

연속적인 사방댐이 장마 전·후 저서성 대형무척추동물 군집에 미치는 영향 비교

Comparison of the Effects of Continuous Erosion Control Dams on Benthic Macroinvertebrate Communities Before and After the Rainy Season

안채희¹ · 한중수¹ · 현재빈² · 최준길³ · 이황구^{4*}

¹상지대학교 생명과학과 박사과정, ²상지대학교 생명과학과 석사과정, ³상지대학교 생명과학과 교수, ⁴상지대학교 생명과학과 연구교수

Chae Hui An¹, Jung Soo Han¹, Jae Bin Hyun², Jun Kil Choi³ and Hwang Goo Lee^{4*}

¹Ph.D. Course, Department of Biological Science, Sangji University, Wonju 26339, Korea

²M.S. Course, Department of Biological Science, Sangji University, Wonju 26339, Korea

³Professor, Department of Biological Science, Sangji University, Wonju 26339, Korea

⁴Research Professor, Department of Biological Science, Sangji University, Wonju 26339, Korea

Received 9 February 2021, revised 25 February 2021, accepted 8 March 2021, published online 31 March 2021

ABSTRACT: This study aimed to investigate changes in benthic macroinvertebrate communities caused by erosion control dams using data obtained from three erosion control dams in Wonju, Gangwon Province, before and after the rainy season. Surveys were conducted four times from March to September 2019, and survey points were continuously selected during the installation of closed-type and open-type dams. A total of eight points from the upstream and downstream regions of each dam type were selected. The flow velocity of both the closed and open types increased, but the closed type exhibited a relatively higher flow velocity than the open type. Benthic macroinvertebrate species and individuals mostly decreased after the rainy season. A relatively large number of species and individuals were found upstream of the closed-type dam. An analysis of the ephemeroptera-plecoptera-trichoptera groups showed relatively reduced ephemeroptera in the closed-type dam and reduced trichoptera in the open-type dam. The periods before and after the rainy season could be divided based on the results of a similarity analysis. The open type showed relatively minimal changes before and after the rainy season.

KEYWORDS: Close type, Erosion control dam, Open type

요약: 본 연구는 강원도 원주시에 3개의 사방댐이 연속적으로 설치된 지역을 대상으로 장마 전·후의 자료를 비교·분석하여 사방댐에 의한 저서성 대형무척추동물의 군집 변화를 파악하고자 하였다. 조사시기는 2019년 3월부터 9월까지 총 4회 조사를 실시하였으며, 조사지점은 불투과형이 연속적으로 설치된 지역과 투과형이 연속적으로 설치된 지역을 선정하였다. 불투과형, 투과형 사방댐 각각 상·하류로부터 총 8개의 지점을 선정하였다. 유속은 장마 이후 불투과형, 투과형 모두 대부분의 지점에서 증가하였으나, 불투과형은 투과형보다 상대적으로 유속의 변화가 큰 것으로 확인되었다. 저서성 대형무척추동물의 종수 및 개체수는 장마 이후 대부분의 지점에서 감소하는 것으로 나타났으며, 불투과형 상류지점이 상대적으로 종수 및 개체수가 높은 것으로 나타났다. 하루살이목-강도래목-날도래목 (EPT) 그룹 분석은 상대적으로 불투과형에서 하루살이목이 감소하였으며, 투과형에서 날도래목이 감소하였다. 유사도 분석 결과, 불투과형, 투과형 모두 장마 전·후가 구분되었으며, 투과형이 상대적으로 장마 전·후의 변화가 적은 것으로 분석되었다.

핵심어: 불투과형, 사방댐, 투과형

*Corresponding author: morningdew@sangji.ac.kr, ORCID 0000-0001-7843-3795

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

우리나라의 강수량은 몬순 기후의 영향으로 여름철에 집중호우 및 태풍이 빈번하게 발생하고 있으며, 이러한 집중호우는 하천 유량을 급격히 증가시켜 산사태 및 토석류 등을 발생시킨다. 강우에 따른 산사태 및 토석류의 발생은 많은 인명피해를 초래할 수 있으며 (Kim et al. 2012), 이러한 피해를 방지하고자 다양한 사방구조물을 설치하고 있다. 여러 사방구조물 중 사방댐은 산지 계곡에 설치하는 대표적인 시설물로 산사태 등으로 인한 토석류 발생으로부터 상류에서 내려오는 토사 등을 차단하고 유속을 감소시켜 2차 피해를 방지하기 위한 시설물로 알려져 있다 (Nakamura et al. 1995). 사방댐은 크게 불투과형과 투과형으로 구분할 수 있는데, 대표적으로 불투과형 사방댐에는 전석 (Boulder stone), 콘크리트 (Concrete), 투과형 사방댐에는 버트리스 (Buttress), 슬릿 (Slit), 도징 (Dodging) 등이 있다. 과거에는 불투과형 사방댐을 주로 설치하였으나 최근에는 생물의 이동 및 물 흐름 단절 등의 문제를 해결하고자 투과형 사방댐을 설치하기 시작하였다 (KFS 2018). 하지만 사방댐의 설치에 대부분 서식생태계의 안정성을 고려한 친환경적 시설물이기보다는 자연재해 예방이나 이수 및 치수 기능의 목적으로 설치되고 있어 수생생물의 미소서식처를 훼손하는 등의 문제점이 발생하고 있다 (Ma et al. 2014).

계류생태계는 일반적으로 동·식물 서식에 필요한 다양한 미소서식처를 가지고 있으며, 종 다양성이 높아 생물다양성 보존 및 유지에 매우 중요한 역할을 하고 있다 (Allan 1995, Park et al. 2012). 또한, 계류생태계의 상류는 자연환경이 풍부하게 유지되며, 자연도가 높은 계안림이 연속적으로 존재하고 있어 많은 생태계다양성을 가지고 있다 (Naiman et al. 1998). 사방댐과 같은 인공구조물의 건설은 하천의 유량 및 유속에 영향을 미칠 수 있으며, 계류생태계에 서식하는 다양한 동·식물의 서식처에 영향을 미치고 있다 (Park and Kim 2013). 그 중 계류에 서식하는 저서성 대형무척추동물은 물리적 교란에 민감하게 반응하며, 이동성이 적은 것으로 알려져 있다 (Wilhm 1972, Ward 1992). 특히, 여름철 홍수로 인한 하상의 불안정성 증가 및 유속과 수위의 변화는 저서성 대형무척추동물 개체의 물리적인 이동에 의해 종다양성에 부정적인 영향을 미치는 것으로 알려

져 있다 (Robertson et al. 1995, Kim et al. 2016). 사방댐이 생물에 미치는 영향에 관한 국내 연구는 사방공작물의 시공이 저서성 대형무척추동물의 군집구조 및 섭식기능군에 미치는 영향 (Seo and Lee 2012), 버트리스 사방구조물의 설치가 저서성 대형무척추동물의 서식처에 미치는 영향 (Ma et al. 2014) 등이 연구되었으나 대부분 하나의 사방구조물 또는 사방댐이 저서성 대형무척추동물에 미치는 영향에 관한 연구가 주로 이루어져왔다. 또한, 최근에는 사방댐이 토석류 및 유목에 의해 발생하는 붕괴를 예방하고자 하나의 산지계곡에 여러 개의 사방댐을 설치하는 방안이 증가하고 있다 (Yoon et al. 2018). 따라서 본 연구는 연속적으로 설치된 사방댐이 장마 전·후 저서성 대형무척추동물 군집에 미치는 영향을 확인하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사시기

사방댐 (Erosion Control Dam, ECD)에 의한 저서성 대형무척추동물의 변화를 파악하기 위해 장마 이전 2회 (1차, 2차), 장마 이후 2회 (3차, 4차) 조사를 실시하였으며, 장마 이후 조사는 각각 51.9 mm (8월 7일), 54.8 mm (9월 11일)의 평상시 보다 높은 강우가 내린 이후 조사를 실시하였다 (Fig. 1). 조사시기는 2019년 3월부터 2019년 9월까지 총 4회에 걸쳐 조사를 실시하였다.

1차조사: 2019년 3월 31일 - 4월 2일

2차조사: 2019년 6월 15 - 17일

3차조사: 2019년 8월 12 - 14일

4차조사: 2019년 9월 19일, 21 - 22일

2.2 조사지점

조사지점은 3개의 사방댐이 연속적으로 설치된 지역을 선정하였으며, 불투과형 사방댐이 연속적으로 설치된 지역과 투과형 사방댐이 연속적으로 설치된 지역을 선정하여 조사를 실시하였다. 불투과형 사방댐은 3개의 사방댐 모두 전석 (Boulder stone)으로 설치되었으며, 투과형 사방댐은 상류부터 슬릿 (Slit), X링 (X-ring), 도징 (Dodging)의 순으로 설치되어 있다 (Fig. 2). 사방댐에 의한 영향을 파악하기 위해 사방댐에 설치

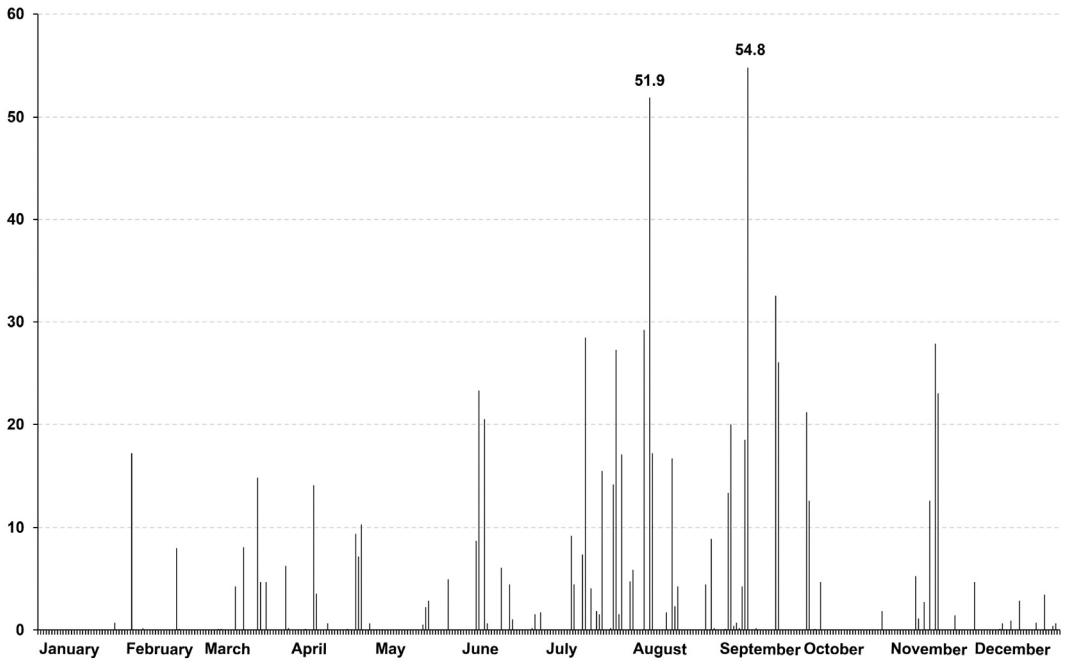


Fig. 1. Annual precipitation in Wonju, Gangwon, 2019.

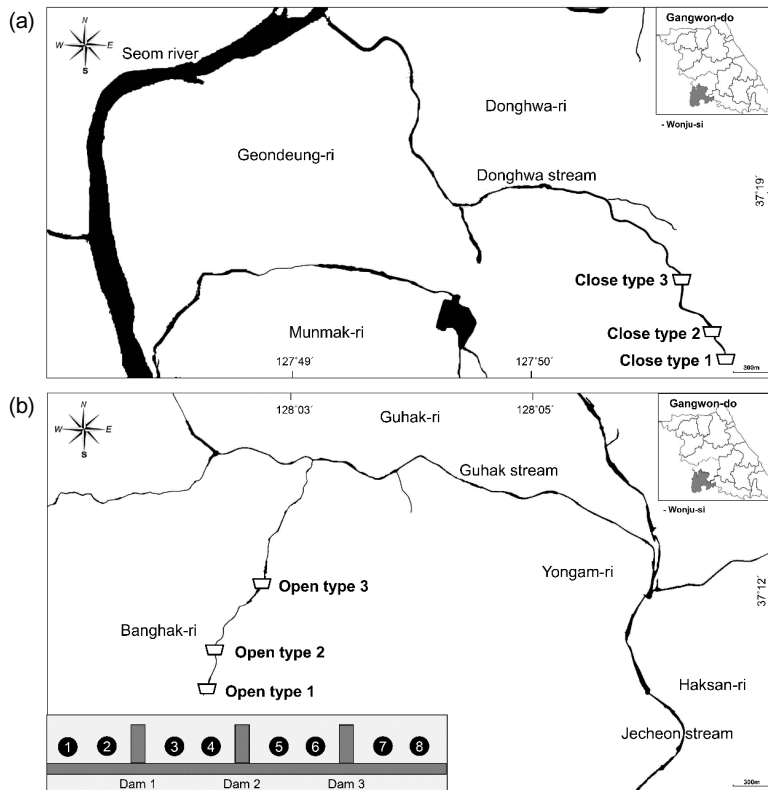


Fig. 2. Map showing the study area in the Wonju, Gangwon. One is an area with three consecutive close types (a) constructed, and the other is an area with three consecutive open types (b) constructed.

된 바닥막이를 고려하여 총 8개 지점을 선정하였으며, 사망땀을 기준으로 최대한 이격 거리를 유사하게 선정하여 조사를 실시하였다 (Fig. 2 (b)).

Close type : 강원도 원주시 문막읍 동화리 산 154-1

- 1st ECD : 37°18'47.36"N, 127°51'27.87"E

- 2nd ECD : 37°18'49.07"N, 127°51'27.80"E

- 3rd ECD : 37°19'3.36"N, 127°51'16.30"E

Open type : 강원도 원주시 신림면 구학리 산 22-1

- 1st ECD : 37°11'41.19"N, 128°3'14.67"E

- 2nd ECD : 37°11'51.99"N, 128°3'16.46"E

- 3rd ECD : 37°12'11.84"N, 128°3'35.11"E

2.3 조사방법

2.3.1 물리· 화학적 요인

물리적 요인은 유속 (Flow velocity)과 하상구조를 측정하였으며, 유속은 Craig (1987)의 방법으로 쇄자를 이용하였다 (Eq. 1). 하상구조는 Cummins (1962)의 방법을 적용하여 Boulder, Cobble, Pebble, Gravel, Silt/Sand의 5단계로 구분하였다. 화학적 요인은 HANNA (HI98194, Italy)를 이용하여 수온, 용존산소 (Dissolved Oxygen, DO), pH, 전기전도도 (Electrical Conductivity, EC)를 측정하였다.

$$\text{Flow Velocity (m/s)} = \sqrt{2g(D_2 - D_1)} \quad (\text{Eq. 1})$$

g : 중력

D_1 : 하천의 흐름과 자가 수직일 때 최고 수위

D_2 : 하천의 흐름과 자가 평행일 때 최고 수위

2.3.2 저서성 대형무척추동물 채집 및 동정

저서성 대형무척추동물 채집은 Surber sampler (30 cm × 30 cm)를 이용하여 조사지점별 3회 (riffle, run, pool) 정량 채집을 실시하였다. 채집된 저서성 대형무척추동물은 현장에서 99% Ethanol을 이용하여 Vial (500 ml)에 담아 고정하였으며, 실험실로 운반된 채집물은 유기물로부터 저서성 대형무척추동물을 골라내어 Vial (10 ml - 25 ml)에 옮긴 후 80% Ethanol에 보존하였다. 수서곤충은 Merritt et al. (2008), Kim et al. (2013), Kwon et al. (2013) 등을 참고하여 동정하였으며, 연체동물은 Kwon (1990)을 참고하여 동정하였다.

깔따구류 (Chironomidae spp.)는 정확한 종과 속 수준의 동정이 제한되어 과 수준 (Family level)으로 동정하였다.

2.3.3 EPT (Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera) Groups

EPT Groups은 하루살이목 (Ephemeroptera), 강도래목 (Plecoptera), 날도래목 (Trichoptera)의 분류군을 의미하며, 곤충강에서 하천생태계의 주요 분류군 (Kim et al. 2013)으로 일반적으로 EPT Groups의 비율이 높을수록 양호한 상태를 나타낸다고 알려져 있다 (Davis et al. 2003). 본 연구에서는 사망땀에 의한 장마 전·후 EPT Groups의 변화를 파악하고자 분석을 실시하였다.

2.3.4 분석 프로그램

통계분석은 Biodiversity Pro (ver. 2)를 이용하여 조사지점별 장마 전·후의 유사성을 파악하고자 유사도 분석 (Bray and Curtis 1957)을 실시하였다. 또한, R (for window ver. 4.0.3)을 이용하여 사망땀별 장마 전·후의 유속, 종수, 개체수, EPT groups 변화를 확인하고 유의성 검증을 위해 T-test 분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 물리· 화학적 요인

사망땀의 조사지점별 물리적 요인 분석 결과 (Table 1), 유속은 불투과형과 투과형 모두 대부분의 지점에서 장마 이후 증가하는 것으로 분석되었으며, 땀 하류부의 물리적 구조의 차이에 따라 유속의 증감이 나타났다 (Fig. 3). 또한, 불투과형은 투과형보다 상대적으로 장마 이후 지점별 유속의 변화가 큰 것으로 확인되었으며, 이는 인공구조물로 인한 하천 흐름 단절의 결과로 판단된다. 하상구조는 불투과형과 투과형 모두 상대적으로 다양한 하상구조를 유지하고 있었으며, 불투과형과 투과형 모두 사망땀을 기준으로 하류지점에서 상대적으로 Cobble의 비율이 낮고, Gravel의 비율이 높은 것으로 확인되었다. 또한, 불투과형은 투과형 보다 하류로 갈수록 Sand/Silt의 비율이 증가하는 것으로 조사되었다.

이화학적 요인 분석 결과 (Table 1), 수온은 불투과형 14.41 (±7.39, St. 1)°C - 16.56 (±8.28, St. 8)°C, 투과형 12.24 (±6.72, St. 1)°C - 16.05 (±9.07, St. 5)°C, 용존산

Table 1. Average of physical and chemical factors in survey region (mean (±SD))

Sampling site	Bottom structure	**WT (°C)	**DO (ppm)	**pH	**EC (µs/cm)	
	*B:C:P:G:S					
Close type	St. 1	2:3:3:1:1	14.41 (±7.39)	7.20 (±2.88)	6.84 (±0.37)	42.75 (±4.43)
	St. 2	1:2:3:3:1	14.59 (±7.65)	6.87 (±2.73)	6.77 (±0.31)	43.50 (±4.20)
	St. 3	1:2:3:3:1	15.17 (±8.11)	6.79 (±3.16)	6.71 (±0.39)	49.00 (±7.53)
	St. 4	1:2:2:2:3	14.46 (±7.63)	7.45 (±3.36)	6.83 (±0.34)	52.50 (±7.85)
	St. 5	1:2:2:3:2	16.24 (±8.78)	7.35 (±3.15)	7.04 (±0.31)	50.25 (±8.18)
	St. 6	1:1:3:3:2	15.55 (±8.45)	7.05 (±3.06)	6.96 (±0.40)	52.50 (±6.45)
	St. 7	1:2:2:3:2	16.38 (±8.33)	7.09 (±3.12)	7.33 (±0.20)	99.25 (±25.75)
	St. 8	1:2:2:3:2	16.56 (±8.28)	6.72 (±2.64)	7.39 (±0.16)	100.25 (±27.04)
Open type	St. 1	1:2:3:3:1	12.24 (±6.72)	6.58 (±3.12)	6.88 (±0.36)	26.50 (±1.73)
	St. 2	1:2:3:3:1	12.39 (±6.80)	6.94 (±2.72)	7.07 (±0.53)	27.50 (±2.08)
	St. 3	1:2:3:3:1	12.65 (±7.22)	6.83 (±2.75)	7.56 (±0.11)	46.75 (±23.68)
	St. 4	1:3:3:2:1	13.55 (±7.54)	6.72 (±2.79)	7.68 (±0.25)	51.00 (±22.42)
	St. 5	1:2:3:3:1	16.05 (±9.07)	7.11 (±2.76)	8.07 (±0.41)	89.25 (±28.83)
	St. 6	1:3:3:2:1	15.33 (±8.36)	6.92 (±2.82)	7.76 (±0.31)	89.75 (±27.58)
	St. 7	1:2:3:3:1	15.88 (±8.11)	7.16 (±2.71)	7.98 (±0.20)	106.0 (±24.95)
	St. 8	1:1:3:4:1	14.73 (±9.59)	6.84 (±3.51)	7.74 (±0.22)	100.00 (±22.11)

*B: Boulder >256 mm, C: Cobble 64 - 256 mm, P: Pebble 16 - 64 mm, G: Gravel 2 - 16 mm, S: Sand/Silt 0.2 - <2 mm.
 **WT: Water temperature, DO: Dissolved oxygen, pH: Potential of hydrogen ions, EC: Electrical conductivity.

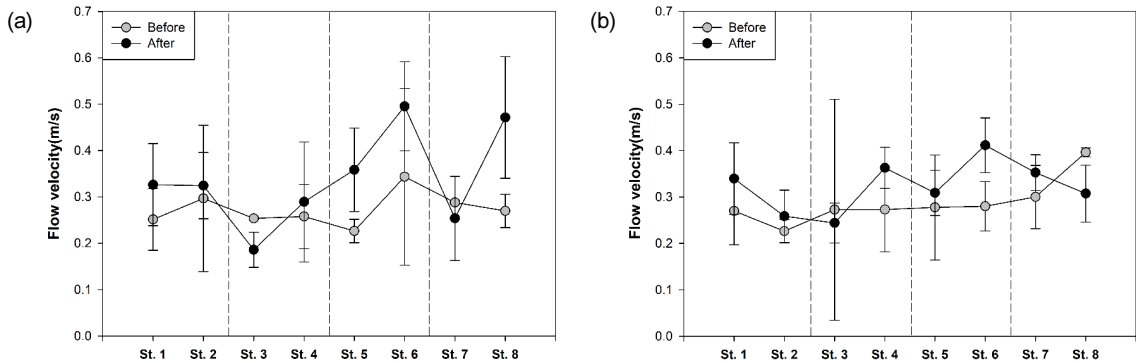


Fig. 3. Flow velocity before and after the rainy season according to the type of erosion control dam. (a) is close type, (b) is open type.

소 (DO)는 불투과형 6.72 (±2.64, St. 8) ppm - 7.45 (±3.36, St. 4) ppm, 투과형 6.58 (±3.12, St. 1) ppm - 7.16 (±2.71, St. 8) ppm, pH는 불투과형 6.71 (±0.39, St. 3) - 7.39 (±0.16, St. 8), 투과형 6.88 (±0.36, St. 1) - 8.07 (±0.41, St. 5), 전기전도도 (EC)는 불투과형 42.75 (±4.43, St. 1) µs/cm - 100.25 (±27.04, St. 8) µs/cm, 투과형 26.50 (±1.73, St. 1) µs/cm - 106.00 (±24.95, St. 8) µs/cm로 측정되었다. 대부분 상류에서 하류로 갈수록 점차 증가하는 경향을 보였으며, 본 연구의 화학적

요인은 Nam et al. (2019)과 Li et al. (2019)의 사방댐이 설치된 산지계류의 화학적 요인 결과와 유사한 범위로 나타났다.

3.2 종조성

조사기간 동안 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 5문 6강 13목 63과 124종 24,562개체가 출현하였으며, 불투과형은 51과 101종 11,322개체, 투과형은 51과 95

총 13,240개체로 유사한 출현종수 및 개체수를 나타내었다. 사방댐별 장마 전·후 공통종 및 종수 변화를 분석한 결과 (Fig. 4), 불투과형은 공통종수가 23종 - 41종으로 나타났으며, 장마 이후 댐에 의한 물리적인 단절로 인하여 하류로 갈수록 출현종수가 점차 감소하는 경향을 나타냈다. 투과형은 공통종수가 22종 - 37종으로 나타났으며, 댐 별 증감 현상은 있으나 투과형의 특성상 저서성 대형무척추동물의 이동이 자유로워 상류에 비하여 출현종이 증가한 것으로 조사되었다. 또한, 불투과형은 댐별 흐름의 단절 현상에 의해 출현종이 댐 상류에서 증가하고 하류에서 감소하는 경향을 나타냈으며, 투과형은 자유로운 흐름의 영향으로 댐 하류에서 증가하는 상반된 양상을 보였다. An et al. (2020)에 따르면 불투과형이 투과형보다 상대적으로 장마 이후 출현종의 변화가 크지 않은 것으로 나타났으나 본 연구결과에서는 3개의 사방댐이 연속으로 설치되어있어 상류부터 하류까지 지속적인 단절이 발생하였으며, 장마 이후 출현종이 감소하는 결과를 나타낸 것으로 판단된다. 사방

댐별 장마 전·후 개체수 분석 결과 (Fig. 5), 불투과형, 투과형 모두 장마 이후 개체수가 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 첫 번째 사방댐을 기준으로 불투과형은 단절에 의해 상류지점에서 개체수가 증가한 것으로 나타났으며, 투과형은 물리적 이동에 따른 하류지점에서 증가하여 연속된 사방댐에 있어 첫번째 위치한 사방댐이 개체수의 증감에 영향을 높게 주는 것으로 판단된다. 장마로 인한 집중 강우는 저서성 대형무척추동물의 씻김현상에 의해 종수 및 개체수가 감소하는 것으로 알려져 있으며 (Mesa 2012, Hong et al. 2017), 본 연구결과에서도 장마 이후 불투과형, 투과형 모두 대부분의 지점에서 종수 및 개체수가 감소하는 경향을 나타낸 것으로 확인되었다. 또한, 불투과형은 평상시 물이 월류하거나 배수구를 통해 흐르는 것으로 알려져 있으나 (Koo and Ma 2018), 본 조사지역의 불투과형 사방댐은 관리소홀에 따른 배수구가 막혀 장마 이후 상류로부터 물리적 이동이 이루어진 저서성 대형무척추동물 개체들이 하류로 내려가지 못한 결과로 생각된다.

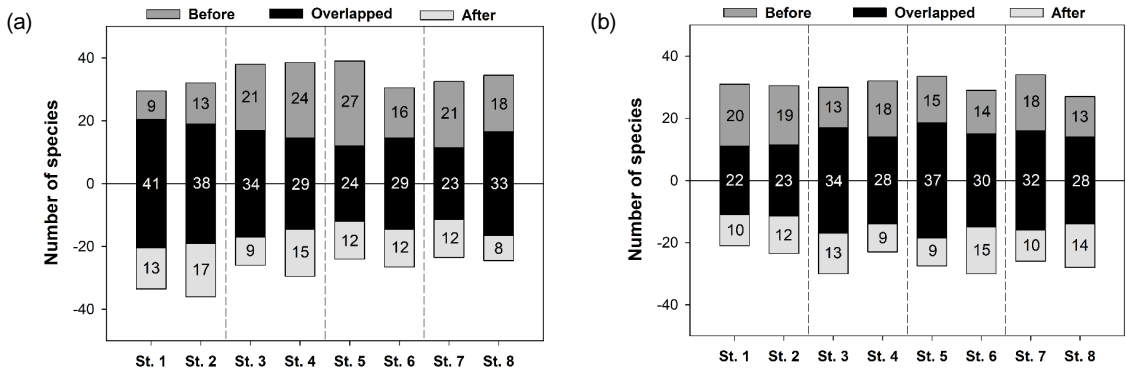


Fig. 4. Common species analysis before and after the rainy season according to the type of erosion control dam. (a) is close type, (b) is open type.

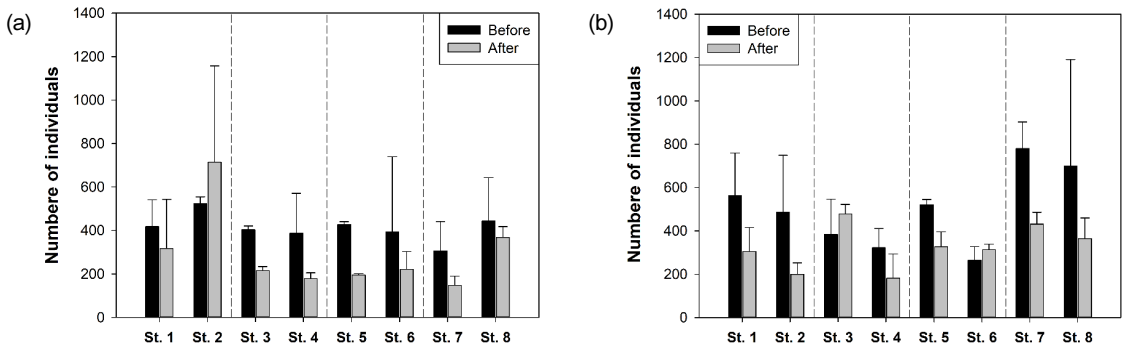


Fig. 5. Individuals before and after the rainy season according to the type of erosion control dam. (a) is close type, (b) is open type.

3.3 EPT Groups

조사지점별 EPT Groups 분석 결과(Fig. 6), 장마 이후 불투과형, 투과형 모두 대부분의 지점에서 EPT의 개체수가 감소하는 것으로 나타났다. 장마로 인한 교란은 내성능력이 낮아지고 양호한 서식처를 선호하는 EPT Groups의 감소를 나타내는 것으로 알려져 있어(Kwak et al. 2008), 본 연구결과에서도 대부분의 지점에서 EPT Groups의 개체수 감소를 보인 것으로 판단된다. 유속의 증가는 저서성 대형무척추동물의 서식에 영향을 미치며, 그 중 헤엄치는무리(Swimmers)는 감소하고 붙는무리(Clingers)는 증가하는 것으로 알려져 있다(Ward 1992, An et al. 2020). 본 연구에서 하루살이목은 대부분 서식기능군이 헤엄치는무리인 피라미하루살이(*Ameletus costalis*), 개똥하루살이(*Baetis fuscatu*s), 감초하루살이(*Baetis silvaticu*s) 등의 개체수가 감소한 것으로 분석되어 유속 증가로 인한 헤엄치는무리의 감소를 나타낸 연구결과와 일치하는 것으로 확인되었다. 또한, 날도래목은 대부분 서식기능군이 붙

는무리인 줄날도래(*Hydropsyche kozhantschikovi*), 동양줄날도래(*Hydropsyche orientalis*), 애우묵날도래 KUb(*Apatania KUb*) 등이 출현하였으나, 붙는무리 중 완만한 유속을 선호하는 종인 넓은머리물날도래(*Rhyacophila brevicephala*), 검은물날도래(*Rhyacophila nigrocephala*) 등의 개체수는 감소한 것으로 확인되었다.

3.4 통계분석

사방댐별 장마 전·후의 지점별 유사성을 확인하기 위해 유사도 분석을 실시한 결과(Fig. 7), 불투과형과 투과형 모두 장마 전·후로 그룹이 구분되었다. 장마 전 불투과형 지점은 하류로 갈수록 유사성이 감소하는 것으로 나타났으며, 투과형은 상대적으로 지점 간 유사성이 높은 것으로 확인되었다. 이는 장마로 인한 물리적 교란이 저서성 대형무척추동물의 다양성에 영향을 미치는 연구와 일치하는 것으로 확인되었다(Robertson et al. 1995, Kim et al. 2016). 사방댐에 의한 장마 전·후

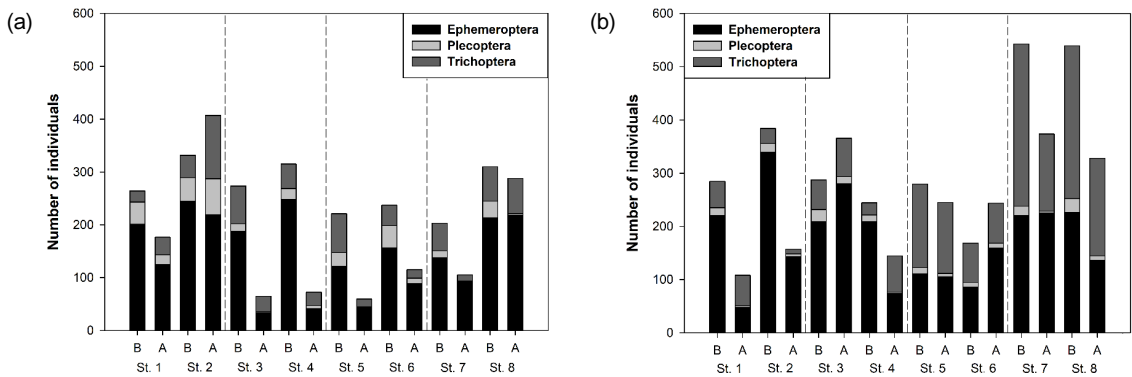


Fig. 6. Ephemeroptera-plecoptera-trichoptera (EPT) groups before and after the rainy season according to the type of erosion control dam. (a) is close type, (b) is open type.

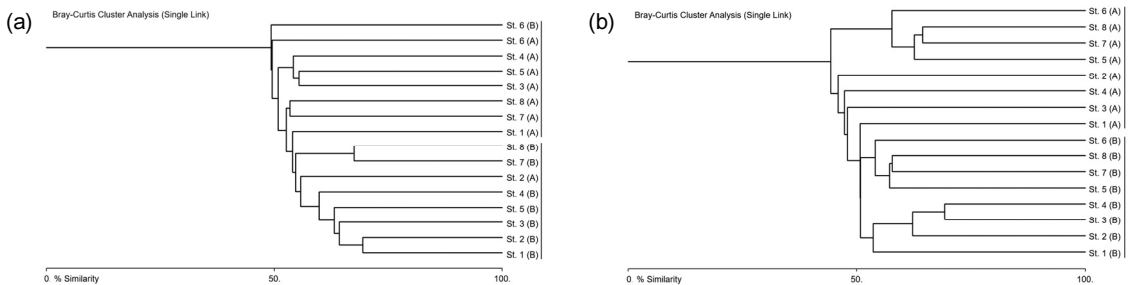


Fig. 7. Similarity analysis before and after the rainy season according to the type of erosion control dam. (a) is close type, (b) is open type.

의 영향을 확인하고자 물리적 요인인 유속과 저서성 대형무척추동물의 종수 및 개체수, EPT groups의 변화를 분석하였으며 (Fig. 8), 이에 대한 유의성 검증 (T-test) 을 실시하였다. 사방댐별 장마 전·후의 비교 결과, 유속, 종수, 개체수, EPT groups 모두 중앙값이 장마 이후 감소한 것으로 분석되었으며, 불투과형에 비하여 상대적으로 투과형이 항목별 변화가 적은 것으로 분석되었다. 각 항목의 T-test 분석 결과, 유속과 종수는 불투과형과 투과형 모두 차이가 없는 것으로 분석되었으며 ($P > 0.05$), 개체수는 불투과형과 투과형 모두 차이가 있는 것으로 분석되었다 ($P < 0.05$, $P < 0.01$). EPT groups 결과 불투과형은 차이가 있는 것으로 분석되었으나 투과형은 차이가 없는 것으로 분석되었다 ($P < 0.05$, $P > 0.05$). 조사지점별 장마 전·후의 유사성은 비교적 뚜렷하게 나뉘는 것을 확인하였으며, 투과형이 장마 이후 유속, 종수, 개체수, EPT groups의 감소가 낮은 것으로 분석되어 불투과형보다 상대적으로 장마 이후 변화가 적은 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구 결과 불투과형과 투과형 모두 장마 이후 유속이 증가하는 경향을 나타내었으며, 이는 저서성 대형무척추동물의 군집 안정성에 변화를 야기하는 것으로 판단된다. 불투과형은 배수구가 관리되지 않아 대부분 막혀있는 상태였으며, 하류로의 물의 흐름이 안정적이지 못해 장마 이후에도 상류부터 하류까지 유량의 변동이 높은 것으로 생각되며, 이와는 반대로 투과형은 상대적으로 오픈된 구조물로서 평상시에도 일정한 유량이 유지되고 있어 장마 이후에도 유사한 서식 환경을 유지하는 것으로 판단된다. 이에 장마 이후 저서성 대형무척추동물 군집은 투과형이 상대적으로 변화가 적은 것을 확인할 수 있었으며, 교란에 민감하게 반응하는 EPT Groups은 하루살이목과 날도래목에서 감소하는 경향을 보였다. 또한, 유사도 분석시 불투과형과 투과형 모두 장마 전·후로 구분되었으며, 투과형에서 유속, 종수, 개체수, EPT groups 모두 장마 이후 변화가 적은 것으로 분석되었다.

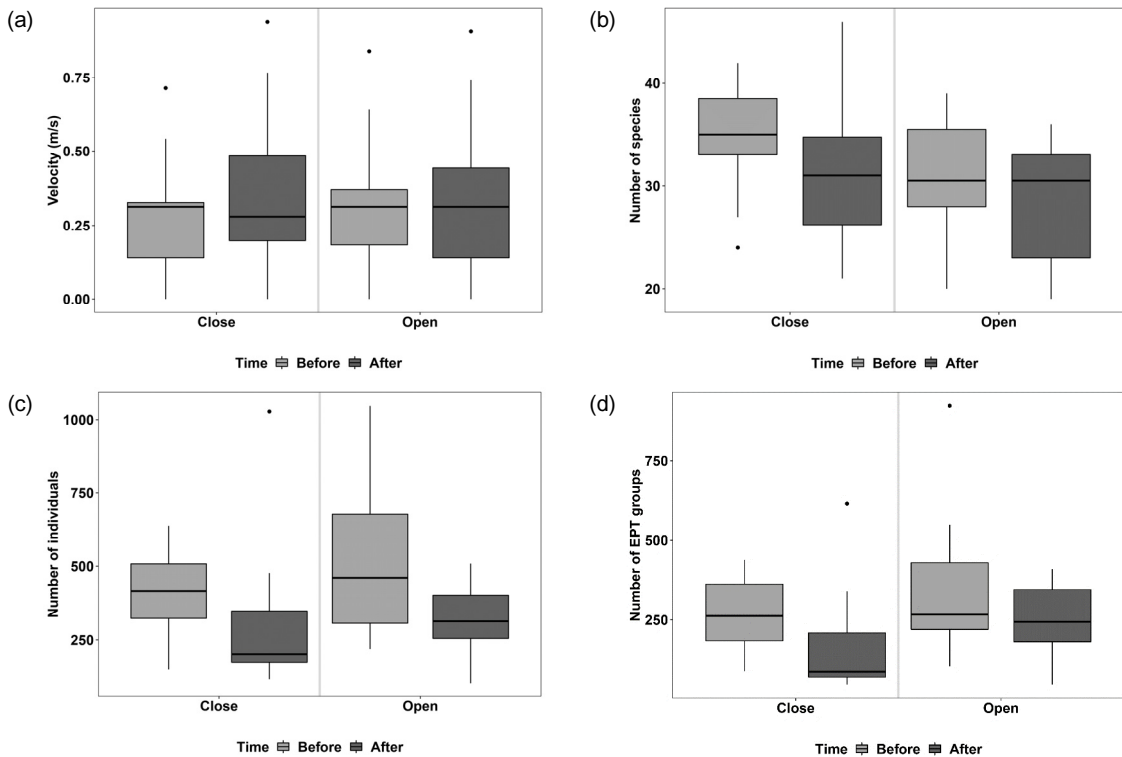


Fig. 8. Changes in flow velocity, species, individuals and EPT groups before and after the rainy season by erosion control dam.

연속적으로 설치된 불투과형 사방댐에 의한 지속적인 흐름의 단절은 저서성 대형무척추동물 군집에 영향을 미치는 것으로 확인되었으며, 투과형 사방댐이 불투과형 사방댐보다 장마 이후 저서성 대형무척추동물의 군집 변화가 적은 것으로 확인되었다. 결과적으로 산지계류에 연속적인 사방댐을 설치할 경우 장마 이후 저서성 대형무척추동물의 안정적인 군집을 유지하기 위해서는 하천의 흐름을 유지할 수 있는 투과형 사방댐을 고려할 필요가 있을 것으로 생각된다. 본 연구는 불투과형과 투과형이 각각 설치된 산지계류를 대상으로 조사를 실시하였으며, 추후 사방댐의 투과 유형별 저서성 대형무척추동물의 영향에 대한 추가적인 연구를 진행하여 다양한 산지계류에 최적화된 사방댐을 제시하고자 한다.

References

- Allan, J.D. 1995. Stream ecology: Structure and function of running waters (1st ed.). Chapman & Hall, London, U.K. 388pp.
- An, C.H., Han, J.S., Choi, J.K., and Lee, H.G. 2020. Changes in benthic macroinvertebrate community before and after rainy season in mountain valley with erosion control dam. *Journal of Korean Environmental and Ecology* 34(2): 121-129. (in Korean)
- Bray, J.R. and Curtis, J.T. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monograph* 27: 325-349.
- Craig, D.A. 1987. Some of what you should know about water: Or K.I.S.S. for hydrodynamics. *Bulletin of North American Benthological Society* 4: 178-182.
- Cummins, K.W. 1962. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic water. *The American Midland Naturalist* 67(2): 477-504.
- Davis, S.D., Golladay, S.W., Vellidis, G., and Pringle, C.M. 2003. Macroinvertebrate biomonitoring in intermittent coastal plain stream impacted by animal agriculture. *Journal of Environmental Quality* 32(3): 1036-1043.
- Hong, C., Kim, W.S., and Kwak, I.S. 2017. Changes of benthic macroinvertebrate community composition following natural temperature and precipitation increase. *The Korean Society of Limnology* 50(3): 275-285. (in Korean)
- KFS (Korea Forest Service). 2018. Expanding eco-friendly erosion control structure. http://www.forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/lsls/UI_LSIS_1000_04050_0.html&orgId=lsls&mn=KFS_02_06_05_06_05. Accessed June 2018.
- Kim, H.G., Lee, D.J., Yoon, C.S., and Cheong, S.W. 2016. Assessing biodiversity of benthic macroinvertebrates and influences of several environmental factors on the community structures in Upo wetland by long-term ecological monitoring. *Journal of Korean Environmental Sciences Society* 25(3): 417-424. (in Korean)
- Kim, M.C., Cheon, S.P., and Lee, J.G. 2013. Invertebrates in Korean freshwater ecosystems. Geobook, Seoul.
- Kim, S.D., Yoon, Y.I., Oh, S.W., Lee, H.J., and Bae, W.S. 2012. Numerical simulation for behavior of debris flow according to the variances of slope angle. *Journal of Korea Geo-environmental Society* 13(6): 59-66. (in Korean)
- Koo, G.B. and Ma, H.S. 2018. Analysis of ecological function and percent passing of erosion control dam by openness. *Journal of Agriculture & Life Science* 52(6): 1-12. (in Korean)
- Kwak, I.S., Jeong, S.A., and Jeong, G.S. 2008. Community composition on stream benthic macroinvertebrate in Daegu. *Journal of Korean Environmental Biology* 26(1): 47-55.
- Kwon, O.K. 1990. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea. Mollusca (I). Ministry of Education Press, Seoul.
- Kwon, S.J., Jeon, Y.C., and Park, J.H. 2013. Illustrated book of water creature (Benthic macroinvertebrates). Nature and Ecology.
- Li, Q., Eu, S., Lee, E.J., Lee, Y.E., Kim, M.S., and Im, S.J. 2019. Water quality analysis of in-stream and reservoir water in erosion control dams in the Nakdong river basin. *Journal of Korean Society of Forest Science* 108(3): 329-340.
- Ma, H.S., Jeong, W.O., and Kang, W.S. 2014. Effects on the habitats of benthic macroinvertebrates by construction of Buttress Erosion Control Dam in torrent. *Journal of Agriculture & Life Science* 48(4): 55-62. (in Korean)
- Merritt, R.W., Cummins, K.W., and Berg, M.B. 2008. An introduction to the aquatic insects of north America (4th ed.). Kendall/Hunt Publish. 1158pp.
- Mesa, L.M. 2012. Interannual and seasonal variability of macroinvertebrates in monsoonal climante streams. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 55: 403-410.
- Naiman, R.J., Fetherston, K.L., McKay, S.J., and Chen, J. 1998. Riparian forests. In, Naiman, R.J. and Bilby, R.E. (Eds.), *River Ecology and Management*. Springer, New York, U.S.A. pp. 289-323.
- Nakamura, F., Maita, H., and Araya, T. 1995. Sediment routing analysis based on chronological changes in hillslope and riverbed morphologies. *Earth Surface Process and Landforms* 20(4): 233-346.
- Nam, S.Y., Choi, H.T., and Lim, H.G. 2019. Seasonal variations of stream water temperature and its affecting factors on mountain areas. *Journal of Korean Society on Water Environment* 35(4): 308-315.

- Park, J.H. and Kim, C.S. 2013. Analysis of influence on stream water quality by soil Erosion Control Structures. *Journal of Korean Forest Society* 102(4): 571-577. (in Korean)
- Park, J.H., Ma, H.S., and Kim, K.H. 2012. Influences of the construction of the torrent control structure using customized tetrapods on the stream water ecology at valley. *Journal of Korean Forest Society* 101(1): 113-120. (in Korean)
- Robertson, A.L., Lancaster, J., and Hildrew, A.G. 1995. Stream hydraulics and the distribution of macrocrustacea: A role for refugia. *Freshwater Biology* 33: 469-484.
- 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 Forest Society* 101(3): 480-487. (in Korean)
- Ward, J.V. 1992. *Aquatic insect ecology*. John Wiley & Sons, New York, 456pp.
- Wilhm, J.I. 1972. Graphic and mathematical analyses of biotic communities in polluted streams. *Annual Review of Entomology* 17: 223-252.
- Yoon, B.H., Jun, K.W., Jun, B.H., and Jung, W.K. 2018. A analysis on the debris flow reduction effect of debris barrier through Simulation. *Journal of the Korean Society of Hazzard Mitigation* 18(2): 167-173. (in Korean)