

하천생태계의 자연적 교란에 의한 보통옆새우 (*Gammarus sobaegensis*)의 생태학적 분포특성

이연호 · 변진수¹ · 박정호^{2,*}

상지대학교 생명과학과, ¹한국하천호수생태연구소, ²강원대학교 환경연구소

Ecological Distribution Characteristics of *Gammurs sobaegensis* by Natural Disturbance in Mountain Stream. Lee, Yeon-Ho, Jin-Su Byun¹ and Jung-Ho Park^{2,*} (Department of Biological Science, Sangji University, Wonju 220-702, Korea; ¹Institute of Korea Aquatic Ecosystem, Chuncheon 200-220, Korea; ²Institute of Environmental Research at Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea)

Abstract The habitat characteristic of the *Gammarus sobaegensis* which is one of the Amphipoda kinds has been found inhabiting in the inter mountain stream at Ganseong stream. From the investigation, the main inhabitant area of the *G. sobaegensis* maintained the water temperature under 10°C during the spring and autumn season, and the electric conductivity was also maintaining under 40 $\mu\text{S cm}^{-1}$. For the precipitation, for this year when the monthly accredited rainfall did not exceed 800 mm, it did not affect maintaining the population of the *G. sobaegensis* but when the monthly accredited rainfall exceeded 1,000 mm it was found to be working as a unfavorable condition for maintaining the population. The effect especially from this kind of rainfall created the flow of *G. sobaegensis* as well as the flow of the fallen leaves which are the food resources and affected the population of the *G. sobaegensis* as a multiple interruption reason. Among the Functional Feeding Groups (FFGs) distribution depending on the use of the food resources the shredders showed up in the ratio of 20% in the site 1~3, and showed a big difference with the site 4~7 as it showed up in the ratio near 10%. Also, after comparing the variation of the individual number among the *G. sobaegensis* and shredders at the site 1~3 where *G. sobaegensis* mainly shows up, it showed the same variation pattern except for 2009.

Key words: water temperature, electric conductivity, rainfall, functional feeding groups, shredders

서 론

일반적으로 하천생태계의 교란은 자연적인 요인과 인위적인 요인으로 나눌 수 있다. 그 중 자연적 교란은 대

부분 장기적 형태로서 사계절이 뚜렷한 온도의 변화와 몬순 기후에 의한 강우량 변동 등을 들 수 있다(Kwak *et al.*, 2004). 수온 등의 이화학적 변화는 저서성 대형무척추동물의 서식과 풍부도에 영향을 미치며 생활사 역시 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 또한 강우량 변동은 서식처 구조 변경 뿐만 아니라, 서식생물의 표류를 일으켜 개체군 유지에 악영향을 끼치는 교란요인으로 알려져 있다(Kwak *et al.*, 2004). 특히 강우와 연관되어진 하상의 은닉유속 (shear velocity)과 하상불안정

Manuscript received 3 June 2013, revised 16 October 2013, revision accepted 31 October 2013

* Corresponding author: Tel: +82-70-8848-8089, Fax: +82-33-251-8089, E-mail: ecology0@chol.com

© The Korean Society of Limnology. 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, provide the original work is properly cited.

(substrate instability)의 증가, 하상표면 (substrate surface)의 유실 등은 저서성 대형무척추동물에게 불리한 서식환경을 제공한다 (Flecker and Feifarek, 1994; Robertson *et al.*, 1995). 특히 이러한 강우에 의한 영향은 보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 및 먹이자원인 낙엽 등의 유하를 동시에 일으켜 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)를 포함한 산간계류 내 저서성 대형무척추동물의 서식분포를 결정짓는 주요한 요인으로 작용한다. 국외의 경우 집중 강우는 강이나 하천에서 가장 큰 교란요인으로 주목을 받아 많은 연구가 이루어졌다 (Stanly and Fisher, 1992). 반면 우리나라는 여름철 집중 강우라는 단기적이고 강한 자연적 교란에 하천 전체가 노출되어 있으나 하천에서 서식하는 저서성 대형무척추동물의 생태학적 변화특성에 대한 연구는 상대적으로 빈약한 편이다 (Kang *et al.*, 2007; Park *et al.*, 2011, 2012; Yoon *et al.*, 2013).

전 세계적으로 옆새우류는 약 20속 1,200여 종이 서식 분포하고 있는 것으로 알려져 있으며 (Pennak, 1953; Zielinski, 1995), 국내에서는 담수산 옆새우과에 9종이 보고되어 있다 (Lee and Kim, 1980; Bae, 2005). 본 연구의 대상인 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)는 절지동물문 (Arthropoda) 갑각강 (Crustacea) 단각목 (Amphipoda)을 구성하는 80여개 과 (family) 가운데 가장 많은 종을 갖고 있는 담수산 옆새우과 (Gammaridae)의 한 종이다. 이러한 담수산 옆새우류의 주 서식처는 대부분 울창한 수관으로 덮여 연중 수온변화가 거의 없고, 용존 유기물 함량 등이 낮아 이물질 유입으로 인해 발생될 수 있는 각종 훼손에 대한 완충능력이 매우 약한 것으로 알려져 있다 (Sutcliffe and Hildrew, 1989). 대부분의 담수산 옆새우류는 주로 1~2차 계류에 해당하는 산간 소계류에 대량 서식하는 것으로 알려져 있으며 (Pennak, 1953), 수질의 변화를 판정하고 평가하는데 용이한 청정수역의 지표종으로 활용되고 있다 (Crane, 1995). 또한 산간 소하천 계류에서 옆새우류는 개체수가 매우 풍부하므로 담수산생태계의 먹이사슬에 있어서 중요한 위치에 있으며 (Shoemaker, 1938), 이러한 저서성 대형무척추동물의 섭식기능군 (Functional feeding groups, FFGs) 군집변화 연구는 비교적 많이 수행되어 왔다 (Merritt and Cummins, 1996; Ro and Chun, 2004; Ro *et al.*, 2006). 그러나 강우 및 수온 등 주요한 자연적 교란에 의한 옆새우를 비롯한 주요 섭식기능군 (FFGs)의 생태학적 변화특성에 대해서는 일부 연구 (Kwak *et al.*, 2004)를 제외하고는 거의 이루어진 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 청정수역의 주요 지표종인 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 서식환경 특성 및 섭식기능군 (FFGs)과의 상관관계 그리고

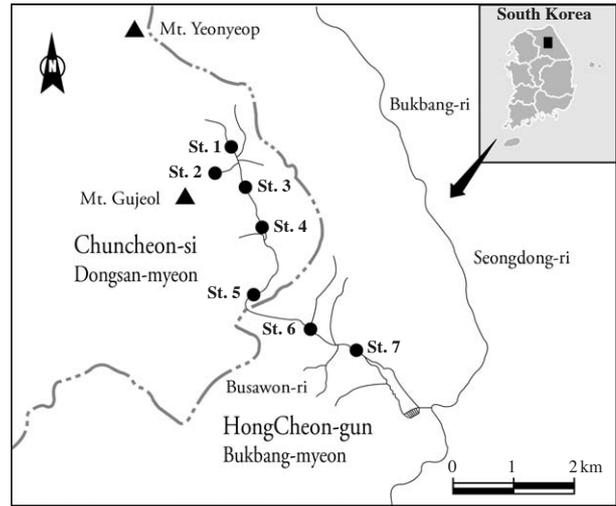


Fig. 1. The study sites of benthic macro invertebrates collection in Ganseong stream.

수온 및 강우 등과 같은 자연적 교란에 따른 변화 등을 규명하여 추후 단기적, 장기적 강우변동에 따른 하천생태계의 합리적인 보전 및 복원을 위한 기초자료로 제공되고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사시기 및 조사지역

본 연구는 2009년 4월부터 2012년 10월까지 총 8회에 걸쳐 매년 춘계, 추계 조사를 실시하였으며, 인위적 교란에 의한 영향이 적고 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)가 풍부하게 서식하는 간성천 유역을 연구 대상지역으로 선정하였다. 조사지점은 각종 수환경 교란발생 전후 저서성 대형무척추동물 군집의 구조변화를 파악할 수 있는 7개 지점을 선정하였다 (Fig. 1).

본 연구지역인 간성천 유역은 북위 37° 44'13.0"~37° 47'30.0" 동경 127° 49'00.0"~127° 52'40.0"에 위치하며 행정구역상 강원도 춘천시 동산면 봉명리와 홍천군 북방면 성동리에 걸쳐 있다. 간성천은 유로연장 약 7km의 산간계류 하천으로서 서측으로는 구절산(750m)이 있고 북측으로는 연엽산(850m)이 있으며, 남쪽으로 흘러 대룡저수지와 홍천강을 거쳐 북한강으로 유입되고 있다.

2. 조사, 동정 및 자료분석

1) 수환경 측정

보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 서식특성을 파악하기

위해 수온, 전기전도도, 용존산소 및 pH 등을 다항목 수질측정기 (YSI-MPS 556)를 사용하여 매 현장 조사 시 측정하였다. 그리고 물리적 하상구조는 채집지점에서 Cummins (1962)의 방법에 따라 boulder, cobble, pebble, gravel, silt/sand의 5단계로 구분하여 구성비율을 측정하였다.

강우량의 경우 기상청 (<http://www.kma.go.kr>)의 2008년부터 2012년까지 자료를 월별 누적한 후 사용하였으며 강우량 변동에 따른 보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 개체군 변화 특성을 분석하였다.

2) 채집 및 동정

보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 및 저서성 대형무척추동물의 채집은 각 조사지점의 유량과 물리적 환경을 고려하여 Surber sampler (30×30 cm, mesh size 250 μm with bucket), Modified D-frame deep net (30×30 cm, mesh size 250 μm with bucket) 및 Hess sampler (33×40 cm, mesh size 250 μm with bucket) 등을 각 지점의 특성에 맞게 선별하여 3반복 정량채집 하였다. 채집된 저서성 대형무척추동물은 현장에서 90% 에틸알코올로 고정하고 실험실로 운반하여 골라낸 후 동정하고 이후 80% 에틸알코올에 보존하였다.

저서성 대형무척추동물의 동정은 Kwon (1990), Merritt and Cummins (1996), Yoon (1998), Kawai (2004), Won *et al.* (2005) 등에 준하여 해부현미경 (OLYMPUS SZX-16) 10~80배 또는 광학현미경 (Nikon Eclipse 80i) 100배 하에서 동정하였다.

3) 생물통계 분석

섭식기능군 (Functional Feeding Groups, FFGs)의 분석은 Merritt and Cummins (1996), Ro and Chun (2004)의 체계를 근거하여 분석하였으며, 찢어먹는무리 (shredders)와의 분석 시 중복으로 계산되는 사례를 방지하고자 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)를 별도 구분하여 처리하였다.

보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 물리적 서식처와 이화학적 환경요인의 상관관계를 확인하기 위하여 PASW Statistics (ver. 18.0), SYSTAT (ver. 10.0), Sigmaplot (ver. 11.0)을 이용하여 분석하였다. 그리고 PC-ORD (ver. 6.0)를 이용하여 수환경 요인과 생물군의 매트릭을 활용한 Canonical correspondence analysis (CCA) ordination를 처리하였다.

결과 및 고찰

1. 보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 서식지 수환경 특성

일반적으로 보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 및 저서성 대형무척추동물 군집에 영향을 미치는 주요한 수환경 요인은 수온, 전기전도도, 용존산소 및 pH 등으로 보고된 바 있다 (Park, 2001; Hwang, 2006). 각 조사지점의 물리적 수환경인 유속, 수심 및 하상구조와 화학적 수환경인 수온, 전기전도도, 용존산소 및 pH 등을 측정한 결과는 다음과 같다 (Table 1).

1) 물리적 서식환경

조사지점의 물리적 수환경 중 유속과 수심은 지점별 차이가 없이 대부분 유사하였다. 그리고 물리적 서식환경에 따른 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 출현 개체수 차이를 Multiple Analysis of variance (MANOVA) test를 통해 분석한 결과, 대부분의 수환경은 유의확률 0.05 이상으로서 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 서식에 영향을 미치지 못하는 것으로 확인되었다. 그러나 하상구조의 경우 지점 1~2, 지점 3~4 그리고 지점 5~7의 세 구역으로 구분되어짐을 확인할 수 있었다 (Table 1). Cummins (1962)에 의한 하상구조 항목 중 산간 소계류의 대표적 하상구조인 boulder는 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)가 주로 출현한 상류수계 중 지점 1~2에 40%의 높은 비율

Table 1. Environmental factors of the study sites in the Ganseong Stream between April 2009 to October 2012.

Sites	Water width (m)	Water depth (m)	Bottom structure					**WT (°C)	EC (μS cm ⁻¹)	DO (mg L ⁻¹)	pH
			*B	C	P	G	S				
1	1.5	17.5	4	2	2	2	0	9.42±2.45	37.36±9.24	8.91±1.08	7.33±0.92
2	2.5	22.5	4	2	2	1	1	8.77±3.31	32.00±4.47	9.02±0.96	7.14±1.06
3	2.0	22.5	1	4	3	1	1	9.82±2.17	37.88±14.46	8.88±0.77	7.22±0.97
4	2.5	35.0	1	4	2	2	1	10.53±2.45	38.71±17.05	8.89±0.92	7.01±0.74
5	2.5	32.5	1	1	4	3	1	12.37±2.01	66.88±23.49	9.00±1.00	7.07±0.54
6	2.0	25.0	1	3	3	2	1	13.19±2.12	66.88±27.06	8.90±0.96	7.01±0.54
7	3.5	20.0	1	4	2	2	1	13.59±2.26	66.38±22.75	8.86±0.91	7.02±0.48

*B: Boulder (>256 mm), C: Cobble (64~256 mm), P: Pebble (16~64 mm), G: Gravel (2~16 mm), S: Silt/sand (<2 mm)

**WT: Water temperature, EC: Electric conductivity, DO: Dissolved oxygen

Table 2. Multiple analysis of variance for the effect of water width, water depth, and bottom structure (boulder, cobble, pebble, gravel, silt/sand) of the *G. sobaegensis*.

Factor		Sum of square	Df	Mean square	F	Sig.
Water width	Between groups	106963.572	3	35654.524	0.816	0.564
	Within groups	131044.918	3	43681.639		
	Total	238008.490	6			
Water depth	Between groups	237140.295	5	47428.059	54.628	0.102
	Within groups	868.194	1	868.194		
	Total	238008.490	6			
Boulder	Between groups	128573.143	1	128573.143	5.874	0.060
	Within groups	109435.347	5	21887.069		
	Total	238008.490	6			
Cobble	Between groups	147042.473	3	49014.158	1.616	0.351
	Within groups	90966.016	3	30322.005		
	Total	238008.490	6			
Pebble	Between groups	28771.442	2	14385.721	0.275	0.773
	Within groups	209237.048	4	52309.262		
	Total	238008.490	6			
Gravel	Between groups	100480.991	2	50240.495	1.461	0.334
	Within groups	137527.499	4	34381.875		
	Total	238008.490	6			
Silt/Sand	Between groups	84130.897	1	84130.897	2.734	0.159
	Within groups	153877.593	5	30775.519		
	Total	238008.490	6			

로 존재한다. 이는 유의확률 0.06으로서 유의하지는 않으나 보통옆새우(*G. sobaegensis*)의 서식에 일부 영향을 미치는 물리적 서식환경으로 분석되었다(Table 2).

2) 화학적 서식환경

일반적으로 수온은 탈피나 우화 등을 통하여 성장하는 대부분의 수서생물에 있어서 번식능력 및 서식 분포까지도 결정하는 즉, 질적 양적 성장을 좌우하는 대표적인 자연적 교란의 주요 요인이다(Ward, 1992). 본 조사지점 가운데 지점 4를 기준으로 상류부와 하류부의 수온차이가 3°C 내외로 뚜렷이 나타났으며 유의확률 0.01 이하로서 지점간 차이가 있는 것으로 확인되었다(Table 3). 기존 Park (2001)의 연구에 의하면 보통옆새우(*G. sobaegensis*)의 주 서식처 수온은 5월의 경우 평균 10°C 정도, 10월의 경우 평균 9°C 정도로 보고한 바 있으며, 본 조사수역의 지점 1~3이 그와 유사한 수온을 유지하고 있었다. 또한 지점 1~3은 풍부한 낙엽 활엽수림에 의해 수관이 울창하여 지점 4~7에 비하여 상대적으로 어두운 특성을 보여주었다. 이러한 특성은 수온의 하락과 더불어 보통옆새우(*G. sobaegensis*)의 주 먹이원인 낙엽의 유입에 있어서도 매우 긍정적인 효과를 발휘한다고 보고된 바 있다(Anderson and Sedell, 1979).

특히 산간계류에서의 수온 변화는 광도의 영향을 크게 받는다고 알려져 있으며(Park, 2001), 본 조사지점에서 수온이 지점 3 이후에 급격히 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 본 간성천 수계의 경우 상부지점인 1~3 지점이 보통옆새우(*G. sobaegensis*)의 서식에 적합한 수온을 나타내는 지점인 것으로 판단된다.

전기전도도의 경우는 지점 1~4에서 35 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 내외로 나타났으며 이후 급격히 증가하여 지점 5~7에서는 70 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 내외로 나타났다. 그리고 유의확률 0.001 이하로서 지점간 차이가 있는 것으로 확인되었다(Table 3). 과거 Park (2001)의 연구에 의하면 국내 계류에 서식하는 보통옆새우(*G. sobaegensis*) 주요 서식처의 전기전도도는 약 30 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 수준을 유지한 것으로 보고되었으며, 본 조사지점의 경우 지점 1~4에서 그와 유사한 매우 낮은 수준으로 유지되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 보통옆새우(*G. sobaegensis*)가 저서성 대형무척추동물 중에서도 매우 낮은 수준의 전기전도도를 선호하며 서식처 교란에 상대적으로 취약함을 의미한다. 일반적으로 전기전도도는 인위적 교란이 많은 오염된 도시 하천에서 유기물 증가에 의해 그 증가폭이 매우 커지기에 청정수역을 선호하는 저서성 대형무척추동물의 제한 및 교란요인으로 작용한다(Park et al., 2000).

Table 3. Multiple analysis of variance for the effect of water temperature (WT), electric conductivity (EC), dissolved oxygen (DO) and pH of the *G. sobaegensis*.

Factor		Sum of square	Df	Mean square	F	Sig.
WT	Between groups	160.980	6	26.830	4.740	0.001
	Within groups	249.040	44	5.660		
	Total	410.020	50			
EC	Between groups	11589.483	6	1931.581	5.199	0.000
	Within groups	16347.262	44	371.529		
	Total	27936.745	50			
DO	Between groups	0.170	6	0.028	0.032	1.000
	Within groups	39.016	44	0.887		
	Total	39.186	50			
pH	Between groups	0.614	6	0.102	0.177	0.982
	Within groups	25.446	44	0.578		
	Total	26.060	50			

본 조사수역의 경우 지점 4 이후에 인가가 존재하며 농경활동도 이루어져 전기전도도 증가에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

용존산소는 전 지점에 걸쳐 약 9 mg L^{-1} 내외로 확인되었다 (Table 1). 과거 Park (2001)의 연구에서 알려진 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 주 서식처 용존산소인 7 mg L^{-1} 을 크게 상회하는 수준이다. 따라서 본 수계 지점에서 용존산소는 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 서식에 충분한 것을 확인할 수 있었으며, 이러한 농도는 유의확률 0.05 이상으로서 지점간 차이가 없는 것으로 확인되었다 (Table 3). 즉, 용존산소는 수중생활을 하는 대부분의 저서성 대형무척추동물에 있어 가장 중요한 화학적 수환경 요인 (Ward, 1992; Allan, 1995)이기는 하나, 오염원이 거의 없는 본 연구지역에서는 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 서식에 제한 및 교란요인으로 작용할 정도로 부족하지 않는 것으로 판단된다.

pH의 경우 전 지점에 걸쳐 평균 7 이상을 나타내어 용존산소와 마찬가지로 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 서식에 충분한 수준임이 확인되었다. 이는 대부분의 청정 산간계류의 pH는 6을 상회하는 곳이 많다는 기존 연구 (Rosenberg and Resh, 1993)와 같은 결과를 보여주었다. 본 간성천 수역 내 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 출현 개체수는 지점간 차이를 보여주었다. 반면 pH는 유의확률 0.05 이상으로서 차이가 없는 것으로 분석되어 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 서식에 영향을 미치는 제한 및 교란 요인이 아닌 것으로 판단된다 (Table 3).

전 조사지점에서 확인된 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)와 화학적 환경요인과의 CCA ordination 분석결과, 상관관계는 Axis 1에서 수온(0.747)이 가장 강한 양의 상관

Table 4. Canonical correspondence analysis ordination of variable and *G. sobaegensis* and FFGs.

Variable	*Correlation			Biplot scores		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 1	Axis 2	Axis 3
1 WT	0.747	0.481	-0.455	0.615	0.466	-0.453
2 EC	0.712	-0.680	0.055	0.586	-0.658	0.005
3 DO	0.019	-0.421	-0.061	0.016	-0.407	-0.160
4 pH	0.175	0.315	0.663	0.144	0.305	0.660

관계를 나타냈다. 그리고 전기전도도 (0.712)가 근소한 차이로 그 다음 양의 상관관계로 확인되었다. Axis 2에서는 전기전도도 (-0.680)가 가장 강한 음의 상관관계를 나타냈다 (Table 4). Axis 1의 상하는 수온, 전기전도도에 의해 나뉘어지며, 그 배열은 조사시기에 따른 각 지점의 계절적 변화를 반영한다. 반면 Axis 2의 좌우는 전기전도도에 의해 나뉘어지며, 조사시기의 영향을 받지 않는 지점 배열을 보여준다. 따라서 Axis 2를 기준으로 좌측에 Group I (지점 1~3), 우측에 Group II (지점 4~7)로 구별되었으며, 두 그룹이 나뉘어지는 주요 수환경 요인이 전기전도도임을 확인할 수 있었다 (Fig. 2).

2. 강우량 변동에 따른 보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 개체군 변화

2009년부터 2012년까지 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 각 지점별 개체수 변화 특성을 알아본 결과, 시기에 따라 일부 차이는 있었으나 지점 1~3에서 많은 누적 개체수를 보여주었으며, 지점 4부터 급격히 감소하는 경향을 확인할 수 있었다 (Fig. 3). 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 지점간 출현 개체수는 유의확률 0.001 이하로

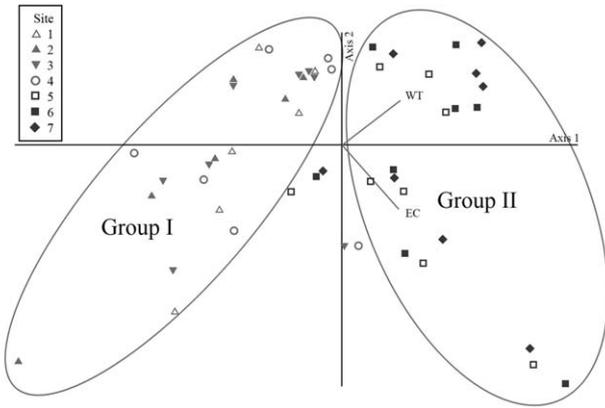


Fig. 2. CCA result of benthic macro invertebrates corresponding with environmental factors.

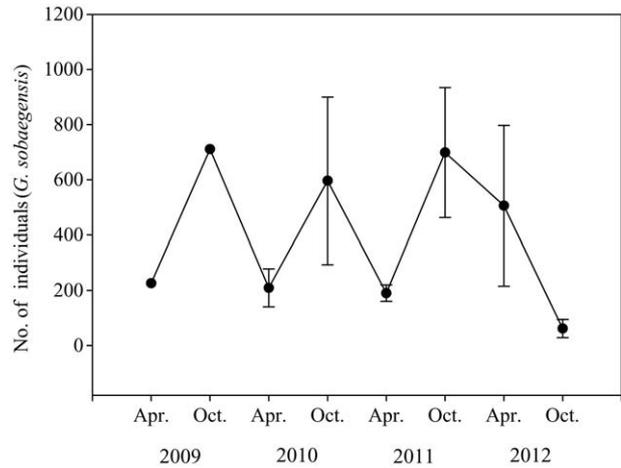


Fig. 4. The variation of individuals for *G. sobaegensis* by investigating time.

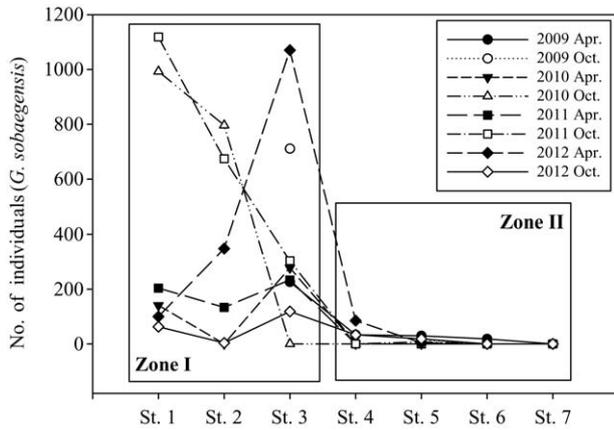


Fig. 3. The variation of individuals for *G. sobaegensis* in Ganseong stream.

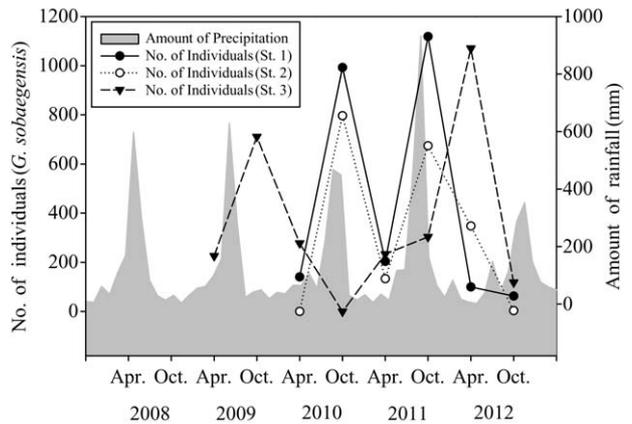


Fig. 5. Monthly rainfall variation and fluctuation in the individuals of *G. sobaegensis* in Ganseong stream.

서 지점간 차이가 있었으며 그에 따라 I 권역(지점 1~3)과 II 권역(지점 4~7)의 영역으로 뚜렷이 구분됨을 확인할 수 있었다. 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)가 주로 출현한 I 권역을 대상으로 시기별 개체수 변화특성을 알아본 결과, 보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 개체수는 봄 시점에서 가을 시기로 가면서 증가하고 가을 이후 감소하는 경향이 나타났다. 그러나 2012년 봄 시기의 경우 보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 개체수는 크게 줄어들지 않았으며 이후 가을까지는 꾸준히 감소하여 계절별 변화양상이 2012년 이전과 다른 것을 확인할 수 있었다(Fig. 4). 이는 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 주 서식지 중 가장 하부 지점 3의 경우에는 2010년 가을, 2011년 가을, 2012년 봄 조사시기에 지점 1, 2에서 보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 개체수 증감이 반복적으로 나타난 출현양상과 정반대의 경향을 보여주었다. 그 중 2011년 가을

시기의 보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 개체수 감소는 2010년 우기 이후 지점 3부터 하류지점에 걸쳐 하상복원공사를 수행한 것에 기인한 것으로 판단된다. 또한 그에 따른 영향으로 서식처 불안정 및 먹이자원의 부족이 발생하였으며, 2011년 가을시기에도 지점 3의 보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 개체수 증가는 지점 1~2에 비하여 상대적으로 작게 나타났다(Fig. 5). 반면 2012년 가을시기 지점 1~3에서의 보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 개체수 감소는 집중 강우에 의한 영향으로 확인되었다. 즉, 본 조사지역의 2011년 7월 누적 강우량은 932.5 mm로서 2008년 초부터 2012년 말까지의 월별 누적 강우량 중 최고치를 보여주었다(Fig. 5). 또한 그러한 집중강우와 함께 유하된 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)는 2012년 봄

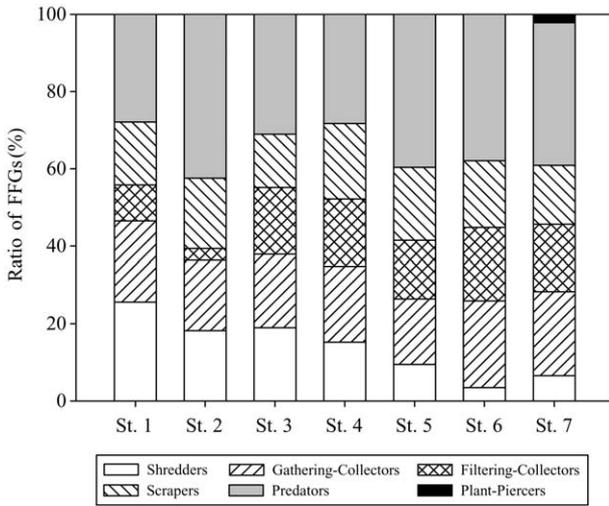


Fig. 6. Composition of functional feeding groups (FFGs) in Gan-seong stream.

조사 시 지점 1~2에서 감소되고 지점 3~4에서 증가하는 경향이 나타났다(Fig. 3). 특히 지점 4는 보통옆새우(*G. sobaegensis*)의 주 서식처가 아닌 것으로 확인되었으나 집중 강우 이후 개체수 증가경향을 일부 보여주었고 그 이후 감소하여 집중 강우에 의한 영향임을 확인할 수 있었다. 반면 2011년 하절기 집중 강우 이후 보통옆새우(*G. sobaegensis*)의 주 서식처인 지점 1~3에서 보통옆새우(*G. sobaegensis*) 개체수는 2012년 가을 시기 크게 줄어들었다. 이는 강우의 영향을 받은 이후 그 해는 종수가 다양하고 개체수가 비교적 많았으나, 이후 단순해지는 경향을 보인다고 보고한 Kwak *et al.* (2004)의 연구 결과와 동일한 경향이다.

3. 섭식기능군 (FFGs) 별 변동 특성

조사결과 상류수계 지점인 지점 1~3에서 썰어먹는 무리(shredders)가 20% 내외의 비율로 출현하여 10% 내외의 비율로 출현한 지점 4~7에 비해 상대적으로 높은 비율을 차지하였다(Fig. 6). 이는 일반적으로 썰어먹는 무리(shredders)는 상류수계에 많은 종수와 개체수가 나타난다(Vannote and Sweeney, 1980; Ro and Chun, 2004; Ro *et al.*, 2006)고 하는 기존 연구와 같은 결과를 보여주었다. 또한 썰어먹는 무리(shredders)는 낙엽을 주 먹이원으로 하는 보통옆새우(*G. sobaegensis*)의 출현 경향과 유사하였으며 유의확률 0.05 이하로 확인되어 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 보통옆새우(*G. sobaegensis*)의 주 출현지점인 지점 1~3을 대상으로 보

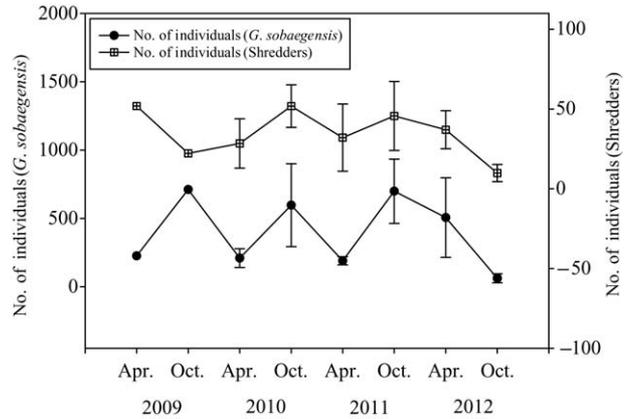


Fig. 7. Variation of individuals for *G. sobaegensis* and shredders.

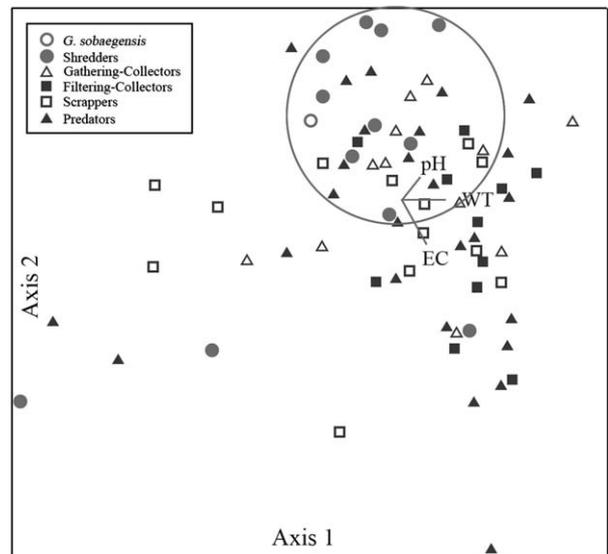


Fig. 8. CCA result of functional feeding groups with environmental factors.

통옆새우(*G. sobaegensis*)와 썰어먹는무리(shredders)의 개체수 증감을 비교 분석한 결과 2009년을 제외하고, 매 시기별 증가와 감소 경향이 같은 것을 확인할 수 있었다(Fig. 7). 이는 담수산 옆새우류의 생식 주기는 봄과 가을 두 번에 걸쳐 일어나고 가을과 겨울시기를 거쳐 봄에서 초여름 사이에 축적된 낙엽을 섭식하며 생육한다(Chung, 1996; Park *et al.*, 2000)는 기존연구와 유사한 결과를 보여주었다.

본 연구를 통해 평년수준의 수온 변화나 강우량 변동 등은 서식생물군의 개체군 변동에 큰 영향을 미치지 못하는 교란 요인으로 확인되었다. 그러나 2011년 하절기에 나타난 1,000 mm에 육박하는 강우량 변화는 기존 서

식생물군의 적응 범위를 넘어선 매우 큰 자연적 교란으로 작용하였다. 그로 인하여 보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 및 썰어먹는무리 (shredders)의 개체수가 2012년 가을시기 회복하지 못하는 결과를 보여주었다. 이에 따라 이화학적 수환경요인이 출현중에 미치는 영향을 CCA ordination 분석한 결과, 섭식기능군 (FFGs) 내 타 무리에 비해 썰어먹는무리 (shredders)에 해당하는 종들은 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)와 그래프 상 가까운 거리에 집중 분포하는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 8). 이는 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)가 하천 내 주요한 낙엽 분해자이며, 먹이자원의 유형 및 이용차원에서 섭식기능군 (FFGs) 중 썰어먹는무리 (shredders)와 가장 유사한 생태적 섭식특성을 가지고 있음을 나타내고 있다.

결국 보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 개체군의 서식분포 및 시기별 변화 특성에 영향을 미치는 수환경 및 자연적 교란요인은 수온, 전기전도도 그리고 집중강우에 의한 물리적 교란과 그에 따른 낙엽 등의 먹이자원 감소 등인 것으로 확인되었다.

적 요

간성천 산간계류에 서식하는 단각류의 일종인 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 서식특성을 확인하였다. 조사결과 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 주 서식처는 수온이 봄 시기 및 가을 시기에 10°C 이하를 유지하였으며, 전기전도도의 경우 40 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 이하를 유지하는 것을 확인하였다.

강우량의 경우 월 누적 최대 강우량이 800 mm를 넘지 않는 평년수준의 경우 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 개체군 유지에 큰 영향을 주지 않으나 월 누적 최대 강우량이 1,000 mm를 넘는 경우 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 개체군 유지에 불리한 교란요인으로 작용함을 확인할 수 있었다. 특히 이러한 강우에 의한 영향은 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 유하 뿐만 아니라 먹이자원인 낙엽의 유하를 일으켜 보통옆새우 (*G. sobaegensis*) 개체군에 복합적 교란 요인으로 작용함을 알 수 있었다.

먹이자원의 이용에 따른 섭식기능군 (FFGs) 분류 중 썰어먹는무리 (shredders)는 지점 1~3에서 20% 내외의 비율로 출현하였고, 지점 4~7에서 10% 내외의 비율로 출현하여 큰 차이를 나타냈다. 그리고 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)의 주 출현지점인 지점 1~3을 대상으로 보통옆새우 (*G. sobaegensis*)와 썰어먹는무리 (shredders)의 개체수 증감을 비교한 결과 2009년을 제외하고 같

은 변화 양상을 확인할 수 있었다.

사 사

본 연구는 강원도 자연환경연구공원 및 환경부 에코스타 과제 (07-I-A, 07-II-D)의 연구지원에 의해 수행되었습니다. 귀 기관의 연구비 지원에 사의를 표합니다. 또한 故 조규송 선생님의 추모 논문으로 본 논문을 헌정합니다.

REFERENCES

- Allan, J.D. 1995. Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall, Landon, 388pp.
- Anderson, N.H. and J.R. Sedell. 1979. Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems. *Annual Review of Entomology* 24: 351-377.
- Bae, Y.J. 2005. Freshwater health assessment techniques. pp. 25-34. *In: Assessment techniques for environmental pollutants using invertebrate bio markers* (Kim, Y., Y.J. Bae, K.S. Ryoo *et al.* eds.). Jeonghaengsa, Seoul.
- Chung, K. 1996. Seasonal Difference in Macroinvertebrate Contribution to the Leaf Litter Breakdown in a Headwater Stream at Mt. Jumbong. *Korean Journal of Environment and Biology* 19(6): 563-573.
- Crane, M. 1995. Effect of zinc on four populations and two generations of *Gammarus pulex* (L.). *Freshwater Biology* 33: 119-126.
- 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: 477-504.
- Flecker, A.S. and B. Feifarek. 1994. Disturbance and the temporal variability of invertebrate assemblages in two Andean streams. *Freshwater Biology* 31: 131-142.
- Hwang, J.M., S.J. Lee, K.J. Cho, Y.G. Kim and Y.J. Bae. 2006. Survivorships of *Gammarus sobaegensis* (Amphipoda: Gammaridae) in Different Medium and Temperature Conditions. *Korean Journal of Limnological Society* 39(3): 413-417.
- Kang, S.H., J.I. Choi and J.Y. Park. 2007. The Runoff Characteristics due to Heavy Rainfall in Mountainous River. *The Journal of GIS Association of Korea* 15(2): 159-167.
- Kawai, T. 2004. An illustrated book of aquatic insects of Japan. Tokai University Press.
- Kwak, I.S., M.Y. Song and T.S. Chon. 2004. The Effects of Natural Disturbances on Benthic Macro-Invertebrate. *Korean Journal of Limnological Society* 37(1): 87-95.
- Lee, K.S. and H.S. Kim. 1980. On the geographical distribution

- and variation of freshwater Gammarus in Korea including descriptions of four new species. *Crustaceana* **6**(Suppl): 44-67.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins. 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North America (3rd. Ed.). Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque, Iowa.
- Park, J.H., D.H. Cho and K. Chung. 2000. Ecotoxicological Characteristics of *Gammarus sobaegensis* Uéno by Acute and Chronic pH Depression on Artificial Static Waters. *Korean Journal of Environment and Biology* **18**(4): 377-385.
- Park, J.H. 2001. Biological Effects of the Artificial Cations Exposure on the *Gammarus sobaegensis* Uéno, Department of Biology Graduate School, Kangwon National University.
- Park, S.M. and Y.K. Shin. 2011. The Impact of Monsoon Rainfall on the Water Quality in the Upstream Watershed of Southern Han River. *Korean Journal of Limnological Society* **44**(4): 373-384.
- Pennak, R.W. 1953. Chapter 21. Amphipoda. pp. 435-446. In Fresh-water Invertebrates of the United States, The Ronald Press Company, New York.
- Ro, T.H. and D.J. Chun. 2004. Functional feeding group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis, *Korean Journal of Limnological Society* **37**(2): 137-148.
- Ro, T.H., D.J. Chun, H.U. Lee, J.H. Park, S.J. Lee, J.H. Hwang and M.C. Kim. 2006. Biota community change predicted program development by environment damage and restoration in rivers. - Imagination rivers continuum concept thesis and application -. Korea Environment Institute, 282 pp.
- Robertson, A.L., J. Lancaster and A.G. Hildrew. 1995. Stream hydraulics and the distribution of macrocrustacea: a role for refugia? *Freshwater Biology* **33**: 469-484.
- Rosenberg, D.M. and V.H. Resh. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman and Hall, New York, 488pp.
- Shoemaker, C.R. 1938. A new species of freshwater amphipod of the genus *Synpleonia*, with remarks on related genera. *Proceedings of the Biological Society of Washington* **51**: 137-142.
- Stanley, E.H. and S.G. Fisher. 1992. Intermittency, disturbance, and stability in stream ecosystems. *National Hydrology Research Institute Symposium Series 7, Environment Canada, Saskatoon*: 271-280.
- Sutcliffe, D.W. and A.G. Hildrew. 1989. Invertebrate communities in acid streams. *Society for Experimental Biology Seminar Series* **34**: 13-29.
- Vannote, R.L. and B.W. Sweeney. 1980. Geographic analysis of thermal equilibria: a conceptual model for evaluating the effect of natural and modified thermal regimes on aquatic insect communities. *American Naturalist* **115**: 667-695.
- Ward, J.V. 1992. Aquatic insect ecology. John Wiley & Sons, Inc.
- Won, D.H., S.J. Kwon and Y.C. Chun. 2005. Aquatic Insects of Korea. Korea Ecosystem Service Co., Ltd., Korea, 415pp. (in Korean)
- Yoon, I.B. 1998. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora Vol. 30 Aquatic Insect. Ministry of Education Republic of Korea, 840pp. (in Korean)
- Yoon, S.K., J.S. Kim and H.H. Kwon. 2013. Different Impacts of the Two Phases of El Niño on Variability of Warm Season Rainfall and Frequency of Extrem Events over the Han River Basin. *Journal of Korea Water Resources Association* **46**(2): 123-137.
- Zielinski, D. 1995. Life history of *Gammarus balcanicus* Schaffner, 1992 from the bieszczady mountains (Easterncarpathians, Poland). *Crustaceana* **68**(1): 61-72.