

4대강 보 건설에 따른 실지렁이류(Aquatic Oligochaeta) 서식분포 특성 비교

왕주현¹, 박형준¹, 박정호², 송행섭², 김호준³, 박연정³, 최준길¹, 이황구^{1,*}

상지대학교 환경공학과, ¹상지대학교 생명과학과, ²K-ECO, ³한국수자원공사

Comparison of the habitat distribution characteristics of Aquatic Oligochaeta according to the construction of weirs in four major rivers in South Korea

Ju Hyoun Wang, Hyung Joon Park¹, Jung Ho Park², Haeng Seop Song², Ho Joon Kim³, Yeon Jeong Park³, Jun Kil Choi¹ and Hwang Goo Lee^{1,*}

Department of Environmental Engineering, College of Science & Engineering, Sangji University, Wonju 26339, Republic of Korea

¹Department of Biological Science, College of Science & Engineering, Sangji University, Wonju 26339, Republic of Korea

²Institute of K-ECO, Chuncheon 24341, Republic of Korea

³Korea Institute of Water and Environment, Daejeon 34350, Republic of Korea

*Corresponding author

Hwang-Goo Lee

Tel. 033-730-0434

E-mail. morningdew@sangji.ac.kr

Received: 30 August 2019

First Revised: 25 October 2019

Second Revised: 26 November 2019

Revision accepted: 28 November 2019

Abstract: This study examined the habitat distribution characteristics of Aquatic Oligochaeta according to the construction of weirs in the four major rivers in South Korea. The area was investigated 10 times from March to October in 2018 and a total of 18 species and 35,390 ind. m⁻² were sampled. The dominant species by number was *Limnodrilus hoffmeisteri* (77.1%) and the subdominant species was *Branchiura sowerbyi* (9.5%). A total of 32,418 g m⁻² dry weight was analyzed. The correlation analysis showed that the number of Aquatic Oligochaeta individuals correlated with the sediment depth, clay ratio, silt ratio, sand ratio, cobble ratio, pebble ratio, pH and TOC mg L⁻¹. Specifically, the clay ratio and sediment depth were associated with increases in the number of individuals. The total organic carbon (TOC) increased from March to October and, conversely, the number of individuals tended to decrease.

Keywords: Aquatic Oligochaeta, four major rivers, habitat distribution, correlation analysis

서 론

2012년 완공된 4대강 보는 지속적으로 발생하는 지구 온난화 및 빈번한 가뭄과 홍수 피해 등의 자연재해로 인한

수자원 부족 사태를 해결하기 위해 조성되었으며 (Kang *et al.* 2012; Ji *et al.* 2015), 이·치수 효과를 극대화하여 수자원 문제를 해결하고자 하였다. 하지만 대형 인공구조물인 보의 설치는 하천의 유속을 감소시키고, 퇴적물의 축적량을

증가시켜 시간이 지날수록 부영양화 및 수질오염을 가중시켜 왔다(Walther and Whiles 2008; Kang *et al.* 2012). 보에 의한 정체수역의 형성은 보 상류의 퇴적물 축적량을 증가시키는 것으로 알려져 있으며(Kang *et al.* 2012), 특히, 정체수역 형성으로 인해 퇴적물에 농축되어 있던 유기물(인, 질소, Chl-*a* 등)이 환경적인 변화(수온변화, 유량 증·감)에 의해 재부유, 확산되어 다시 수중으로 용출될 수 있어 하천 환경에 직·간접적인 영향을 미칠 수 있는 것으로 알려져 있다(Jung 2011a). 4대강 보 설치 이후 실시한 연구는 대부분 수질 측정을 이용한 수질분석 연구(Shin *et al.* 2015; Lee *et al.* 2017; Cho *et al.* 2018)가 수행되었으며, 수중생물 어류, 저서성 대형무척추동물 등을 이용한 연구는 부족한 실정이다.

저서성 대형무척추동물 중 실지렁이류(Aquatic Oligochaeta)는 수생태계의 다양한 서식환경에서 가장 흔하게 발견되고, 풍부한 개체군을 유지하는 분류군으로(Yoon *et al.* 2000; Jung 2011b), 국내에 서식하는 실지렁이류는 총 36종이 보고되어 있다(Park *et al.* 2013). 실지렁이류는 서식특성이 굴파는 무리(burrower)로 유속이 느리고 Silt, Sand, Clay와 같이 작은 크기 입자로 이루어진 하상구조의 서식처를 선호하는 것으로 알려져 있다(Lazim and Learner 1987; Kang *et al.* 2017). 또한, 오염 내성범위가 넓어 유기물 오염과 서식처 교란(인공구조물 설치, 하천공사 등)으로 인해 수환경이 악화되어도 개체수가 증가하는 것으로 알려져 있어(Shin *et al.* 2008), 유기물오염평가를 위한 지표생물로 이용되고 있다(Brinkhurst and Kennedy, 1965; Lin and Yo 2008).

국내에서 실시한 실지렁이류에 대한 연구는 분류학적 연구(Yoon *et al.* 2000; Jung 2011b; Park *et al.* 2013; Lee and Jung 2014), 생태독성 실험에 관한 연구(Kang *et al.* 2016), 실지렁이를 이용한 수질정화 연구(Choi 2005; Jun and Park 2005), 서식환경에 따른 생태 연구(Syrovatka *et al.* 2009; Han *et al.* 2013; Kang *et al.* 2017) 등이 수행되었으나 국내 하천에 서식하고 있는 실지렁이류의 전반적인 생태 연구 자료는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 4대강 보 설치 이후 변화된 서식처에 따른 실지렁이류의 분포 특성 비교와 물리적·이화학적 요인에 따른 서식처 선호도를 파악하여 실지렁이류를 이용한 4대강 서식처 관리 방안마련과 국내 실지렁이류 생태 연구에 필요한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사시기

조사시기에 따른 변화양상을 파악하기 위해 2018년 3월부터 10월까지 월 1회 조사를 실시하였으며, 수온상승으로 인해 개체수가 대량 발생할 가능성이 상대적으로 높을 것으로 예상되는 6월과 7월은 월 2회 조사를 수행하였다.

2. 조사지점

조사지역은 한강 이포보(IW: Ipo weir), 금강 세종보(SW: Sejong weir), 영산강 죽산보(JW: Juksan weir), 낙동강1 강정고령보(GGW: Gangjeong-Goryeong weir), 낙동강2 달성보(DW: Dalseong weir)를 대상으로 조사를 수행하였다. 또한, 4대강에 설치되어 있는 5개의 보에서 물리적·이화학적 인 서식환경 차이에 따른 실지렁이류의 분포양상을 파악하기 위해 4개의 세부지점을 선정하였다. 세부지점 선정은 1) 보와 보의 중간지점을 보와보 사이(B: Between weir to weir), 2) 기존 실지렁이류 개체수가 다수 출현했던 것으로 알려져 있는 지점을 주요발생지점(M: Main point of outbreak), 3) 보를 기준으로 상류 500m 이내에서 실시한 지점

Table 1. GPS sampling sites in four major rivers in South Korea

Sampling site		GPS
Ipo weir	B	N: 37°21'30.85", E: 127°34'02.89"
	M	N: 37°21'59.17", E: 127°33'08.38"
	U	N: 37°24'07.97", E: 127°32'32.28"
	D	N: 37°24'27.19", E: 127°32'11.26"
Sejong weir	B	N: 36°26'56.56", E: 127°10'08.72"
	M	N: 36°29'34.69", E: 127°17'47.08"
	U	N: 36°28'24.83", E: 127°15'55.46"
	D	N: 36°28'04.74", E: 127°15'38.22"
Juksan weir	B	N: 34°59'33.32", E: 126°39'51.95"
	M	N: 34°59'47.13", E: 126°41'42.32"
	U	N: 34°58'31.98", E: 126°37'59.51"
	D	N: 34°58'14.89", E: 126°36'53.14"
Gangjeong-Goryeong weir	B	N: 35°51'59.89", E: 128°22'50.98"
	M	N: 35°52'56.63", E: 128°23'35.41"
	U	N: 35°50'32.05", E: 128°27'38.78"
	D	N: 35°50'13.10", E: 128°27'38.94"
Dalseong weir	B	N: 35°47'07.82", E: 128°24'15.28"
	M	N: 35°46'01.96", E: 128°23'14.10"
	U	N: 35°44'14.84", E: 128°24'55.07"
	D	N: 35°44'01.98", E: 128°25'16.21"

B: Between weir to weir, M: Main point of outbreak, U: Upstream of weir, D: Downstream of weir



Fig. 1. Map of sampling weir in four major rivers in South Korea.

을 보상방(U: Upstream of weir), 4) 하류 500 m 이내에서 실시한 지점을 보하방(D: Downstream of weir)으로 총 4개 지점을 선정하여 조사를 수행하였다. 각 조사지역 및 세부 지점의 GPS는 다음과 같다(Table 1, Fig. 1).

3. 조사방법

1) 서식처의 물리적·이화학적 서식환경 분석

서식처 내 물리적 서식환경 분석은 레이저 거리측정계(LASER 1200S, Nikon, Japan)를 이용하여 조사지역의 하폭과 유폭을 측정하였으며, Digital water velocity meter (FP111, Global Water BA1100, USA)를 이용하여 유속과 수심을 측정하였다. 하상구조는 국가 수생태계 건강성 평가 프로그램(ME 2013)에서 사용되는 평가 방법을 적용하여 Boulder, Cobble, Pebble, Gravel, Silt, Sand, Clay의 6단계로 구분하여

상대적인 구성 비율을 측정하였으며, 퇴적량 조사는 Core sampler (지름 80 mm × 높이 1,000 mm)를 이용하여 실시하였다.

서식처 내 이화학적 서식환경 분석은 2018년 3월부터 10월까지 현장에서 수온, 용존산소, pH, 전기전도도를 각 조사지점에서 휴대용 다항목측정기(556MPS, YSI, USA)를 이용하여 측정하였으며, 탁도는 휴대용 탁도계(HI93703, Hanna instruments, USA)를 이용하여 측정하였다. T-N (Total Nitrogen), T-P (Total Phosphorus), TOC (Total Organic Carbon), Chl-*a* (Chlorophyll *a*)는 현장수 2 L를 무균 채수병에 표층수를 채수하여 실험실로 운반하여 수질오염공정시험기준(NIER 2016a)에 따라 분석을 실시하였다.

2) 채집 및 동정

실지렁이류 조사방법은 제4차 전국자연환경조사 지

Table 2. Physical factors for each site of weirs in four major rivers

Site	Factors	RW (m)	WW (m)	WD (cm)	SD (cm)	Bottom structure (%)					
						Clay	Silt	Sand	Cobble	Pebble	Boulder
IW	B	600.0±0.0	401.0±35.3	65.0±21.6	14.8±3.4	18.9±5.7	16.0±4.9	30.0±8.9	19.0±5.4	15.7±4.9	11.7±3.7
	M	600.0±0.0	481.0±85.4	58.5±16.1	63.8±8.3	52.0±15.8	16.0±4.9	11.0±2.0	14.4±5.0	12.0±7.5	4.0±4.9
	U	750.0±0.0	354.0±16.2	56.5±15.2	30.2±9.5	17.5±4.3	10.0±0.0	42.0±9.8	20.0±0.0	14.0±4.9	-
	D	470.0±0.0	335.0±28.4	58.5±21.0	10.8±4.6	14.4±6.8	16.0±4.9	24.0±6.6	24.0±4.9	20.0±0.0	6.0±4.9
SW	B	400.0±0.0	263±21.5	76.0±22.4	34.6±14.9	30.0±0.0	22.0±4.0	27.0±4.6	13.0±4.6	10.0±0.0	-
	M	550.0±0.0	286.0±46.5	66.0±27.6	55.0±8.5	55.0±6.7	30.0±0.0	14.0±4.9	1.7±3.7	-	-
	U	600.0±0.0	461.0±35.1	50.0±8.9	38.8±11.5	43.0±7.8	32.0±4.0	16.0±7.7	9.0±2.0	-	-
	D	600.0±0.0	396.0±33.8	52.0±21.4	44.2±11.9	55.0±5.0	30.0±0.0	15.0±5.0	-	-	-
JW	B	350.0±0.0	263.0±34.9	57.0±14.9	15.0±6.4	19.0±3.0	16.0±4.9	35.0±6.7	12.5±2.5	15.0±5.0	5.0±0.0
	M	300.0±0.0	238.0±8.7	56.0±15.0	38.9±14.5	30.0±0.0	22.0±4.0	20.0±0.0	18.0±4.0	10.0±0.0	-
	U	650.0±0.0	309.0±10.4	58.0±15.4	16.7±5.1	29.0±3.0	25.0±5.0	29.0±3.0	11.0±3.0	6.0±4.9	-
	D	250.0±0.0	186.0±16.1	62.0±16.0	23.1±7.7	21.0±9.4	23.0±6.4	21.0±8.3	23.0±7.8	11.1±2.1	4.0±3.7
GGW	B	970.0±0.0	777.0±179	56.0±20.1	24.4±8.3	21.0±3.0	26.0±8.0	30.0±6.3	13.0±4.6	10.0±0.0	-
	M	950.0±0.0	538.0±271	47.0±9.0	50.3±12.8	21.0±3.0	27.0±4.6	39.0±8.3	13.0±4.6	-	-
	U	420.0±0.0	349.0±25.9	57.0±14.9	14.4±8.0	10.0±0.0	14.0±4.9	53.0±9.0	17.0±4.6	10.0±0.0	-
	D	1000.0±0.0	486.0±15.0	55.0±8.1	27.4±11.7	13.0±6.4	10.0±0.0	32.0±14.0	27.0±6.4	14.0±4.9	8.0±4.0
DW	B	620.0±0.0	387.0±11.0	50.5±3.5	42.6±8.4	44.0±4.9	24.0±4.9	22.0±4.0	10.0±0.0	-	-
	M	770.0±0.0	538.0±8.7	47.5±6.0	39.1±8.7	37.0±4.6	30.0±0.0	20.0±0.0	13.0±4.6	-	-
	U	600.0±0.0	537.0±19.0	48.0±4.0	21.6±7.5	30.0±0.0	21.0±3.0	20.0±0.0	19.0±3.0	10.0±0.0	-
	D	580.0±0.0	464±8.0	52.0±9.8	12.1±5.5	23.0±4.6	20.0±6.3	22.0±8.7	20.0±0.0	11.0±3.0	8.0±4.0

IW: Ipo weir, SW: Sejong weir, JW: Juksan weir, GGW: Gangjeong-Goryeong weir, DW: Dalseong weir, B: Between weir to weir, M: Main point of outbreak, U: Upstream of weir, D: Downstream of weir, RW: River width, WW: Water width, WD: Water depth, SD: Sediment depth

침 (ME 2012), 국가 수생태계 건강성 평가 프로그램 (ME 2013), 생물측정망 조사 및 평가지침 (NIER 2016b)에 의거하여 실시하였다. 정량 채집을 위해 Ponar grap (316 stainless steel, WIDCO, USA)을 이용하여 수심 0.5 m와 1.0 m에서 각각 2회 (0.1 m²) 채집 후 Sieve (mesh size 0.5 mm)를 이용하여 체질 (Screening) 후 포집하였으며, 실지렁이류 개체 수는 1.0 m² (0.1 m² × 10)로 환산하여 분석을 실시하였다. 포집된 시료는 현장에서 90% ethyl alcohol 용액으로 고정 한 후 실험실로 운반하여 동정하였다. 실지렁이류의 동정은 크기가 큰 개체의 경우 표본의 투명화를 위해 글리세린에 10~15분간 담가 투명화 실시 후 동정하였고, 작은 개체 들은 그대로 관찰하여 동정하였다. Timm (2009)과 Brinkhurst (1971)의 검색도설을 이용하여 동정을 실시하였으며, 두 검색도설을 통해 본 연구에서 출현한 모든 실지렁이류 의 종 동정이 가능하였다.

3) 건조량 측정

동정을 마친 표본은 60°C 조건에서 48시간 건조시킨 후 Chemical balance를 이용하여 소수점 넷째자리까지 건조량을 측정하였으며, 측정이 불가능한 표본은 “0” 처리하였다.

4) 통계분석

채집된 실지렁이류와 물리적·이화학적인 요인들 간의 상관성을 파악하고자 통계프로그램인 IBM SPSS ver. 21을 이용하여 다변량 상관관계분석 (Multivariate correlation analysis)을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 물리적·이화학적 서식환경 분석

조사지역의 물리적 서식환경을 분석한 결과는 다음과 같다 (Table 2). 조사지점별 하폭은 250.0±0.0 (죽산보: 보하방)~1000.0±0.0 (강정고령보: 보하방) m의 범위로 강정고령보 보하방이 가장 넓고, 죽산보 보하방이 가장 좁은 것으로 측정되었다. 수폭은 186.0±16.1 (죽산보: 보하방)~777.0±17.9 (강정고령보: 보상방) m의 범위로 강정고령보 보상방이 가장 넓고, 죽산보 보하방이 가장 좁은 것으로 확인되었다. 수심은 47.0±9.0 (강정고령보: 주요발생지점)~76.0±22.4 (세종보: 보와보 사이) cm의 범위로 세종보 보와보 사이가 가장 깊고, 강정고령보 주요발생지점이 가장

Table 3. Chemical factors for each site of weirs in four major rivers

Site	Factors	WT (°C)	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	DO (mg L^{-1})	pH	TU (FTU)	T-N (mg L^{-1})	T-P (mg L^{-1})	TOC (mg L^{-1})	Chl- <i>a</i> (mg m^{-3})
IW	B	18.1±4.2	207.1±35.2	8.4±1.5	7.9±0.4	11.4±6.5	4.1±1.0	0.1±0.1	2.5±0.6	8.2±5.6
	M	18.8±4.2	213.0±55.3	8.4±2.6	8.2±0.6	16.6±25.0	4.6±1.1	0.1±0.2	2.8±1.1	6.0±2.4
	U	18.9±4.1	237.1±45.2	8.8±2.2	8.3±0.6	14.5±23.2	4.6±1.3	0.1±0.2	2.9±1.1	9.2±6.7
	D	19.1±4.4	224.9±43.9	9.3±2.1	8.2±0.6	7.5±9.8	4.9±1.6	0.1±0.1	2.6±1.0	5.8±2.3
SW	B	18.6±5.3	272.4±90.7	9.4±2.8	7.8±0.8	7.0±5.1	5.1±2.5	0.1±0.1	3.0±0.4	9.7±6.1
	M	19.7±3.7	258.2±82.5	7.6±1.5	7.4±0.6	17.9±12.1	5.4±2.2	0.3±0.2	3.5±0.8	13.5±6.6
	U	18.2±4.4	255.2±73.6	7.9±1.4	7.3±0.6	8.0±5.4	4.7±1.6	0.1±0.1	2.9±0.4	7.5±2.6
	D	19.1±4.6	277.8±91.0	9.0±2.3	7.8±0.6	29.6±49.9	5.0±1.6	0.2±0.1	3.5±0.7	11.2±5.1
JW	B	21.6±5.3	265.4±73.3	8.0±2.2	8.1±0.6	7.2±8.7	5.4±1.3	0.2±0.0	4.1±0.8	25.7±26.0
	M	22.0±5.4	302.0±97.3	9.0±2.5	7.9±0.6	8.1±8.3	6.2±1.5	0.2±0.1	4.3±0.9	17.3±12.1
	U	21.3±5.2	260.6±71.8	8.6±3.4	8.2±0.5	8.6±5.5	5.4±1.5	0.2±0.1	4.2±0.8	19.4±7.2
	D	20.8±5.2	268.0±73.5	7.5±2.6	7.9±0.3	9.0±9.8	6.1±1.2	0.2±0.1	4.4±1.0	22.2±14.7
GGW	B	22.1±5.0	234.6±62.4	8.5±2.2	8.4±0.7	9.5±16.9	5.1±1.5	0.1±0.0	3.7±0.9	11.5±9.1
	M	20.6±5.7	224.3±64.6	9.1±2.6	8.6±0.5	8.4±11.3	5.9±2.0	0.1±0.1	3.6±1.0	11.7±8.7
	U	21.6±5.5	226.1±66.1	9.3±2.6	8.8±0.6	8.0±13.9	4.9±2.2	0.1±0.0	3.8±0.9	13.2±16.5
	D	21.4±4.9	245.7±74.1	8.6±1.3	8.4±0.6	8.8±12.7	4.8±1.8	0.1±0.1	3.6±1.0	11.5±10.8
DW	B	22.5±5.5	327.7±86.7	8.5±2.8	8.5±0.5	15.3±25.5	4.8±1.4	0.1±0.1	4.4±1.4	18.3±10.8
	M	21.3±6.2	313.1±92.6	7.9±2.6	8.3±0.5	8.5±10.9	5.7±2.3	0.1±0.1	4.3±0.7	16.8±13.1
	U	21.7±5.0	304.7±90.8	8.2±2.7	8.2±0.7	8.1±10.0	5.5±2.3	0.1±0.1	4.5±1.4	18.9±9.1
	D	21.3±5.0	287.6±81.6	9.1±1.9	8.5±0.4	8.6±14.5	5.2±1.1	0.1±0.1	4.0±1.0	15.8±11.5

IW: Ipo weir, SW: Sejong weir, JW: Juksan weir, GGW: Gangjeong-Goryeong weir, DW: Dalseong weir, B: Between weir to weir, M: Main point of outbreak, U: Upstream of weir, D: Downstream of weir, WT: Water temperature, EC: Electric conductivity, DO: Biological oxygen, pH: Potential of hydrogen ions, TU: Turbidity, T-N: Total nitrogen, T-P: Total phosphorus, TOC: Total organic carbon, Chl-*a*: Chlorophyll-*a*

얇은 것으로 조사되었다. 실지렁이가 서식하는 퇴적토의 깊이는 10.8 ± 4.6 (이포보: 보하방)~ 63.8 ± 8.3 (이포보: 주요발생지점) cm의 범위로 이포보 주요발생지점이 가장 깊고, 이포보 보하방이 가장 얇은 것으로 나타났다. 실지렁이 서식과 가장 연관성이 높은 하상구조인 Clay 비율은 55.0 ± 6.7 (세종보: 주요발생지점)~ 10.0 ± 0.0 (강정고령보: 보상방)의 범위, Silt 비율 10.0 ± 0.0 (이포보: 보상방, 강정고령보: 보하방)~ 32.0 ± 4.0 (세종보: 보하방)의 범위, Sand 비율 11.0 ± 2.0 (이포보: 주요발생지점)~ 42.0 ± 9.8 (이포보: 보상방)의 범위로 대부분 보와보 사이, 주요발생지점, 보상방에서 높은 비율을 나타냈으며, 특히 세종보에서 Clay의 비율이 높은 것으로 확인되었다. 일반적으로 하천은 상류에서 하류로 갈수록 Sand, Silt, Clay 등의 단순한 하상구조로 이루어지며, 다양한 유기물질이 축적되는 것으로 알려져 있다(Allan 1995; Bea *et al.* 2003). 특히 횡단구조물(보)과 같은 인공구조물은 물의 흐름을 방해해 유속감소로 인한 정수역화 및 유기 퇴적물의 축적을 가중시키게 된다(Walther and Whiles 2008; Kang *et al.* 2012). 실지렁이류는 일반적으로 Sand보다는 Clay와 같이 작은 크기의 입자로 이루어진 하상구조를 선호하며(Ladle 1971; Lazim and Learner

1987; Kang *et al.* 2017), 자갈 이상의 하상에서는 중수 및 개체가 감소하는 것으로 알려져 있다(Brinkhurst 1971). 따라서 퇴적토층의 깊이와 Clay의 비율이 높고, 자갈 이상의 하상재료 비율이 낮은 것으로 확인된 세종보는 실지렁이류가 가장 선호하는 물리적 서식환경을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

조사지역의 이화학적 서식환경을 분석한 결과는 다음과 같다(Table 3). 수온은 18.1 ± 4.2 (이포보: 보와보 사이)~ 19.7 ± 3.7 (세종보: 주요발생지점)의 범위로 나타났다. 전기전도도는 207.1 ± 35.2 (이포보: 보와보 사이)~ 327.7 ± 86.7 (달성보: 보와보 사이)의 범위로 측정되었다. DO는 8.0 ± 2.2 (죽산보: 보와보 사이)~ 9.4 ± 2.8 (세종보: 보와보 사이)의 범위로 확인되었다. pH는 값의 차이는 적으므로 나타났으며, 탁도는 7.0 ± 5.1 (세종보: 보와보 사이)~ 29.6 ± 49.9 (세종보: 보하방) FTU의 범위로 세종보의 보하방이 다른 지역과 조사지점들에 비해 매우 탁한 것으로 조사되었다. 조사지점별 T-N, T-P 농도의 차이는 적으므로 확인되었다. TOC 농도는 2.5 ± 0.6 (이포보: 보와보 사이)~ 4.5 ± 1.4 (달성보: 보상방) mg L^{-1} 의 범위로 나타났다. Chl-*a*는 5.8 ± 2.3 (이포보: 보하방)~ 25.7 ± 26.0 (죽산보: 보와보

Table 4. Number of species, individuals, dominant species and subdominant species at each site of weirs in four major rivers

Site	Factors	Species	Individuals (ind. m ⁻²)	Dominant species (R-A%)	Subdominant species (R-A%)	Dry weight (g m ⁻²)
IW	B	9	1,210	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (49.6%)	<i>Branchiura sowerbyi</i> (19.8%)	1.110
	M	3	3,590	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (74.1%)	<i>Branchiura sowerbyi</i> (25.1%)	6.599
	U	6	1,320	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (85.6%)	<i>Branchiura sowerbyi</i> (6.8%)	1.358
	D	7	3,890	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (76.3%)	<i>Branchiura sowerbyi</i> (18.5%)	7.127
	Total	11	10,010	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (73.5%)	<i>Branchiura sowerbyi</i> (19.5%)	16.194
SW	B	8	1,230	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (80.5%)	<i>Tubifex tubifex</i> (8.1%)	0.903
	M	7	4,760	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (84.9%)	<i>Limnodrilus claparedeanus</i> (6.9%)	3.506
	U	5	1,740	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (58.0%)	<i>Limnodrilus claparedeanus</i> (31.0%)	2.232
	D	6	3,550	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (77.7%)	<i>Branchiura sowerbyi</i> (16.9%)	3.586
	Total	10	11,280	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (78.0%)	<i>Limnodrilus claparedeanus</i> (9.1%)	10.227
JW	B	6	1,770	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (83.1%)	<i>Tubifex tubifex</i> (9.0%)	0.323
	M	5	1,170	<i>Tubifex tubifex</i> (47.0%)	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (39.3%)	0.526
	U	5	1,660	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (80.7%)	<i>Tubifex tubifex</i> (8.4%)	0.931
	D	4	900	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (84.4%)	<i>Tubifex tubifex</i> (78%)	0.589
	Total	8	5,500	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (73.3%)	<i>Tubifex tubifex</i> (15.6%)	2.369
GGW	B	5	960	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (81.3%)	<i>Tubifex tubifex</i> (14.6%)	1.388
	M	3	530	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (92.5%)	<i>Dero obtusa</i> (5.7%)	0.068
	U	2	100	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (80.0%)	<i>Tubifex tubifex</i> (20.0%)	0.023
	D	2	300	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (70.0%)	<i>Tubifex tubifex</i> (30.0%)	0.018
	Total	7	1,890	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (82.5%)	<i>Tubifex tubifex</i> (7.4%)	1.497
DW	B	9	1,020	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (78.4%)	<i>Branchiura sowerbyi</i> (5.9%)	0.532
	M	8	2,440	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (85.2%)	<i>Bothrioneurum vejdoskynum</i> (4.1%)	0.676
	U	10	3,070	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (83.1%)	<i>Tubifex tubifex</i> (5.2%)	0.823
	D	3	180	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (66.7%)	<i>Branchiura sowerbyi</i> (22.2%)	0.100
	Total	13	6,710	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (82.7%)	<i>Dero obtusa</i> (4.0%)	2.131

IW: Ipo weir, SW: Sejong weir, JW: Juksan weir, GGW: Gangjeong-Goryeong weir, DW: Dalseong weir, B: Between weir to weir, M: Main point of outbreak, U: Upstream of weir, D: Downstream of weir

사이) mg m⁻³의 범위로 지점에 따른 변화폭이 큰 것으로 확인되었다.

2. 실지렁이류 서식 분포 및 건중량, TOC 농도와의 상관분석

1) 조사지역별 실지렁이류 분포

실지렁이류 조사 결과 총 18종 35,390 ind. m⁻² 개체가 출현하였으며, 각 조사대상지 별로 이포보(한강) 11종 10,010 ind. m⁻², 세종보(금강) 10종 11,280 ind. m⁻², 죽산보(영산강) 8종 5,500 ind. m⁻², 강정고령보(낙동강1) 7종 1,890 ind. m⁻², 달성보(낙동강2) 13종 6,710 ind. m⁻² 개체가 확인되었다(Table 4).

각 지점별 실지렁이류 종수 분석결과 달성보를 제외하고 보와보 사이에서 가장 다양한 실지렁이류가 확인되었으며, 달성보는 보상방에서 가장 많은 종이 출현하였다. 각 지점별 개체수 분석결과 이포보와 세종보의 경우 주요발

생지점에서 실지렁이류 개체수가 가장 많이 출현하였으며, 죽산보와 강정고령보는 보와보 사이, 달성보는 보상방에서 가장 많은 개체가 확인되었다(Table 4). 일반적으로 실지렁이류, 갈따구류 등 내성범위가 넓은 종들은 서식처 교란, 하상구조의 단순화, 수질악화 등 서식처 수환경이 악화될수록 개체수가 증가하는 것으로 알려져 있는데(Choi 2005; Na 2005; Shin et al. 2008; Lee et al. 2012), 조사지역 중 상대적으로 실지렁이류의 개체수가 높게 출현한 이포보와 세종보는 불안정한 수환경을 유지하고 있는 것으로 판단되며, 대부분의 실지렁이 개체수는 보 설치에 따라 정수화된 지역(보와보 사이, 주요발생지점, 보상방)에서 많은 개체가 서식하는 것으로 확인되었다.

조사지역에서 출현한 실지렁이류의 우점종 및 아우점종을 분석한 결과는 다음과 같다(Table 4). 조사지역별로 이포보는 실지렁이(*Limnodrilus hoffmeisteri*)가 73.5%로 우점, 아가미지렁이(*Branchiura sowerbyi*)가 19.5%로 아우점, 세종보는 실지렁이가 78.0%로 우점, 긴뿔실지렁이(*Limnodri-*

Table 5. Dry weight of each species in four major rivers

Family	Species	Dry weight (g m ⁻²)				
		IW	SW	JW	GGW	DW
Tubificidae	<i>Branchiura sowerbyi</i>	9.898	3.633	1.140	0.019	0.288
	<i>Bothrioneurum vejdoskynum</i>	0.019	0.090	-	0.010	0.002
	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	5.984	5.343	0.970	1.462	1.748
	<i>Limnodrilus claparedeanus</i>	0.112	1.052	0.223	-	0.049
	<i>Limnodrilus udekimianus</i>	0.042	0.081	-	-	-
	<i>Tubifex tubifex</i>	0.007	0.028	0.036	0.006	0.003
Naididae	<i>Nais variabilis</i>	-	-	-	-	0.001
	<i>Nais bretheri</i>	-	-	-	-	0.013
	<i>Paranaisfrisci</i> (unrecorded species of Korea)	-	-	-	-	0.001
	<i>Dero obtusa</i>	-	-	-	-	0.001
Lumbriculidae	<i>Lumbriculus variegatus</i>	0.001	-	-	-	-
Lumbriculidae	<i>Eisenia tetradra</i>	0.131	-	-	-	0.025

IW: Ipo weir, SW: Sejong weir, JW: Juksan weir, GGW: Gangjeong-Goryeong weir, DW: Dalseong weir

lus claparedeanus)가 9.1%로 아우점, 죽산보는 실지렁이가 73.3%로 우점, 참실지렁이 (*Tubifex tubifex*)가 15.6%로 아우점, 강정고령보는 실지렁이가 82.5%로 우점, 참실지렁이가 7.4%로 아우점, 달성보는 실지렁이가 82.7%로 우점, 몽뚝물지렁이 (*Dero obtusa*)가 4.0%로 아우점하는 것으로 분석되었다. 조사지점별로 실지렁이가 73.3~82.7% 범위의 매우 높은 비율로 우점하고 있었으며, 죽산보 주요발생지점에서만 참실지렁이가 우점하고 있는 것으로 나타났다.

2) 실지렁이 건중량 및 TOC 농도와의 상관분석

조사지역에서 출현한 실지렁이류의 건중량 분석결과 지역별로 이포보 총 16.194 g m⁻², 세종보 총 10.227 g m⁻², 죽산보 총 2.369 g m⁻², 강정고령보 총 1.497 g m⁻², 달성보 총 2.131 g m⁻²로 측정되어 상대적으로 이포보와 세종보에서 출현한 실지렁이류의 건중량이 높은 것으로 확인되었으며, 이는 실지렁이류의 개체수 출현율과 비례하는 것으로 나타났다. 각 지점별로는 이포보 1.110 (보와보 사이)~7.127 (보하방) g m⁻², 세종보 0.903 (보와보 사이)~3.586 (보하방) g m⁻², 죽산보 0.323 (보와보 사이)~0.931 (보상방) g m⁻², 강정고령보 0.018 (보하방)~1.388 (보와보 사이) g m⁻², 달성보 0.100 (보하방)~0.823 (보상방) g m⁻²의 범위로 분석되었다 (Table 4). 한편, 달성보의 경우 죽산보 보다 실지렁이류의 개체수가 많이 채집되었으나 건중량에서는 죽산보 보다 낮은 것으로 계측되었는데, 이는 달성보에서 채집된 실지렁이류 대부분이 개체 크기 (total length)가 작은 반면 죽산보에서는 상대적으로 크기가 크고 비대한 아가미지렁이가 다수 출현했기 때문인 것으로 판단된다.

Table 6. Correlation analysis of the dry weight (g m⁻²) of each species and TOC (mg L⁻¹)

Factors	TOC (mg L ⁻¹)
<i>Branchiura sowerbyi</i>	-0.111*
<i>Bothrioneurum vejdoskynum</i>	-0.117
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	-0.068*
<i>Limnodrilus claparedeanus</i>	0.292
<i>Limnodrilus udekimianus</i>	0.268
<i>Tubifex tubifex</i>	0.169
<i>Nais variabilis</i>	-0.341
<i>Nais bretheri</i>	-0.196
<i>Paranaisfrisci</i>	-0.188
<i>Dero obtusa</i>	-0.085

*p<0.05

조사지역에서 출현한 실지렁이류의 과별 건중량은 실지렁이과 (Tubificidae) 32.245 g m⁻², 뉘시지렁이과 (Lumbriculidae) 0.156 g m⁻², 물지렁이과 (Naididae) 0.016 g m⁻², 실지렁이붙이과 (Lumbriculidae) 0.001 g m⁻²의 순으로 나타났으며, 종별 건중량은 실지렁이 15.507 g m⁻², 아가미지렁이 14.978 g m⁻²로 총 건중량 32.418 g m⁻²의 94.0%에 해당하는 건중량을 차지하고 있는 것으로 나타났다 (Table 5). 실지렁이류 출현 종별 건중량과 TOC 농도와의 상관 분석결과 실지렁이와 아가미지렁이에서 TOC 농도와 통계적인 음의 상관성을 갖는 것으로 분석되었다 (Table 6). 일반적으로 실지렁이류는 유기물과 양의 상관성을 갖는 것으로 알려져 있으나 (Brinkhurst 1971), 본 연구결과에서는 실지렁이와 아가미지렁이가 TOC 농도와 음의 상관성을 보여 기존 연구와는 반비례 관계로 나타났다. 이는 실지렁이와 아가미지렁이 개체수의 증가는 유기물의 양보다는 물리적인 서식환

Table 7. Multivariate correlation analysis for each item according to the number of species and number of individuals

Factors	RW (m)	WW (m)	WD (cm)	SD (cm)	Bottom structure (%)					
					Clay	Silt	Sand	Cobble	Pebble	Boulder
Species	-0.111	-0.117	-0.068	0.292**	0.268**	0.169*	-0.341**	-0.196**	-0.188*	-0.085
Individuals (ind. m ⁻²)	-0.081	-0.064	-0.009	0.307**	0.297**	0.056	-0.355**	-0.109	-0.068	-0.035

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ in the correlation analysis; RW: River width, WW: Water width, WD: Water depth, SD: Sediment depth

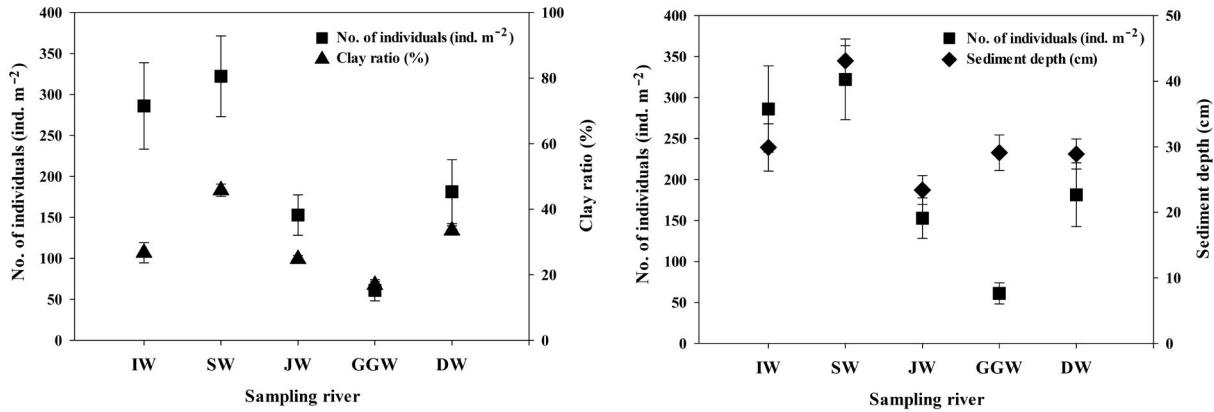


Fig. 2. Analysis of the number of individuals (ind. m⁻²), clay ratio (%), and sediment depth (cm) in four major rivers. IW: Ipo weir, SW: Sejong weir, JW: Juksan weir, GGW: Gangjeong-Goryeong weir, DW: Dalseong weir. Vertical bar: \pm SE.

경(하상구조), 생활사 차이, 포식자의 증가 등 다양한 요인들에 의한 영향이 더 큰 것으로 판단되며, 향후 추가적인 연구수행을 통해 개체수 변화의 명확한 요인 파악이 필요할 것으로 생각된다.

3. 다변량 상관분석 (Multivariate correlation analysis)

물리적·이화학적 요인을 대상으로 실지렁이류의 종수 및 개체수와와의 상관관계를 파악하기 위해 다변량 상관분석을 실시하였으며, 실지렁이류와 물리적 요인들 간의 상관분석 결과는 다음과 같다(Table 7). 실지렁이류의 종수와 퇴적토의 깊이, Clay, Silt의 비율과는 양의 상관성을 갖는 것으로 나타났으며, Sand, Cobble, Pebble의 비율과는 음의 상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 실지렁이류의 개체수는 퇴적토의 깊이, Clay의 비율과 양의 상관성을 갖고, Sand의 비율과는 음의 상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 따라서 실지렁이류는 물리적인 요인 중 퇴적토의 깊이가 깊고, Clay, Silt의 비율이 높을수록 증가하며, Sand, Cobble, Pebble의 비율이 높을수록 감소하는 것으로 판단된다. 실

지렁이류의 개체수와 통계적으로 높은 상관성을 갖는 퇴적토의 깊이와 Clay의 비율을 대상으로 비교·분석한 결과 (Fig. 2) 조사지역별 실지렁이 개체수와 퇴적토의 깊이 및 Clay의 비율은 개체수의 증감에 따라 매우 유사한 양상을 보였다. 실지렁이의 개체수가 상대적으로 많이 출현한 세종보에서 퇴적토의 깊이와 Clay의 비율이 가장 높았으며, 개체수가 적은 강정고령보에서 Clay의 비율이 가장 낮은 것으로 분석되었다. 실지렁이류는 일반적으로 수환경이 악화되고, 단순한 하상구조에서 개체수가 증가하는 것으로 알려져 있는데 (Shin *et al.* 2008), 본 조사결과 다른 조사지역에 비해 상대적으로 많은 개체수가 출현하고, Clay 비율 및 퇴적토의 깊이가 깊은 세종보에서 수환경이 가장 불안정하게 유지되고 있는 것으로 판단된다.

실지렁이류와 이화학적 요인들 간의 상관분석 결과는 다음과 같다(Table 8). 실지렁이류의 종수 및 개체수와 pH, TOC는 모두 음의 상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 다변량 상관분석 결과 하상구조가 단순한 Clay 및 Silt의 비율이 높을수록 실지렁이류의 개체수가 증가한 반면 유기물의 함량이 많을수록 증가하는 TOC는 실지렁이류 개체수와 반비례 관계로 분석되었다. 이는 본 연구에서 채집된 실지

Table 8. Multivariate correlation analysis for each item according to the number of species and number of individuals

Factors	WT (°C)	EC (μS cm ⁻¹)	DO (mg L ⁻¹)	pH	TU (FTU)	T-N (mg L ⁻¹)	T-P (mg L ⁻¹)	TOC (mg L ⁻¹)	Chl-a (mg m ⁻³)
Species	-0.062	0.108	-0.104	-0.310**	-0.033	0.066	0.018	-0.176*	0.071
Individuals (ind. m ⁻²)	0.010	0.102	0.086	-0.214**	0.069	-0.001	0.079	-0.195**	0.035

p*<0.05, *p*<0.01 in the correlation analysis; WT: Water temperature, EC: Electric conductivity, DO: Dissolved oxygen, pH: Hydrogen exponent, TU: Turbidity, T-N: Total nitrogen, T-P: Total phosphorus, TOC: Total organic carbon, Chl-a: Chlorophyll a

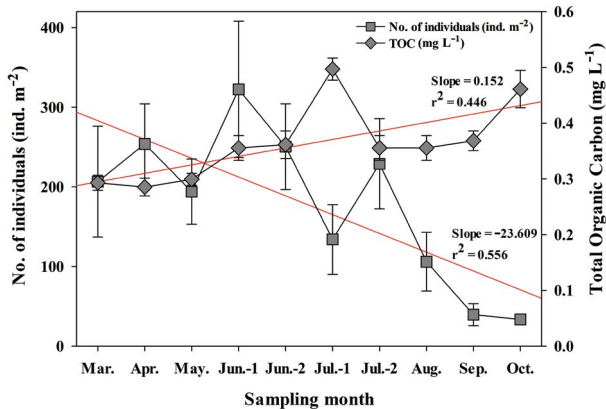


Fig. 3. Analysis of the number of individuals (ind. m⁻²) and TOC (mg L⁻¹) in the four major rivers by sampling month. Vertical bar: ±SE.

령이류 대부분이 겨울과 봄철 유성생식을 통해 개체수가 증가하는 것으로 알려져 있는 실지렁이과에 속하는 종 (Brinkhurst 1971)들이 개체수가 대부분을 차지하였으며, 무성생식을 하고 유기물의 양이 많을수록 개체수가 빠르게 (월 2회 이상 증식) 증가하는 물지렁이과에 속하는 종들의 개체수 출현이 상대적으로 매우 적었기 때문인 것으로 판단된다.

4. 조사시기별 실지렁이류의 개체수, TOC 농도 비교 분석

조사지역에서 출현한 실지렁이류의 개체수와 TOC 농도 간의 상관성을 파악하고자 조사시기별 분석을 실시하였다(Fig. 3). 3월부터 10월까지 실지렁이류 개체수는 감소하고 TOC 농도는 증가하는 반비례 경향성을 나타냈다. 조사시기, 실지렁이류 개체수, TOC 농도의 상관분석 결과 조사시기는 실지렁이류 개체수와 음의 상관성을 나타내고, TOC 농도와는 양의 상관성을 갖는 것으로 분석되었다 (Table 9). 일반적으로 유성생식을 하는 실지렁이과는 12월부터 3월까지 산란하기 때문에 봄과 초여름(1월~6월)에 개체수가 증가하였다가 다시 감소하는 것으로 알려져 있

Table 9. Multivariate correlation analysis for each item according to the sampling month, number of individuals (ind m⁻²), and TOC (mg L⁻¹)

Factors	Individuals (ind. m ⁻²)	TOC (mg L ⁻¹)
Sampling month		
Individuals (ind. m ⁻²)	-0.576**	0.639**
		-0.346*

p*<0.05, *p*<0.01

는데 (Brinkhurst 1971), 전체 조사시기 중 3월부터 6월 1차 조사까지는 실지렁이류의 개체수가 증가하다 이후 감소하는 경향성을 보인 본 연구 분석결과와 일치하는 것으로 나타났다. 이는 물지렁이과에서 850개체 (1.6%)가 채집된 반면, 실지렁이과에서는 53,320개체 (98.2%)가 출현했기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 일반적으로 실지렁이과 종들은 대부분 Clay로 이루어진 하상에서 생활사를 유지하는 반면, 물지렁이과 종들은 하천 수변부의 수생식물에 주로 산란하고 서식하는 생활사 차이를 보이는데 (Brinkhurst 1971), 본 조사시 하천 수변부 조사가 아닌 Clay 비율이 높고 퇴적토가 축적되어 있는 지역에서 조사가 이루어졌기 때문으로 판단된다.

적 요

본 연구는 4대강 보 설치에 따른 실지렁이류의 분포 특성을 파악하고자 연구를 실시하였다. 현지조사는 2018년 3월부터 10월까지 총 10회 실시하였다. 조사결과 총 18종 35,390 ind. m⁻² 개체가 출현하였다. *Limnodrilus hoffmeisteri* (77.1%)이 우점종, *Branchiura sowerbyi* (9.5%)이 아우점종으로 분석되었다. 건중량 분석결과 총 32.418 g m⁻²이 계측되었으며, 각 종별 건중량과 TOC 농도와의 상관 분석 결과 실지렁이, 아가미지렁이와 TOC 농도 간 음의 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 실지렁이류와 물리적·이화학적 요인들 간의 다변량 상관분석 결과 퇴적토 깊이, Clay 비율, Silt 비율, Cobble 비율, Pebble 비율, pH, TOC 항목과 상관성을

갖는 것으로 분석되었다($p < 0.05$, $p < 0.01$). 조사지역별 실지렁이류 개체수와 퇴적토 깊이 및 Clay의 비율과 비교·분석한 결과 퇴적토의 깊이와 Clay의 비율이 높을수록 개체수가 많은 것으로 나타났다. 조사시기에 따른 실지렁이류의 개체수, TOC 비교·분석결과 3월부터 10월까지 개체수는 감소하는 경향성을 나타냈으며, TOC는 증가하는 경향성을 갖는 것으로 분석되었다.

사 사

본 연구는 한국수자원공사(과제번호: M180046, 과제명: 환경변화에 따른 대하천 대발생 생물 모니터링 및 평가)의 지원을 받아 수행한 연구입니다.

REFERENCES

- Allan DJ. 1995. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall, London. p. 388.
- Bae YJ, DH Won, DH Hoang, YH Jin and JM Hwang. 2003. Community composition and functional feeding groups of aquatic insects according to stream order from the Gapyeong creek in Gyeonggi-do, Korea. Korean J. Ecol. Environ. 36:21-28.
- Brinkhurst RO and CR Kennedy. 1965. Studies on the biology of the Tubificidae (Annelida, Oligochaeta) in a polluted stream. J. Anim. Ecol. 34:429-443.
- Brinkhurst RO. 1971. Aquatic Oligochaeta of the World. Toronto University Press, Toronto, Canada.
- Choi YH. 2005. The Bloodworm (*Limnodrilus socialis*) using capacity for treatment of aquaculture wastewater. MS Thesis, Chungju University, Chungju, Korea.
- Cho HK, HJ Lim and SM Kim. 2018. Comparison of water quality before and after four major river project for water monitoring stations located near 8 weirs in Nakdong River. J. Agric. Life Sci. 52:89-101.
- Han MS, MH Kim, KK Kang, YE Na, MR Kim, LJ Choe and KJ Cho. 2013. Growth characteristics of Tubificidae spp. by flooding during winter in paddy fields. J. Korea Soc. Environ. Restor. Technol. 16:19-26.
- Ji U, EK Jang and W Kim. 2015. Long-term bed change analysis and equilibrium bed elevation prediction after weir construction in Nakdong River. J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc. 16: 7089-7097.
- Jun TS and JH Park. 2005. The blood worm, *Limnodrilus socialis*'s using capacity for treatment of aquaculture wastewater. Chungju Univ. Thesis Collect. 40:201-206.
- Jung JH. 2011a. A Study on Estimation of Self-purification and Release Characteristics from Sediment in Urban Stream. MS Thesis, Kyung Hee University. p. 74.
- Jung JW. 2011b. Naidid oligochaetes (Annelida: Clitellata) from the Seokhyeoncheon and Changreungcheon Steams with new record of *Nais variabilis*. Korean J. Limnol. 44:407-410.
- Kang HJ, MK Bae and YS Park. 2016. Ecotoxicological studies using aquatic Oligochaetes: Review. Korean J. Ecol. Environ. 49:343-353.
- Kang HJ, MK Bae and YS Park. 2017. Behavioral response of *Tubifex tubifex* to changes of water temperature and structure composition. Korean J. Ecol. Environ. 50:355-361.
- Kang MK, IY Choi, JH Park and JH Choi. 2012. Investigation of the effect of weirs construction in the Han River on the characteristics of sediments. J. Korean Soc. Environ. Eng. 34:597-603.
- Ladle M. 1971. The biology of Oligochaeta from Dorset chalk streams. Freshw. Biol. 1:83-97.
- Lazim MN and MA Learner. 1987. The influence of sediment composition and leaf litter on the distribution of tubificid worms (Oligochaeta). Oecologia 72:131-136.
- Lee HG, SW Jung, DG Kim and YJ Bae. 2012. Effects of acid drainage from abandoned coal mines on benthic macroinvertebrate communities in the upper reaches of the Nakdong river. Korean J. Limnol. 45:72-81.
- Lee HG, HJ Kim and GS Choi. 2017. Identification and monitoring of 4 major rivers. J. Korea Water Resour. Assoc. 50:16-21.
- Lee J and J Jung. 2014. Four unrecorded species of tubificid oligochaetes (Annelida: Clitellata) in Korea. Anim. Syst. Evol. Divers. 30:240-247.
- Lin KJ and SP Yo. 2008. The effect of organic pollution on the abundance and distribution of aquatic oligochaetes in an urban water basin, Taiwan. Hydrobiologia 596:213-223.
- ME. 2012. 4th National Environment Survey Guideline. Ministry of Environment, Sejong, Korea. p. 486.
- ME. 2013. National Aquatic Ecological Monitoring Program (NAEMP), Korea. Ministry of Environment, Sejong, Korea. p. 23.
- NIER. 2016a. Establish Official Testing Method. National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea. p. 40.
- NIER. 2016b. Biomonitoring Survey and Assessment Manual. National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea. p. 312.
- Na KB. 2005. Taxonomy of the Chironomidae (Diptera, insecta) in Seoul-Gyeonggi area, Korea. Master Thesis, Seoul Women's University, Seoul.

- Park HJ, Timm T and Bae YJ. 2013. Taxonomy of the Korean freshwater Oligochaeta (Annelida) with eight species new to Korea. *Entomol. Res. Bull.* 29:180–188.
- Shin HS, O Mitamura, SJ Kim and JK Choi. 2008. Characteristics of Musim stream by surveyed sites based on EPT-group of aquatic insects. *Korean J. Environ. Ecol.* 22:420–426.
- Shin YS, HS Yu, HY Lee, DH Lee and GW Park. 2015. The change in patterns and conditions of algal blooms resulting from construction of weirs in the Youngsan River: Long-term data analysis. *J. Ecol. Environ.* 48:238–252.
- Syrovatka V, J Schenkova and K Brabec. 2009. The distribution of chironomid larvae and oligochaetes within a stony-bottomed river stretch: the role of substrate and hydraulic characteristics. *Fundam. Appl. Limnol.* 174:43–62.
- Timm T. 2009. A guide to the freshwater Oligochaeta and Polychaeta of Northern and Central Europe. *Lauterbornia* 66:1–235.
- Walther DA and MR Whiles. 2008. Macroinvertebrate responses to constructed riffles in the Cache River, Illinois, USA. *Environ. Manage.* 41:516–527.
- Yoon SM, HB Kong and W Kim. 2000. Freshwater Oligochaetes (Oligochaeta, Tubificida, Naididae) from several swamps in Kyungsangnam-do, Korea. *Anim. Syst. Evol. Divers.* 16:239–255.