담아 20℃에서 5일간 배양 후 배양 전과 후의 용존산소량의 차이를 계산하였다. TOC는 고온연소산화법으로 분석하였다 (Table 1).

용설 시 유출량 산정을 위해 OTT thalimedes 수위계를 이용하여 5분 간격으로 하천의 수위를 측정하였다. 이후 Kwon et

al. (2020)가 사용한 수위-유량 산정식을 사용하여 용설시 유출량을 산정하였다.

3. 기상자료 및 수질데이터 수집

본 연구에서 활용한 기상자료는 기상청 기상자료개방포털의 종간기상관측 (ASOS) 자료를 활용하여 1991년부터 2020년까지의 대관령지역의 평균 기온데이터를 분석하였다. 적설량은 기상자료개방포털에서 누적적설량으로 제공하기에 일적설량으로 환산하여 나타냈다. 용설시 수질 데이터의 수집은, 동일한 지역에서 연구된 Choi et al. (2012a, 2012b)의 연구 자료를 활용하였으며, 강우시 수질데이터는 MOE (2014)의 유량가중평균농도 자료를 참고하였다.

4. 유량가중평균농도

평균농도를 산정하는 가장 간단한 방법인 산술평균농도는 시간간격이 일정한 경우, 타당한 평균농도로서 제시될 수 있지만, 비점오염원 유출은 실시간으로 변화되는 유출량과 농도의 변화가 있을 뿐만 아니라 샘플 채취가 일정한 간격으로 이루어지지 않아 산술평균에 의한 평균농도는 대표성을 갖지 못하는 단점이 있다 (Kim et al., 2002; Kim et al., 2008b). 이러한 문제점으로 강우유출수 오염물질 농도 산정시 유량가중평균농도 (EMC, Event Mean Concentration)를 사용하는데, 유량가중평균농도는 하나의 강우사상에서의 누적오염부하량에 대한 누적유량으로 강우사상을 대표하는 수질농도로 사용할 수 있다. 강우시 발생하는 오염물질의 농도는 유량에 따라 큰 차이를 보이는데 (Kim et al., 2008b), 본 연구의 용설모니터링 시에도 다량의 오염물질이 유출될 때 유량의 변동이 생기기에, 강우시 사용되는 유량가중평균농도를 바탕으로 오염물질 농도를 산정하였다. 비점오염물질의 유출농도는 유량변화에 따라 농도변화가 크게 변하기에 본 연구에서는 유량가중평균농도를 바탕으로 비점오염물질농도를 산정 하였다 (Shin et al., 2007).

Table 1 Measurement method by water quality parameters

Analysis and Measurement Parameter	Measurement Method
SS	Glass fiber filtration method
Turbidity	Measured with NTU (Nephelometric Turbidity Unit)
TP	UV/Vis Spectrophotometric method
TN	UV/Vis Spectrophotometric method (oxidation method)
BOD	Electrode method using a DO meter (BOD ₀ -BOD ₅)
TOC	High-temperature combustion method
Sampling	Using the ISCO 3700 auto-sampler (interval at 2-4 hours)
Water-level	Using the OTT thalimedes water level meter (interval at 5 minutes)

$$EMC = \frac{\sum Q_i \times C_i}{\sum Q_i} \quad (1)$$

여기서, Q_i 는 i 번째 모니터링 시 유량 (m^3)이며, C_i 는 i 번째 시료 채취시 수질 농도 (mg/L), i 는 모니터링시 샘플링한 시료의 번호이다.

III. 결과 및 고찰

1. 도암호 유역 기상 변화

2019년 도암호 유역이 위치하고 있는 대관령지역의 기온 변화는 Fig. 2와 같다. 모니터링 기간인 2020년 2월과 3월의 평균기온은 -2.7과 2.1°C이며 1990년부터 2019년까지의 2월과 3월 평균기온인 -4.7과 0.3°C를 비교했을 때 모두 2020년에

높았다. 평균최고기온 또한 2020년 2월과 3월에 1.9와 3.0°C 높았으며, 평균최저기온은 1.5와 0.5°C 더 높게 나타났다. 1차 모니터링 시 일 평균기온은 -2.5-1.0°C 였으며, 일 최고기온은 모두 영상을 보였고, 3월 1일에 6.9°C로 가장 높았다. 2차 모니터링시 일 평균기온은 1.8-3.8°C로 모두 영상이었으며, 일 최고기온은 8.9-16.3°C로 모니터링 중간 시기인 3월 21일에 가장 높았다 (Table 2).

대관령지역에서의 2019년 11월부터 2020년 4월까지 누적 적설량은 106.9 cm이다. 기존의 2017-2018년, 2018-2019년에는 164.0, 155.8 cm로 2019-2020년 누적적설량보다 다소 높았다. 첫 번째 모니터링인 2020년 2월 27일 모니터링 시 적설량은 24.3 cm으로 겨울철 전체 강설 중에 가장 많은 적설량을 보였다. 모니터링은 2월 25일 강설 발생 약 2일 후에 실시하였다. 두 번째 모니터링인 3월 22일 적설량은 11.1 cm로 첫 번째

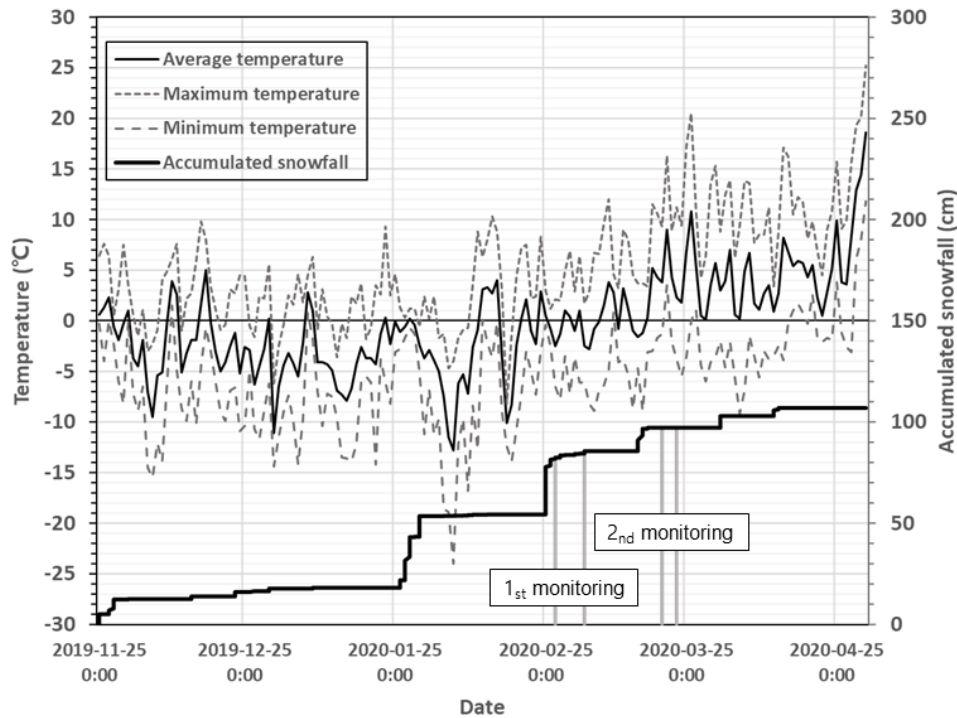


Fig. 2 Temperature change and cumulative snowfall in Daegwallyeong area from 2019 to April 2020

Table 2 Temperature in Daegwallyeong area in the last 30 years

Period		Average temperature	Average maximum temperature	Average minimum temperature
1990-2019	February	-4.7	0.5	-10.0
	March	0.3	5.4	-4.7
2020	February	-2.7	2.5	-8.5
	March	2.1	8.4	-4.2

모니터링에 절반보다 낮은 적설량을 보였다. 두 번째 모니터링은 3월 15일에 강설을 보였으며, 모니터링은 기온이 영상으로 상승하는 시기를 고려하여 강설 발생 약 5일 후에 실시하였다 (Fig. 2).

2. 수질 모니터링 결과

본 연구에서는 강우 발생 직후 모니터링을 실시하는 강우 조사와 달리 강설 후 기온 상승으로 유출이 발생하는 시기를 고려하여 모니터링을 실시하였다. 1차 모니터링 결과, Choi et al. (2012a)의 연구와 동일하게 기온의 상승과 유출량의 증가가 일치하는 경향을 보였다. 유출량은 평균 6.62 (5.68~7.90) m³/s로 2019년 강우 시 평균 6.0~20.3 m³/s에 비해 적은 유출량을 보였고, 0.48 m³/s의 적은 편차를 보였다. 1차 모니터링 기간 SS의 평균농도는 23.6 (1.4~122.2) mg/L, TP는 0.12 (0.03~0.25) mg/L, TN은 4.58 (3.78~5.67) mg/L, BOD는 1.46 (1.10~1.80) mg/L, TOC는 1.82 (1.40~2.40) mg/L로 나타났다. 모니터링 시, SS와 TP의 농도 증감 경향은 대체로 일치하였으며, 토사에 흡착하는 특성을 가진 TP와 SS는 경향이 비슷하게 나타났다. 2020년 3월 3일과 4일 기온이 영상으로 상승하는 시기에 많은 용설로 인해 두 항목에서 SS 122.2 mg/L, TP 0.245 mg/L로 최대값을 나타냈다. 표준편차는 SS 32.5, TP 0.07로 SS의 편차는 더 컸으며 TP의 표준편차는 0.07로 SS보다 농도의 변화가 크지 않았다. TN과 BOD, TOC의 표준편차는 0.54, 0.23, 0.32로 TP와 같이 농도의 변화가 적었고, TN과 TOC의 경우 강우 시에는 용존 형태로 하천에 유입되는 특징을 보이거나 1차 모니터링 시에는 유량에 따른 증감 경향을 보이지 않았다.

2차 모니터링은 3월 20일부터 23일까지로 평균기온은 1차 모니터링에 비해 0℃ 이상인 날이 더 많았다. 2차 모니터링 시 누적 적설량은 11.1 cm로 1차 모니터링시 24.3 cm보다 적

은 적설량을 보였으나 최대 유출량은 12.4 m³/s로 2차 모니터링에서 약 1.6배 더 높았다. 2차 모니터링 기간 SS의 평균농도는 94.6 (18.2~280.0) mg/L, TP는 0.19 (0.07~0.36) mg/L, TN은 2.92 (2.21~3.72) mg/L, BOD는 1.45 (0.90~2.50) mg/L, TOC는 3.68 (1.30~7.90) mg/L로 나타났다. 모니터링 시, SS와 TP는 1차 모니터링과 비슷한 경향으로 SS의 농도가 280.0 mg/L로 첨두농도를 나타낸 시기인 2020년 3월 22일 13시 TP의 농도도 0.362 mg/L로 첨두농도를 나타냈다. TN은 유출량 변화에 의한 농도의 변화 경향은 없었으며, 시간이 지남에 따라 감소하는 경향을 보였다. BOD는 유량변화에 따른 농도변화 경향이 없었으며, TOC의 농도는 1차 모니터링과 달리 유출량이 증가함에 따라 크게 증감하는 경향을 보였다.

조사기간 별 EMC는 Table 3과 같다. 1차 모니터링 시 유량가중평균농도는 SS 33.9 mg/L, TP 0.13 mg/L, TN 4.33 mg/L, BOD 1.35 mg/L, TOC 1.84 mg/L로 나타났다. 하천수 수질환경기준에 의하면 SS는 약간나쁨, TP 약간 좋음, BOD 좋음, TOC 매우 좋음 등급에 해당하였다. 2차 모니터링 시 유량가중평균농도는 SS 81.3 mg/L, TP 0.15 mg/L, TN 3.12 mg/L, BOD 1.32 mg/L, TOC 3.46 mg/L로 나타났다. 2차 모니터링에서는 TOC (약간 좋음)를 제외하고 1차 모니터링과 동일한 수질등급을 나타냈다 (Table 3).

3. 강설과 강우 및 비강우시 수질 비교

용설시 수질 모니터링과 강우시 수질 모니터링의 EMC 비교는, Kwon et al. (2020) 연구에서 가장 낮은 강우량을 보인 강우사상과 1차, 2차 모니터링의 유량가중평균농도와 비교했을 때 SS를 기준으로 3.5, 8.3배 낮은 농도를 보였다. 용설로 인한 오염물질의 SS EMC는 2차 모니터링을 기준으로, MOE (2014) 연구의 총강우량 22.5 mm, 최대강우강도 7.5 mm/hr의 강우사상에서 발생한 EMC와 비슷하게 나타났다 (Table 2).

Table 3 Stream water quality environmental standard

Grade		Parameter						
		pH	BOD	COD	TOC	SS	DO	TP
Very good	Ia	6.5~8.5	≤ 1	≤ 2	≤ 2	≤ 25	≥ 7.5	≤ 0.02
Slightly good	Ib		≤ 2	≤ 4	≤ 3	≤ 25	≥ 5.0	≤ 0.04
Good	II		≤ 3	≤ 5	≤ 4	≤ 25	≥ 5.0	≤ 0.1
Normal	III		≤ 5	≤ 7	≤ 5	≤ 25	≥ 5.0	≤ 0.2
Slightly bad	IV	6.0~8.5	≤ 8	≤ 9	≤ 6	≤ 100	≥ 2.0	≤ 0.3
Bad	V		≤ 10	≤ 11	≤ 8	The trash should not float	≥ 2.0	≤ 0.5
Very bad	VI	-	> 10	> 11	> 8	-	< 2.0	> 0.5

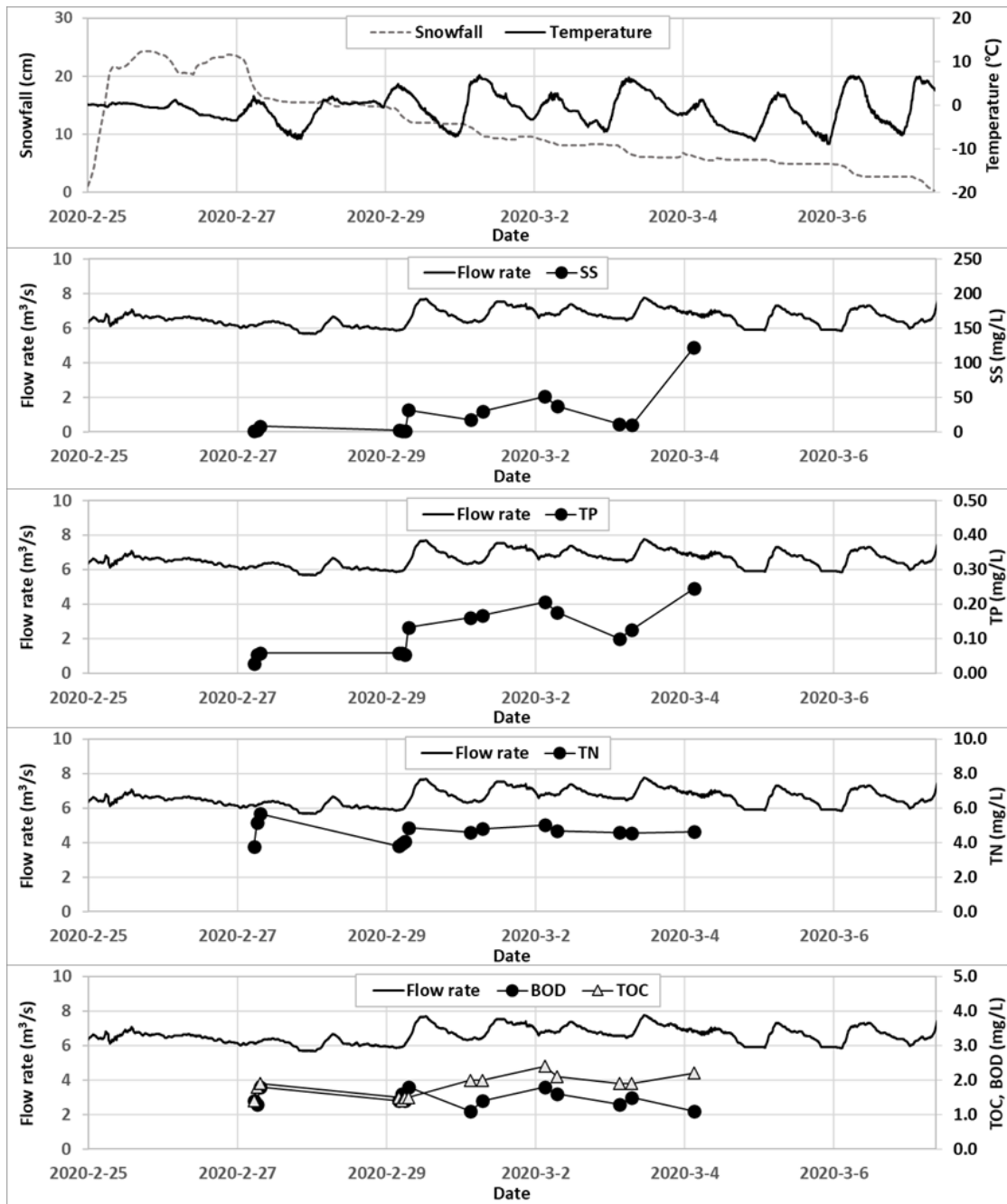


Fig. 3 Changes in concentration of non-point source pollution during the first monitoring

물환경정보시스템의 2010~2019년 평균 2월 평시 수질과 비교했을 때에는 비강우시보다 융설시에 SS는 1차 모니터링에서 8.6배 2차 모니터링에서 20.6배 높았으며, TP는 1차 모니터링에서 2.4배, 2차 모니터링에서 2.8배 높았다 (Table 4). SS와 TP의 농도는 비강우시와 다소 적은 차이를 보였으나, 2차 모니터링의 SS를 제외하고 하천수 생활환경기준 약간초음 이내로 양호한 수질을 보였다. 유량에 따른 증감 경향을 보이지

않은 TN은 1차와 2차 모니터링보다 비강우시에 더 높았다. BOD는 1차와 2차 모니터링에서 각각 약 1.3배 높았으며, TOC는 1차 모니터링에서 1.2배, 2차 모니터링에서는 2.2배 높았다. BOD의 경우 겨울철에는 주변 고령지발이 휴경상태로 약간의 비료나 퇴비 잔여물로 인해 비강우시보다 다소 높게 나타난 것으로 보이며, TOC의 경우 용존 형태로 하천에 유입되기에 융설시 비강우 보다 높게 나타난 것으로 보인다.

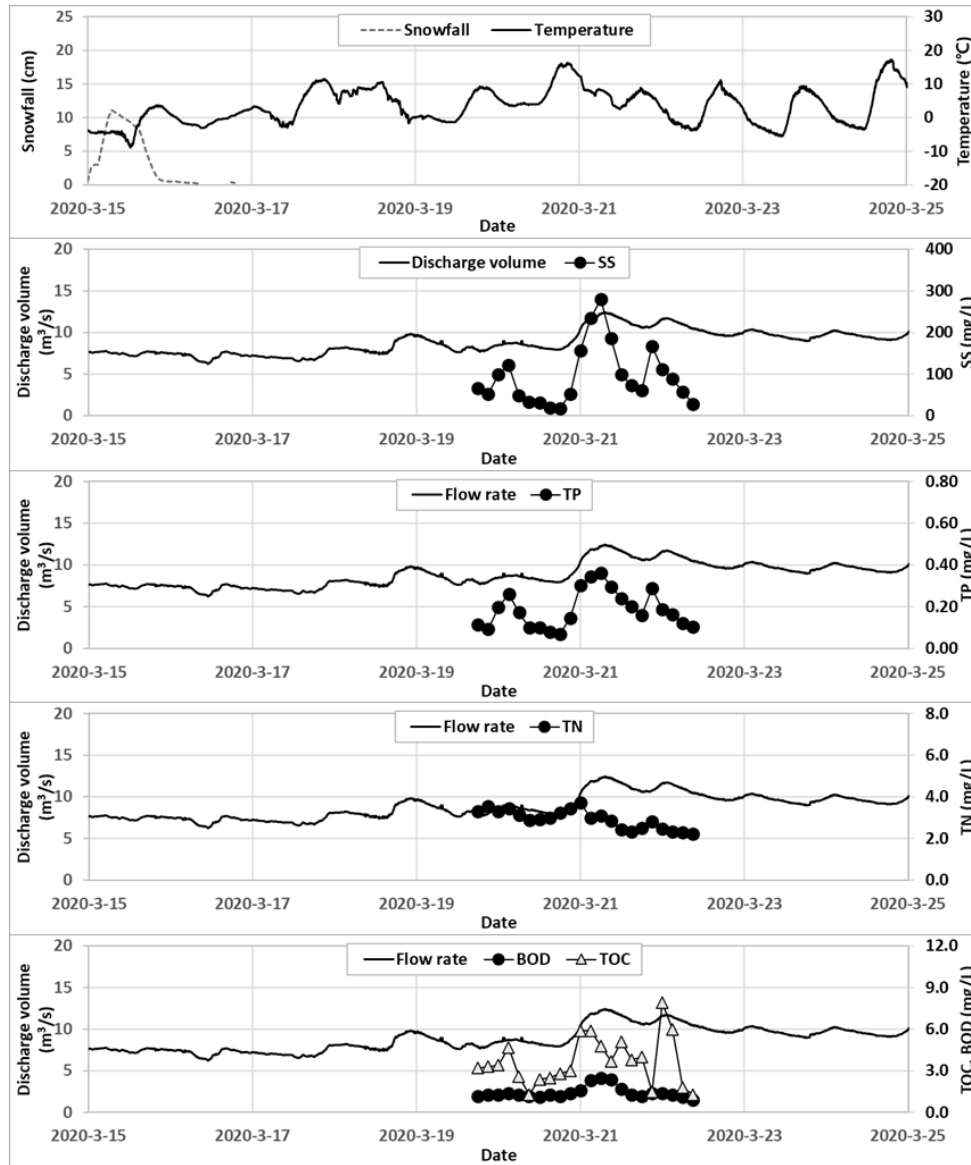


Fig. 4 Changes in concentration of non-point source pollution during the second monitoring

Table 4 EMC and runoff rate from the previous study, this study, and reference data

Event and reference	EMC (mg/L)					Runoff rate (m³/s)			
	SS	TP	TN	BOD	TOC	Avg.	Max.	Min.	Stdev.*
1st Monitoring	33.9	0.13	4.33	1.35	1.84	6.62	7.90	5.68	0.48
2nd Monitoring	81.3	0.15	3.12	1.32	3.46	8.75	12.44	6.22	1.43
MOE, 2014	102.6	0.12	3.28	1.50	-		-		
Non-rainfall**	4.0	0.05	5.83	1.02	1.54		-		
Rainfall***	282.8	0.43	6.58	-	10.0		-		

*: Standard deviation

** : Data of the Water Environment Information System (average water quality concentration of February, 2010–2019)

*** : Research of Kwon et al. (2020)

IV. 결 론

본 연구는 강우 시 고랭지 밭에서 유출되는 토사로 인해 비점오염원관리지역으로 지정된 도암호 유역 송천에서 겨울철 융설에 의해 발생된 비점오염물질의 농도와 평시 및 강우 시에 발생된 비점오염물질의 농도를 비교하기 위해 실시하였다. 모니터링은 2020년 2월부터 3월까지 강설 후 기온이 영상으로 상승하는 시기를 고려하여 2회 실시하였다. 이후 수질분석을 하여 SS, TP, TN, BOD, TOC 항목에 대해 유량가중평균 농도를 산정하였다.

분석 결과 1차 모니터링 시 유량가중평균농도는 SS 33.9 mg/L, TP 0.13 mg/L, TN 4.33 mg/L, BOD 1.35 mg/L, TOC 1.84 mg/L 였으며, 2차 모니터링 시에는 SS 81.3 mg/L, TP 0.15 mg/L, TN 3.12 mg/L, BOD 1.32 mg/L, TOC 3.46 mg/L로 분석되었다. 모니터링 시 비점오염물질 농도는 1차와 2차 모니터링 모두 하천수 수질환경기준 SS 약간나쁨, TP 약간좋음, BOD 좋음 등급에 해당하였으며, TOC는 1차 모니터링에서는 매우좋음, 2차 모니터링에서는 약간좋음 등급을 나타냈다. 강우 모니터링과 수질 비교 결과 Kwon et al. (2020)의 연구에서 가장 낮은 강우량을 보인 강우사상과 유량가중평균농도를 비교했을 때 1차와 2차 융설 모니터링은 SS를 기준으로 3.5, 8.3 배 낮은 농도를 보였다. 융설시 유량가중평균농도는 2차 모니터링 SS 농도를 기준으로 MOE, 2014의 연구 중 총강우량 22.5 mm, 최대강우강도 7.5 mm/hr인 강우사상의 SS EMC와 비슷한 농도를 보였다. 2010-2019 2월 평균 비강우와 수질과 비교시 SS를 기준으로 1차, 2차 모니터링에서 각각 8.6, 20.6 배 높았으며, SS를 제외한 항목에서는 하천수 생활환경기준 약간좋음 등급 이내의 수질을 보였다.

본 연구는 적설량이 적은 해에 실시된 모니터링으로 분석 자료는 기초자료로 사용하기에 다소 어려움이 존재한다. 모니터링 횟수가 2회로 연구의 표본이 적으며, 적은 적설량으로 모니터링간 유출농도의 편차가 작으며, 많은 적설량일 때와 보통 적설량일 때의 모니터링이 실시되지 못하였다. 추후 융설에 의한 겨울철 비점오염원 유출특성 분석과 대상지역 비점오염원 관리시설 설계시 기초자료로 사용하기 위해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

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

1. Choi, K. S., and J. R. Jang, 2014. Selection of appropriate plant species of VFS (Vegetative Filter Strip) for reducing NPS pollution of uplands. *Journal of Korea Water Resources Association* 47(10): 973-983 (in Korean). doi:10.3741/JKWRA.2014.47.10.973.
2. Choi, Y. H., C. H. Won, W. J. Park, M. H. Shin, J. Y. Shin, and J. D. Choi, 2012b. Comparison of NPS pollution characteristics between snowmelt and rainfall runoff from a highland agricultural watershed. *Journal of Korean Society on Water Environment* 28(4): 523-530 (in Korean).
3. Choi, Y. H., C. H. Won, W. J. Park, M. H. Shin, J. Y. Shin, S. I. Lee, and J. D. Choi, 2012a. Characteristics of water quality in basin of alpine field during the snowmelt season. *Journal of Korean Society on Water Environment* 28(3): 453-459 (in Korean).
4. Iida, T., A. Kajihara, H. Okubo, and K. Okajima, 2012. Effect of seasonal snow cover on suspended sediment runoff in a mountainous catchment. *Journal of Hydrology* 428: 116-128. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.01.029.
5. 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.
6. Kim B. S., D. W. Jang, B. H. Seo, and H. S. Kim, 2008a. Simulation of monthly streamflow for the soyang basin using water and snow balance modeling system. *Journal of the Korean Wetlands Society* 10(1): 1-9 (in Korean).
7. Kim, D. G., J. U. Jung, J. H. Park, and C. G. Park, 2007. Long-term runoff simulation in consideration of snow pack and snow melt. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater* 21(3): 265-272 (in Korean).
8. Kim, J. H., K. H. Han, and J. S. Lee, 2008b. Characteristics of agricultural non-point Source pollutants by rainfall events in rural watersheds. *Journal of Korean Society on Water Quality* 24(1): 69-77 (in Korean).
9. Kim, S. B., S. R. Ahn, H. J. Shin, and S. J. Kim, 2014. Assessment of snowmelt impact on Chungju dam watershed inflow using Terra MODIS data and SWAT model. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 34(2): 457-467 (in Korean).
10. Kim, S. S., J. S. Kim, K. Y. Bang, E. M. Kwon, and W. J. Chung, 2002. The estimation of the unit load and

- characteristics of non-point source discharge according to rainfall in Kyongan watershed. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 24(11): 2019-2027.
11. 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.
 12. Lee, J. S., and C. G. Kim, 2019. Performance analysis for reduction facility of nonpoint source pollutant. *Journal of Korea Water Resource Association*. 52(3): 207-217 (in Korean). doi:10.3741/JKWRA.2019.52.3.207.
 13. 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.
 14. MOE, 2014. Doamho non-point source management area monitoring and evaluation project.
 15. 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.
 16. Research Institute for Gangwon, 2020. Gangwon-do non-point source management area study on improvement of Han River water system method for optimal management.
 17. Shin, M. H., Y. C. Shin, S. G. Heo, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2007. Analysis of Flow-Weighted Mean Concentration (FWMC) characteristics from rural watersheds. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 49(6): 3-9 (in Korean).
 18. Su, J. J., van Bochove, E., Thériault, G., Novotna, B., Khaldoune, J., Denault, J., Zhou, J., Nolin, M., Hu, C., Bernier, M., Benoy, G., Xing, S., and Chow, L., 2011. Effects of snowmelt on phosphorus and sediment losses from agricultural watersheds in eastern Canada. *Agricultural Water Management* 98(5): 867-876. doi:10.1016/j.agwat.2010.12.013.
 19. Tanasienko, A. A., O. P. Yakutina, and A. S. Chumbaev, 2011. Effect of snow amount on runoff, soil loss and suspended sediment during periods of snowmelt in southern West Siberia. *Catena* 87: 45-51. doi:10.1016/j.catena.2011.05.004.
 20. Wu, Y., W. Ouyang, Z. Hao, B. Yang, and L. Wang, 2018. Snowmelt water drives higher soil erosion than rainfall water in a mid-high latitude upland watershed. *Journal of Hydrology* 556: 438-448. doi:10.1016/j.jhydrol.2017.11.037.

