

갈수기 영월 한반도지형 습지 주변 유수역의 동물플랑크톤 군집 동태

김 세 화*

용인대학교 생명과학과

Pre-Monsoon Dynamics of Zooplankton Community in the Yongwol West River Tributary

Saywa Kim*

Department of Life Science, Yong In University, Yongin 449-714, Korea

Abstract - Pre-monsoon dynamics of zooplankton community were investigated in Yongwol West River tributary; wetland shaped Korean Peninsula. Zooplankters were collected at three sites (stn 1: Yongwol West River, stn 2: Pyungchang River, stn 3: Jucheon River) monthly during the period between March and July 2014 except April. Totally 58 taxa of zooplankton occurred, consisting of 27 species of rotifer, 18 species of cladoceran, eight species of copepod, four kinds of aquatic insect larvae and one nematod. Lotic cladocerans of *Alona* spp. belonging to Chydoridae occurred frequently while typical lentic ones of *Bosmina* spp. and *Daphnia* spp. were not distributed, then sampling sites may be located in lotic waters. Zooplankton abundance recorded as 4,451-8,011 indiv·m⁻³ in Jucheon River but never exceeded 500 indiv·m⁻³ in other rivers. In Yongwol West River, dominant taxa were aquatic insect larvae from March through June and succeeded to cladocerans and copepods in July. Similar succession was observed in Jucheon River where aquatic insect larvae dominated in March and changed to cladocerans and copepods from May with high abundance. No such succession of zooplankton community was detected in Pyungchang River. Species diversity indices were the highest in Yongwol West River except in March. High values of dissolved oxygen (9.0-11.0 mg·liter⁻¹) may show the characteristics of mountain streams. Water temperature increased gradually from 10.1°C to 27.9°C and pH varied within generally high range between 7.9-8.9, respectively. High value of pH seems to be derived from lime stone mines and cement factories around the studied area.

Key words: zooplankton, lotic cladocerans, wet land formation

서 론

산간 계류는 낮은 수심과 빠른 유속으로 동물플랑크톤이

서식하기에 적합한 환경이 아니다 (Nelson and Rolin 2003; Lafont 2011). 따라서 우리나라에서도 산간 계류의 수질 변화에 관한 연구는 수행되어 왔으나 (An and Shin 2005) 동물플랑크톤 군집 동태를 포함하는 생물 군집에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다 (Chung 2008). 하지만 높은 고도에 형성된 수계에 서식하는 생물상에 대한 연구와 이를 생태계

* Corresponding author: Saywa Kim, Tel. 031-8020-2778,
Fax. 031-8020-2886, E-mail. swkim@yongin.ac.kr

변화를 파악하는 수단으로서 활용하기 위한 시도는 이미 세계 각국에서 시도되어 왔다 (Khamis *et al.* 2014). 또한 산간 습지 조성을 이용한 농축산 오염 물질 제거 등과 (Nakwanit *et al.* 2011; Vymazal and Brezinova 2014) 습지가 생태계에 미치는 긍정적 역할에 대한 연구가 (cf. Bassi *et al.* 2014) 활발한 작금의 현실에서 습지 생태계의 구성원에 대한 연구는 적극적인 접근이 필요하다.

강원도 영월군에 위치한 한반도 지형 주변에 형성된 기존의 습지는 일반적인 산간 습지의 특성을 나타내고 있을 것으로 추정되나 생태계 보호와 주변 관광 산업과의 연계를 위하여 새롭게 습지를 확장하는 과정에서 생태계의 변화가 야기될 것으로 예상된다 (Alexander and Allan 2007). 생태계의 안정성을 확보하기 위한 습지 조성 등과 같이 인위적인 생태 공법을 도입할 경우, 종다양성의 감소나 급격한 생태계 변화 등 부작용이 따를 수 있다 (Westage *et al.* 2013; McLaughlin *et al.* 2014). 또한 한반도 지형 주변의 우수역 습지는 산간 지역에 형성되어 있음에도 불구하고 산간 호수나 연못과 같은 정수역과는 다른 생태계를 이루고 있으며 (Fisher and Sponseller 2009; Tavernini *et al.* 2009) 산간 지역의 농업용수로 활용하기 위하여 축조된 보 등으로 인하여 평지를 흐르는 우수역 주변의 논으로 형성된 습지와도 전혀 다른 생태계를 이루고 있을 것이다 (Natuhara 2013).

본 조사는 강원도 영월군 한반도면에 위치한 한반도 모양

의 지형 주변에 형성된 기존의 습지를 보호하고 새롭게 습지를 확장 조성하는 과정에서 나타나는 생물상의 변화를 파악하기 위한 목적으로 국립습지센터에서 시행된 2014년 습지보호구역 정밀생태조사의 일환으로 현재의 동물플랑크톤 군집 동태를 파악한 후 장기 변동을 모니터링하는 목적으로 수행되었다 (cf. Kim 2013, 2014a, b).

재료 및 방법

1. 조사지 개황

한반도습지는 강원도 영월군 한반도면에 위치한 한반도 모양의 지형 주변에 형성된 습지로서 남한강의 발원지인 검용소에서 옥동천을 거쳐 흘러오는 주천강과 오대산에서 발원하여 속사천을 거쳐 흘러오는 평창강이 합류하여 영월 서강으로 흘러 드는 수역에 형성되어 있다. 본 조사를 위하여 두강이 합류한 영월 서강에 정점 1, 한반도습지 상류인 평창강에 정점 2, 주천강에 정점 3을 선정하였다. 정점 1은 한반도 지형으로부터 3 km 하류인 영월 서강변 쾌연재도자박물관 인근에 위치하며 정점 2는 선암마을 뗏목체험장에 위치하고 정점 3은 현대시멘트 영월공장 100 m 하류의 신천교 부근에 위치하고 있다 (Fig. 1). 정점 1과 3은 수심이 1 m 이

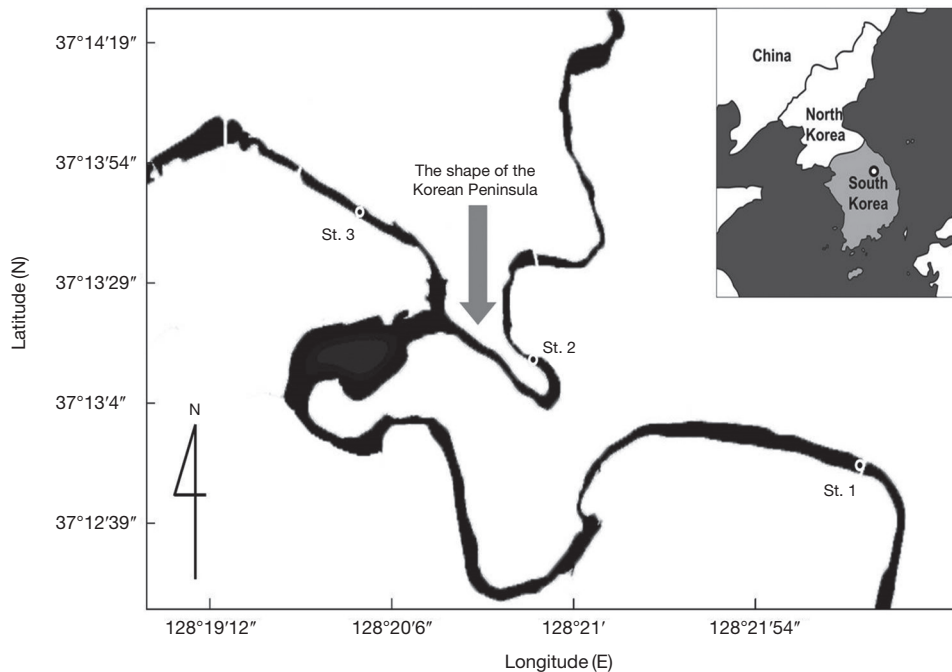


Fig. 1. Sampling sites in Yongwol West River tributary during the period from March to July 2014. St. 1: Yongwol West River, st. 2: Pyungchang River, st. 3: Jucheon River.

하의 얇은 여울에 위치하며 정점 2는 수심 2 m 정도의 완만한 사행천수변이다. 또한 정점 1과 2는 별도의 관리가 이루어지지 않아 관광객에 의한 유어 및 위락 행위가 이루어지고 있었으나 정점 3 인근은 지방자치단체의 관리 하에 지역 환경관리인이 유어 및 취사, 위락 행위를 감시하고 있다.

2. 조사 방법

한반도습지 주변의 3개 정점에서 2014년 3월, 5월, 6월, 7월 4회에 걸쳐 환경요인을 측정하고 동물플랑크톤 시료를 채집하였다. 수온, pH, 용존산소량을 측정하였는데 pH는 portable pH meter로 (TI SenzPHduo) 측정하였으며 수온은 pH meter로 측정된 수온을 0.1°C까지 측정 가능한 봉상 수온온도계로 보정하였다. 용존산소량은 1~12 mg · liter⁻¹ 범위 내에서 측정 가능한 CHEMetrics로 (Model K-7512) 0.5 mL · liter⁻¹까지 측정하였다. 동물플랑크톤 채집은 원추형 네트 (conical net)의 (망구 25 cm, 망목 0.05 mm) 입구에 여수계를 (Hydrobios model 438 110) 부착한 후 사선 예망하여 (oblique hauling) 실시하였다. 채집된 시료는 300 mL wide-mouth Nalgene bottle에 담은 후 포르말린을 첨가하여 시료의 최종농도가 4%가 되도록 고정한 후 실험실로 옮겼다. 실험실내에서 24시간 이상 방치하여 동물플랑크톤이 가라앉은 채집병의 상등액을 분리하여 100 mL로 3배 농축한 후 바닥에 가라앉은 시료를 페트리 접시에 넣고 해부현미경으로 (Zeiss SV11, Mag. X165) 중 수준까지 동정하였으며 윤충류와 같은 소형종은 hollow slide로 옮긴 후 광학현미경 (Zeiss Auxiolab, Mag. X400) 하에서 고배율로 검경하여 동정하였다. 동물플랑크톤의 동정은 최근 도감을 (Mizuno and Takahashi 1999; Yoon 2010; Chang 2010, 2012; Jeong 2013) 참조하였다. 중준위 동정이 불확실한 개체들은 개체 크기별 특성에 따라 2종류의 현미경 사진기를 사용하여 촬영한 후 영상 판독을 통하여 동정하였으며 도판을 제시하였다 (LEICA ICC50HD, OPTICAM KCS-3.1C).

동정을 완료한 시료는 다시 농축된 시료병에 넣고 균등하게 섞은 후 5 mL의 subsample을 취해 UNESCO 계수반에 넣고 해부현미경하에서 각 종별 출현량을 계수하는 작업을 3회 반복하였다. 즉 정량분석을 위해서 항상 채집된 시료의 1/10 이상을 검경하였다. 해부현미경 하에서 계수된 각 종의 출현량은 여수계로 네트 여과 수량을 계산하여 입방 미터당 개체수로 환산하였다. 동물플랑크톤의 출현량 자료를 근거로 3개 정점의 월별 동물플랑크톤 생태지수를 계산하였으며 생태지수 계산은 컴퓨터 프로그램 Primer 5를 (2001 Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research) 사용하여 종다양성지수를 (Shannon and Weaver 1963) 구한 후

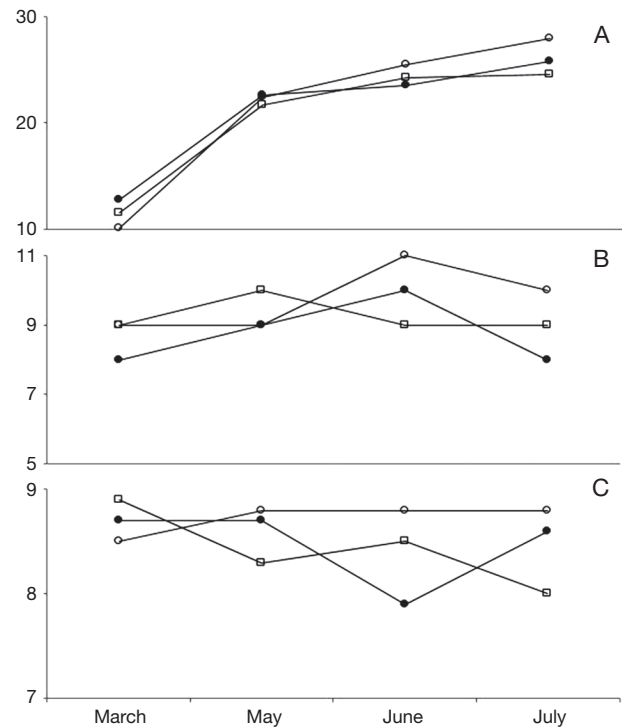


Fig. 2. Temporal variation in environmental factors in Yongwol West River tributary during the period between March-July 2014. A: water temperature, B: dissolved oxygen, C: pH. Open circle: site 1, solid circle: site 2, open square: site 3.

정점별 계절별 변화를 비교 분석하였다.

결 과

수온은 3월에 10.1~12.8°C에서 7월에 24.5~27.9°C로 서서히 증가하였다 (Fig. 2A). 정점별로는 3월을 제외하고는 항상 주천강과 평창강이 합쳐진 정점 1인 영월 서강의 수온이 가장 높았다. 용존산소량은 조사 기간 중 9.0~11.0 mg · liter⁻¹ 사이에서 변동하여 조사 수역의 수생생물 서식 제한요인으로 작용하지 않는 것으로 나타났다 (Fig. 2B). 하지만 6월을 제외하면 조사 기간 내내 정점 2인 평창강의 용존산소량이 주천강과 영월 서강 (정점 1, 3)보다 낮은 경향을 보였다. pH는 7.9~8.9 사이에서 변동하여 비교적 높았는데 수온의 변동과 같이 정점별로는 3월을 제외하고는 항상 주천강과 평창강이 합쳐진 정점 1인 영월 서강의 pH가 가장 높았다 (Fig. 2C).

동물플랑크톤은 윤충류 27종류, 지각류 18종, 요각류 8종류, 선충류 1종류와 수서곤충 유생 4종류 등 총 58분류군이 출현하였다 (Table 1). 이 중 45종이 중준위까지 동정되었으

Table 1. Zooplankton list occurred in Yongwol West River tributary during the period between March and July 2014.

	Species		Species	
Rotifera	<i>Ascomorpha saltans</i>	Cladocera	<i>Alona affinis</i>	
	<i>Ascomorpha</i> sp.		<i>Alona costata</i>	
	<i>Asplanchna priodonta</i>		<i>Alona excisa</i>	
	<i>Brachionus budapestinensis</i>		<i>Alona guttata</i>	
	<i>Brachionus calyciflorus</i>		<i>Alona quadranguaris</i>	
	<i>Brachionus caudatus</i>		<i>Alona rectangula</i>	
	<i>Brachionus diversicornis</i>		<i>Chydorus gibbus</i>	
	<i>Brachionus quadridentatus</i>		<i>Chydorus irinae</i>	
	<i>Brachionus quadridentatus</i> f. <i>brevispinus</i>		<i>Chydorus ovalis</i>	
	<i>Brachionus quadridentatus</i> f. <i>rhenanus</i>		<i>Chydorus sphaericus</i>	
	<i>Brachionus urceolaris</i>		<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	
	<i>Brachionus</i> sp.		<i>Graptoleberistes tudinaria</i>	
	<i>Euchlanis dilatata</i>		<i>Monospilus daedalus</i>	
	<i>Keratella cochlearis</i>		<i>Monospilus dispar</i>	
	<i>Lecane leontina</i>		<i>Nedorchynchotalona chiangi</i>	
	<i>Lecane luna</i>		<i>Pleuroxus laevis</i>	
	<i>Lecane</i> sp.		<i>Pleuroxus trigonella</i>	
	<i>Lepadella patella</i>		<i>Rhynchotalona rostrata</i>	
	<i>Monostylahamata</i> var. <i>sinuata</i>			
	<i>Monostyla lunaris</i>		Copepoda	<i>Acartocyclop</i> sp.
	<i>Monostyla quadridentata</i>			<i>Canthocamptus staphylinus</i>
	<i>Monostyla</i> sp.			<i>Eucyclops miurai</i>
	<i>Notholca labis</i>			<i>Eucyclops serrulatus</i>
<i>Pompholyx complanata</i>	<i>Eucyclops</i> sp.			
<i>Trichocerca gracilllis</i>	<i>Harpacticella paradoxa</i>			
<i>Trichocerca</i> sp.	Copepodite			
<i>Trichotria pocillum</i>	Copepoda nauplius			
	sp.			
Insecta	Aquatic insect larvae 1	Nematoda		
	Aquatic insect larvae 2			
	Aquatic insect larvae 3			
	Aquatic insect larvae 4			

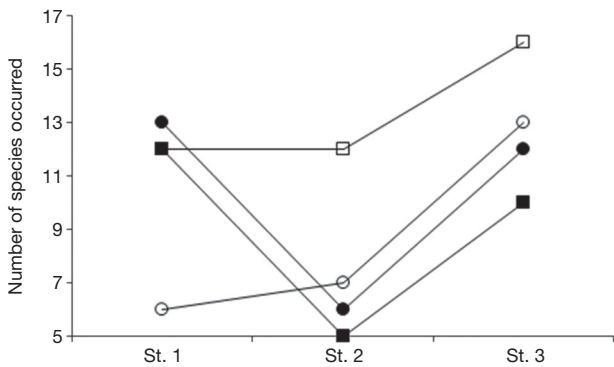


Fig. 3. Spatial variation in the species number occurred in Yongwol West River tributary during the period between March-July 2014. Open circle: March, solid circle: May, open square: June, solid square: July.

며 지각류는 출현종 전부가 종준위까지 동정되었다. 정점별 계절별로는 6월 정점 3에서 16종이 출현하여 가장 다양하게 출현하였고 7월에 정점 2에서 5종이 출현하여 가장 빈약한 출현 양상을 보였다 (Fig. 3). 정점별로는 정점 2의 출현종수가 가장 빈약하였고 계절별로는 6월에 출현종수가 증가하는

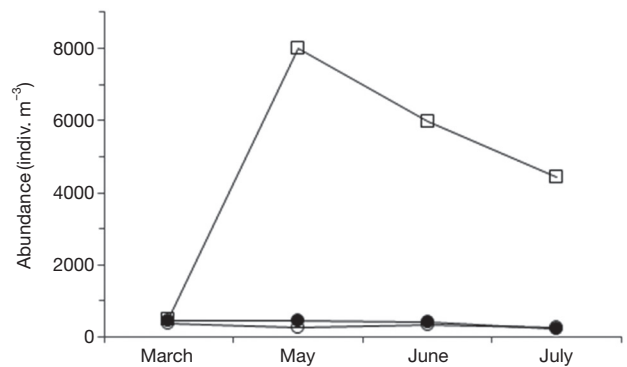


Fig. 4. Temporal variation of zooplankton abundance in Yongwol West River tributary during the period between March-July 2014. Open circle: site 1, solid circle: site 2, open square: site 3.

경향을 보였다.

출현량은 정점 3에서 입방미터당 4,451~8,011개체를 기록하였고 나머지 정점들에서는 조사 기간 중 항상 500개체 이하로 출현하였다 (Fig. 4).

주천강과 평창강이 합류된 영월 서강인 정점 1에서는 3월

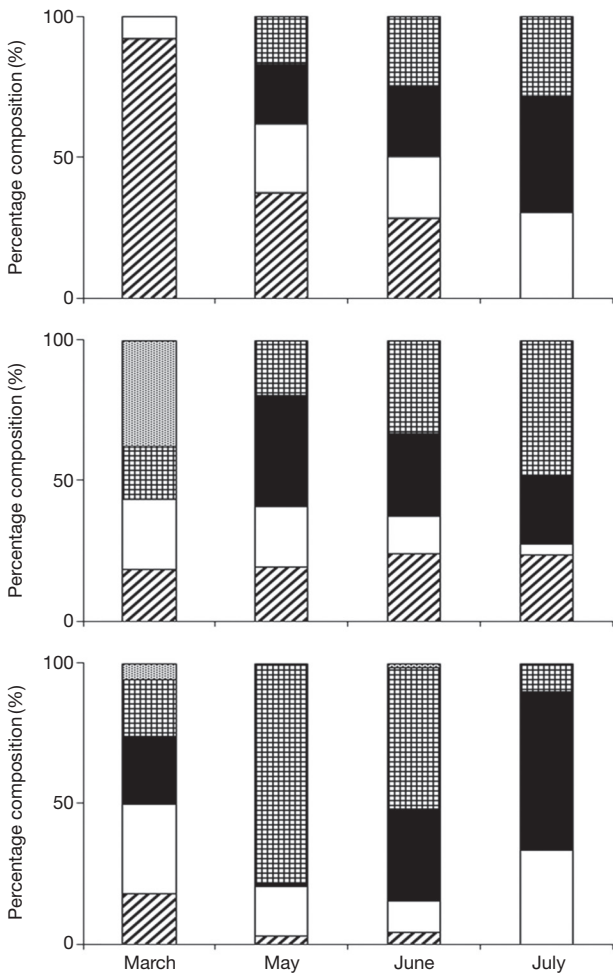


Fig. 5. Spatio-temporal variation in the percentage composition of zooplankton taxa in Yongwol West River tributary during the period between March-July 2014. From the top, site 1, site 2 and site 3, respectively. Hatched: aquatic insect larvae, open: rotifers, solid: cladocerans, cross: copepods, dotted: nematods and others.

에 수서곤충의 유생이 동물플랑크톤 출현량의 92.0%를 차지하며 우점하였고 5월과 6월에 37.0%, 28.2%로 우점도가 감소하다가 7월에 지각류인 *Alona*속 종들의 출현량이 증가하여 지각류가 동물플랑크톤 출현량의 41.7%를 차지하고 요각류가 28.0%를 점유하여 갑각류 동물플랑크톤이 우점하는 천이가 관찰되었다 (Fig. 5). 정점 2에서는 3월에 선충류가 37.6%로 우점한 것을 제외하면 윤충류, 지각류, 요각류, 수서곤충의 유생 등 4개 분류군이 비교적 균등하게 출현하고 있었다. 정점 3에서는 5월에 요각류 유생의 대량 출현으로 요각류가 78.4%를 차지하며 우점하였고 6월에는 지각류인 *Pleuroxus laevis* 단일종이 32.8%를 차지하며 우점하였다. 또한 7월에도 지각류인 *Alona costata*가 대량 출현하여 지각

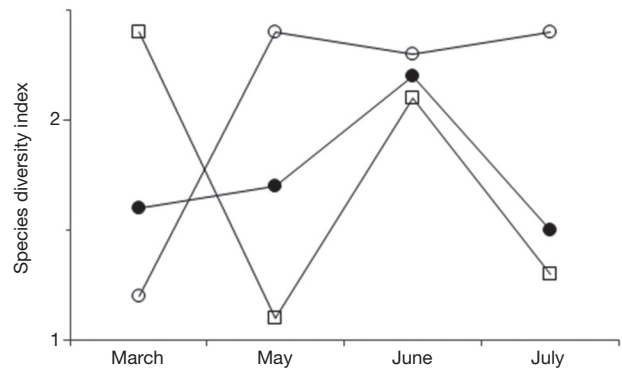


Fig. 6. Temporal variation in the species diversity in Yongwol West River tributary during the period between March-July 2014. Open circle: site 1, solid circle: site 2, open square: site 3.

류가 54.1%를 차지하며 우점하였다.

동물플랑크톤의 종다양성지수는 1.1~2.4 사이에서 변동하였는데 정점별로는 3월을 제외하면 항상 최하류인 정점 1에서 높게 나타났고 월별로는 뚜렷한 변동 경향을 보이지 않았으나 6월에 전정점에서 종다양성지수가 다소 높게 나타났다 (Fig. 6).

고 찰

영월 서강 주변 유수역의 얇은 수심과 빠른 유속에 기인하여 동물플랑크톤 출현량은 전반적으로 낮아 (cf. 수백-수만 indiv · liter⁻¹ in Song *et al.* 2003; Choi *et al.* 2013) 조사 수역 생태계 내에서 동물플랑크톤의 생산량이 차지하는 비중은 일반적인 평지의 하천에 비하여 낮은 것으로 생각된다 (Lim 1992; Yoo and Lim 1992; Kim and Lee 1999; Kim *et al.* 2002). 또한 조사 초기에는 여울에 의하여 부유된 수서곤충 유생의 출현량이 높았고 부영양화된 정수역에서 출현하는 종들은 나타나지 않았다 (Mizuno and Takahashi 1999). 높은 용존산소량과 낮은 동물플랑크톤 출현량 및 정수역 동물플랑크톤의 미출현은 본 조사 수역이 산간 계류의 특성을 가지고 있음을 나타내는 것이다 (Sharma and Rawat 2009).

강원도 대부분 산간 계류의 pH가 8.0 전후로 보고되어 왔고 때로는 10.0 이상이 기록되어 있는 것으로 미루어 (Kim *et al.* 2012) 대부분 8.0 이상을 기록하고 있는 본 조사 수역의 높은 pH도 인근의 석회석 광산과 시멘트 공장 가동에 따른 결과로 추정되며 우리나라 강원도 산간 계류의 높은 pH가 동물플랑크톤 분포에 미치는 영향에 대해서는 추후 연구 과제로 남아있다.

본 조사 수역 주변에는 기존의 습지에 더하여 새로운 습지

를 형성하고 있는데 새롭게 형성되는 습지에서는 주변 기후 조건의 변화에 따라서 기존 동물플랑크톤 군집 변화가 병행되는 것이 일반적이다 (Ruhi *et al.* 2012). 즉 향후 한반도 지형 주변 습지의 동물플랑크톤 군집동태는 본 조사결과와 상이한 경향을 나타낼 것으로 예상되며 (Alexander and Allan 2007) 종다양성의 감소나 증가, 출현종의 급격한 변화 등을 감시할 필요가 있다.

결론적으로 주천강과 평창강이 합류한 영월 서강은 동물플랑크톤 종다양성지수가 높은 안정된 수생태계로 밝혀졌으며 주천강은 시멘트 공장의 영향 등으로 높은 pH를 나타내고 있어 이미 지역 환경관리인의 유어 및 취사, 위락 행위 관리가 이루어지고 있으나 향후 지속적인 감시와 수생태계 변화를 모니터링할 필요가 있는 수역으로 판단되었다. 평창강은 선암마을 뗏목 체험장의 운영에 따른 인위적인 오염이 증가할 것으로 예상되는 수역으로 향후 오염 저감 대책을 수립하여야 할 것이다 (Nelson and Rolin 2003; Vladimir *et al.* 2005).

비록 한반도 지형 인근 수역의 동물플랑크톤 군집 동태는 영월 서강, 주천강, 평창강이 각각의 특성을 나타내며 향후 관리 기준을 제시하고 있지만 산간 계류의 동물플랑크톤 군집 동태는 조사 수역의 넓이와 조사 기간에 따라 큰 차이를 보인다 (Tavernini *et al.* 2009). 즉 주천강과 평창강 상류는 본 조사 결과와 전혀 다른 동물플랑크톤 군집 동태를 보일 수도 있으며 (Cho and Mizuno 1977) 영월 서강도 영월 읍내를 거친 후 영월 동강에서는 전혀 다른 동물플랑크톤 군집 동태를 나타낼 가능성이 농후하다. 따라서 한반도 지형 인근 수역에 형성되는 한반도 습지의 궁극적인 관리를 위해서는 향후 조사 기간과 조사 수역의 확장을 통하여 세밀한 생물상 동태를 파악하는 것이 필요하며 인위적 습지 조성에 따른 생물상 변화에 대한 별도의 조사 및 대책이 필요할 것이다.

적 요

춘계 영월 한반도습지 주변 유수역의 동물플랑크톤 군집 동태 연구를 위하여 2014년 3월부터 7월까지 3개 정점에서 (정점 1: 영월 서강, 정점 2: 평창강, 정점 3: 주천강) 4회의 동물플랑크톤 시료를 채집하였다. 총 58종류의 동물플랑크톤이 출현하였으며 27종의 윤충류, 18종의 지각류, 8종류의 요각류, 4종류의 수서곤충 유생 및 한 종류의 선충류로 이루어져 있었다. *Alona*속의 종들과 같은 씨물벼룩과에 속하는 지각류가 다양하게 출현하였고 정수역 대표종들인 물벼룩과와 긴빨물벼룩과의 지각류가 미출현한 것은 조사 수역의 유수성을 보여준다. 동물플랑크톤 출현량은 정점 3에서만 입방미

터당 4,451~8,011개체로 높았고 나머지 정점들에서는 500개체를 넘지 않았다. 정점 1에서 3월부터 6월까지의 수서곤충의 유생이 우점하다가 7월에는 지각류와 요각류의 우점으로 천이가 이루어졌으며 유사한 천이가 정점 3에서도 관찰되었으나 정점 2에서는 이러한 천이가 없었다. 종다양성지수는 3월을 제외하면 정점 1에서 항상 높게 나타났다. 조사 기간 내내 높은 용존산소량은 (9.0~11.0 mg · liter⁻¹) 산간 계류의 특성을 보이는 것이며 수온은 3월에 10.1°C에서 7월에 27.9°C로 서서히 증가하였고 높은 pH는 (7.9~8.9) 조사 수역 주변의 석회석 광산과 시멘트 공장의 영향으로 추정된다.

REFERENCES

- Alexander GG and JD Allan. 2007. Ecological success in stream restoration: case studies from the midwestern United States. *Environ. Manage.* 40:245-255.
- An K-G and I-C Shin. 2005. Influence of the Asian monsoon on seasonal fluctuations of water quality in a mountainous stream. *Korean J. Limnol. Soc.* 38:54-62.
- Bassi N, MD Kumar, A Sharma and P Pardha-Saradhi. 2014. Status of wetlands in India: A review of extent, ecosystem benefits, threats and management strategies. *J. Hydrol.: Region. Stud.* 2:1-19.
- Chang CY. 2010. Continental Harpacticoida. Invertebrate fauna of Korea, Flora and fauna of Korea. 21(4) NIBR, MIE, Seoul. 244pp.
- Chang CY. 2012. Continental Cyclopoida I. Invertebrate fauna of Korea, Flora and fauna of Korea. 21(19) NIBR, MIE, Seoul. 92pp.
- Cho KS and T Mizuno. 1977. Communities in the Uiam lake consisting of the two different river systems. *Korean J. Limnol. Soc.* 10:73-85.
- Choi J-Y, S-K Kim, S-W Hong, K-S Jeong, G-H Na and G-J Joo. 2013. Zooplankton community distribution and food web structure in small reservoir: Influence of land uses around reservoirs and littoral aquatic plant on zooplankton. *Korean J. Limnol. Soc.* 46:332-342.
- Chung K. 2008. Body length-mass relationships of aquatic insect of mountain streams in Central Korean peninsula. *Korean J. Limnol. Soc.* 41:320-330.
- Fisher SG and RA Sponseller. 2009. Streams and rivers as ecosystems. In: *Encyclopedia of inland waters* (Likens GE ed.). Arizona State University Press, Tempe. 491-498pp.
- Jeong HG. 2013. Diversity of freshwater Cladocera (Crustacea: Branchiopoda) in the south of Korean Peninsula. PhD Dissertation, Hanyang University, Seoul. 236pp.
- Khamis K, DM Hannah, LE Brown, R Tiberti and AM Milner.

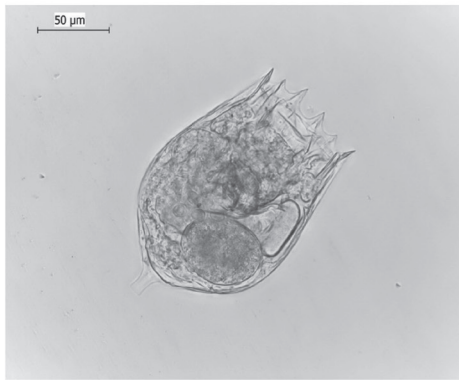
2014. The use of invertebrates as indicators of environmental change in alpine rivers and lakes. *Sci. Total Environ.* 493:1242-1254.
- Kim H, H Park, S Park and O Lee. 2012. Biological water quality assessment of Joyang-river located at the upper region of north Han-river using DALpo and TDI. *Korean J. Limnol. Soc.* 45:289-301.
- Kim S. 2013. Zooplankton and phytoplankton in the Hyuncheon wetland, Gangwon-do, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 32:371-276.
- Kim S. 2014a. Pre-monsoon dynamics of zooplankton community in the estuary of the Tamjin river, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 33:19-26.
- Kim S. 2014b. Pre-monsoon dynamics of zooplankton community in the downstream of the Gagok stream, eastward into the East Sea, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 33:223-229.
- Kim S, M-S Han, K-I Yoo, K Lee and Y-K Choi. 2002. Zooplankton and phytoplankton dynamics with the construction of river mouth dam in Kum River estuary, Korea. *Korean J. Limnol. Soc.* 35:141-144.
- Kim S and JH Lee. 1999. Environmental studies of the lower part of Han River IV. Zooplankton dynamics. *Korean J. Limnol. Soc.* 32:16-23.
- Lafont M. 2011. Towards ecohydrological approach of bio-monitoring in running waters. *Ecohydrol. Hydrobiol.* 11:9-22.
- Lim BJ. 1992. Ecological studies on zooplankton community in the lower part of Han River system, Korea. PhD Dissertation, Hanyang University, Seoul. 193pp.
- McLaughlin F, M Lapointe, G Bourque and D Boisclair. 2014. Using regional flow classes as references to analyse flow regime anomalies across a set of regulated Canadian rivers. *J. Hydrol.* 519:307-328.
- Mizuno T and E Takahashi. 1999. An illustrated guide to freshwater zooplankton in Japan. Tokai University, Simizu. 551 pp.
- Nakwanit S, P Visoottviseth, S Khokiattiwong and W Sangchoom. 2011. Management of arsenic-accumulated waste from constructed wetland treatment of mountain tap-water. *J. Hazard. Mater.* 185:1081-1085.
- Natuhara Y. 2013. Ecosystem services by paddy fields as substitutes of natural wetlands in Japan. *Ecol. Engin.* 56:97-106.
- Nelson SM and RA Rolin. 2003. Effects of multiple stressors on hyporheic invertebrates in a lotic system. *Ecol. Indicators* 3:65-79.
- Ruhi A, J Herrmann, S Gascon, J Sala and D Boix. 2012. How do early successional patterns in man-made wetlands differ between cold temperate and Mediterranean regions? *Limnologica* 42:328-339.
- Shannon CE and W Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana. 177 pp.
- Sharma R and JS Rawat. 2009. Monitoring of aquatic macroinvertebrates as bioindicator for assessing the health of wetland: A case study in the central Himalayas, India. *Ecol. Indicators* 9:118-128.
- Song YH, W Lee and I-S Kwak. 2003. Study on response-species zooplankton to the seasonal changes precipitation and temperature. *Korean J. Limnol. Soc.* 36:9-20.
- Tavernini S, R Primicerio and G Rossetti. 2009. Zooplankton assembly in mountain lentic waters is primarily driven by local processes. *Acta Oecol.* 35:22-31.
- Vladimir N, A Bartošová, N O'Reilly and T Ehlinger. 2005. Unlocking of the biotic integrity of impaired waters to anthropogenic stresses. *Water Res.* 39:184-198.
- Vymazal J and T Brezinova. 2014. Long term treatment performance of constructed wetlands for wastewater treatment in mountain area: studies from the Czech Republic. *Ecol. Engin.* 71:578-583.
- Westgate MJ, GE Likens and DB Lindenmayer. 2013. Adaptive management of biological systems: A review. *Biol. Conser.* 158:128-139.
- Yoo K-I and B-J Lim. 1992. Seasonal succession in the abundance and community structure of zooplankton in Pal'tang reservoir. *Korean J. Limnol. Soc.* 25:89-97.
- Yoon SM. 2010. Branchiopods. Invertebrate fauna of Korea, Flora and fauna of Korea. 21(2) NIBR, MIE, Seoul. 156pp.

Received: 10 December 2014

Revised: 5 August 2015

Revision accepted: 5 August 2015

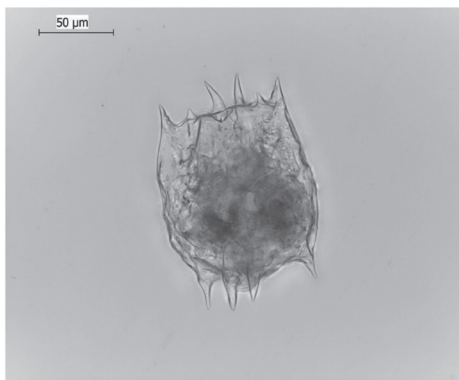
Appendix.



Notholca labis



Trichotria pocilum



Brachionus quadridentatus f. brevispinus



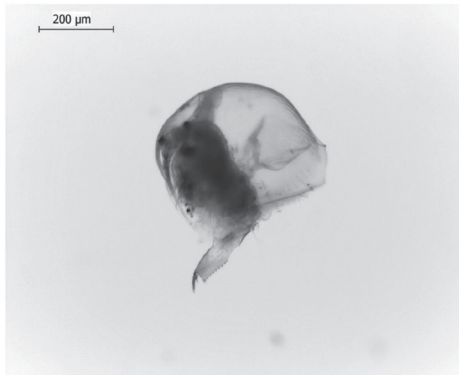
Keratella cochlearis



Aquatic insect larvae 1



Aquatic insect larvae 3



Pleuroxus laevis



Eucyclops miurai