

〈Original article〉

한강 하구 습지의 동물플랑크톤 분포 및 섭식

김 세 화*

용인대학교 생명과학과

The Distribution of Zooplankters with a Note on their Feeding in the Wet Lands of the Lower Han River

Saywa Kim*

Department of Biological Science, College of Environmental Sciences, Yong In University,
Yongin 17092, Republic of Korea

Abstract - For four times, zooplankton collection were conducted seasonally in October 2015–July 2016 at five sites located in the wet lands of the lower Han River, ie., Si-am, Sung-dong, Gong-reung stream, San-nam and Jang-hang. A total of 46 species of zooplankton were collected, which comprise 25 species of rotifers, seven cladocerans, ten copepods, and one species of nematod, ostracod and decapod, respectively. No brackish and marine species were distributed except for two species of brackish water copepods. Prosperity in the species number of 15 species was observed in October at Sung-dong and Jang-hang. The maximum abundance was recorded in March at Si-am with 8,000 indiv. L⁻¹ with the explosion of *Brachionus calyciflorus*. Other sites also showed high abundances in March with the abundance higher than 5,000 indiv. L⁻¹. Except in March, the abundance levels were recorded as less than some hundred indiv. L⁻¹ throughout the study. Species diversity varied between 0.4–1.8. The gut contents of the copepodite showed that various diatoms might be their major food items, and lots of unidentified materials were also observed. The environmental conditions of water temperature, pH and dissolved oxygen content showed to vary 10.1–28.2°C, 7.1–8.6 and 4.5–11.0 mg L⁻¹, respectively.

Keywords : abundance, brackish copepods, food item, diatom frustule

서 론

우리나라 4대강 중 한강을 제외하면 낙동강, 금강, 영산강 등의 하구에는 간척지 방조제가 건설되어 있어 하구역의 특성이 사라졌다(Kim and Lee 2007). 한강 하구는 신곡수중보와 잠실수중보가 건설되어 서해의 해수가 원활하게 상류역까지 진입하지는 못하지만 표층역을 통한 해수의 유입이

가능하다(Park 2004). 또한 휴전선 인근지역으로서 민간인의 출입이 통제되고 개발이 제한되어 자연 상태의 하구 특성을 비교적 잘 나타내고 있다. 이러한 하구역은 하천의 담수와 바다의 염수가 교차함으로 인해 독특한 기수역 생태계가 형성되며 한강 하구역의 환경은 수도권 야생생물의 서식, 산란, 양육의 공간으로서도 크게 기여하고 있다. 하구역 수서생태계에서 동물플랑크톤은 1차생산자인 식물플랑크톤에 의하여 화학에너지로 전환된 태양에너지를 차지어 등과 같은 상위 영양단계로 전달하는 하위 2차생산자로서 중요한 역할을 수행하고 있다.

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

한강의 동물플랑크톤 초기 연구는 단편적으로 이루어져 주로 북한강 유역에서 출현종 목록을 보고하는 것에 그쳐왔다 (Kang 1969; Cho and Mizuno 1977). 북한강과 남한강이 합류한 팔당댐 하류의 동물플랑크톤에 대해서는 Kim and Park (1969)이 갑각류 플랑크톤의 출현을 보고하였고 이후 Lim (1992)은 한강 하류계의 본류에서 3년간에 걸쳐 동물플랑크톤의 생태학적 연구를 실시한 바 있다.

한강의 하구역에는 넓은 습지가 형성되어 있으나 정치·사회·군사적 원인에 의한 현장 접근의 어려움에 기인하여 김포대교부터 월곶면까지 흐르는 하구연에 생육하는 동물플랑크톤에 대한 조사 연구는 거의 이루어지지 못하였다. 국립습지센터에서는 습지보호지역 정밀조사 사업을 통해 5년 주기로 전국의 생물다양성이 높고 생태적 기능이 우수한 하구역의 생태계 현황을 조사하여 하구역 생태계의 보전과 관리를 위한 자료로 활용하고 있는데 본 연구가 이루어진 한강 하구역은 2011년도에 이어 두 번째로 이루어지는 것이다 (cf. Kim 2015c). 또한 4대강 하구연과 같은 대규모 습지를 제외한 소규모 하구역 습지에서 하구역 생태계 정밀조사라는 사업을 통해 동물플랑크톤의 군집동태를 파악하고 있다 (Kim 2015a, b). 갈수기와 풍수기가 뚜렷하게 구분되고 간만의 차이가 극심한 한강 하구역은 담수와 해수가 혼합되어 염분 변동이 극심한 지역이다. 상류역으로의 해수 유입을 방지하고 수자원 확보를 위한 신곡수중보의 건설로 김포대교 상류 수역에서는 기수역의 특성이 거의 나타나지 않고 있다. 이러한 수계의 변화 특성에도 불구하고 동물플랑크톤을 포함한 생물상의 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 한강 하구 수역을 대상으로 동물플랑크톤 군집 동태 분석과 연계하여 수질 등 관련 자료를 축적하여 향후 한강 하구 습지 개발과 보전을 위한 기초자료를 제공하고자 한다. 아울러 국내에서 시도되지 못했던 동물플랑크톤의 장내용물질 분석을 통하여 한강 하구 습지에 분포하는 동물플랑크톤 중에서 갑각류 플랑크톤인 요각류와 지각류의 먹이원을 추정하여 향후 한강 하류 습지에서 먹이 영양단계를 해석하는 데 필요한 자료를 제공하고자 한다 (Kim *et al.* 1989, 1993).

재료 및 방법

1. 조사지 개황

한강은 한반도 중앙부를 흐르며 유역면적이 34,674 km², 유로연장이 459.3 km로 하류역은 서울을 관통하여 서쪽으로 흐르다가 경기도 파주시 탄현면에서 임진강과 합류하고 하

천법상의 한강 하구 경계인 김포시 월곶면 유도를 지나 서해로 유입된다. 우리나라 4대강인 낙동강, 금강, 영산강의 하구에 간척지 방조제가 건설되어 있어 하구역의 특성이 사라진 것과는 달리, 한강 하구에는 비록 신곡수중보와 잠실수중보가 서해의 해수가 원활하게 상류역까지 진입하는 것을 방해하지만 표층역을 통한 해수의 유입이 가능하다. 또한 휴전선 인근지역으로서 민간인의 출입이 통제되고 개발이 제한되어 자연 상태의 하구 특성을 비교적 잘 나타내고 있다. 이러한 하구역은 하천의 담수와 바다의 염수가 교차함으로 인해 독특한 기수역 생태계가 형성되며 한강 하구역의 환경은 수도권 야생생물의 서식, 산란, 양육의 공간으로서도 크게 기여하고 있다.

본 조사에서는 한강 하구역의 5개 정점에서 동물플랑크톤 시료를 채집하였다. 정점 1은 김포의 시암리습지, 정점 2는 파주시의 성동습지, 정점 3은 공릉천습지, 정점 4는 고양시의 산남습지, 정점 5는 장항습지이다 (Fig. 1).

2. 조사 방법

한강 하구역의 5개 정점에서 2015년 10월, 2016년 3월, 5월, 7월 등 총 4차례에 걸쳐 환경요인을 측정하고 동물플랑크톤 시료를 채집하였다. 수온, pH, 용존산소량은 현장에서 직접 측정하였는데 pH는 portable pH meter (TI Senzphduo)로 측정하였으며 수온은 pH meter로 측정된 수온을 0.1°C 까지 측정 가능한 보상수온온도계로 보정하였다. 용존산소량은 1~12 mg L⁻¹ 범위 내에서 측정 가능한 CHEMetrics (Model K-7512)로 0.5 mg L⁻¹까지 측정하였다. 동물플랑크톤 채집은 원추형 네트 (conical net; 망구 25 cm, 망목 0.05

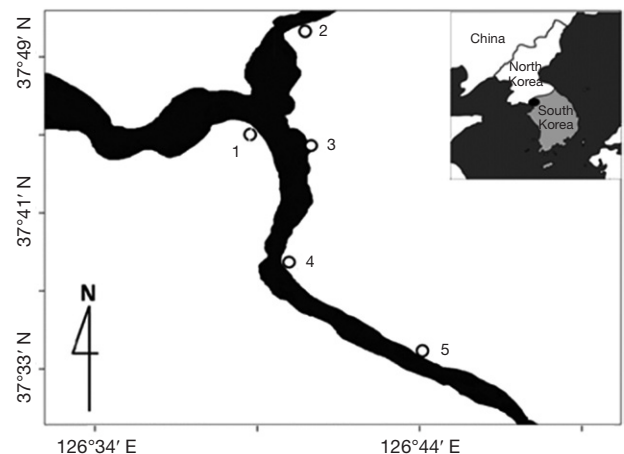


Fig. 1. Station map in the wet lands of the lower Han River system. 1. Si-am, 2. Sung-dong, 3. Gong-reung stream, 4. San-nam, 5. Jang-hang.

mm)의 입구에 여수계(Hydrobios model 438 110)를 부착한 후 사선 예망(oblique hauling)하여 실시하였다. 채집된 시료는 300 mL wide-mouth Nalgene bottle에 담은 후 포르말린을 첨가하여 시료의 최종 농도가 4%가 되도록 고정된 후 실험실로 옮겼다. 실험실 내에서 24시간 이상 방치하여 동물플랑크톤이 가라앉은 채집병의 상등액을 분리하여 100 mL로 3배 농축한 후 바닥에 가라앉은 시료를 페트리 접시에 넣고 해부현미경(Zeiss SV11, Mag. X165)으로 종 수준까지 동정하였으며 윤충류와 같은 소형종은 hollow slide로 옮긴 후 광학현미경(Zeiss Auxiolab, Mag. X400) 하에서 고배율로 검경하여 동정하였다. 동물플랑크톤의 동정은 최근 도감(Mizuno and Takahashi 1999; Yoon 2010; Chang 2010, 2012; Jeong 2013)을 참조하였다. 종 순위 동정이 불확실한 개체들은 개체 크기별 특성에 따라 2종류의 현미경 사진을 사용하여 촬영한 후 영상 판독을 통하여 동정하였다(LEICA ICC50HD, OPTICAM KCS-3.1C).

동정을 완료한 시료는 다시 농축된 시료병에 넣어 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. 해부현미경하에서 계수된 각 종의 출현량은 여수계로 네트 여과 수량을 계산하여 리터당 개체수로 환산하였다. 동물플랑크톤의 출현량 자료를 근거로 5개 정점의 월별 동물플랑크톤 종다양성지수를 계산하였으며 지수 계산은 컴퓨터 프로그램 Primer 5 (2001 Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research)를 사용하여 종다양성지수(Shannon and Weaver 1963)를 구한 후 정점별 계절별 변화를 비교 분석하였다. 갑각류 플랑크톤의 장내용물질 분석을 위하여 2015년 10월에 정점 1에서 우점한 요각류와 지각류의 장을 hollow slide에서 분리한 후 진공펌프를 사용하여 GF/C 필터에 걸러 알코올시리즈(50, 70, 90, 99, 100%)를 거친 시료를 이온 스파터(Eico IB-2)로 골드 코팅하여 전자현미경(Topcon SM-300)하에서 관찰하였다(Turner 1984; Kim *et al.* 1988, 1989).

결 과

동물플랑크톤은 윤충류 25종, 지각류 7종, 요각류 10종, 선형류 1종, 패충류 1종과 십각류 1종 등 총 46종류가 출현하였고 윤충류가 전체 동물플랑크톤 출현종수의 54% 이상을 차지하였다(Table 1). 이 중 40종이 종 순위까지 동정되었으며 하구역의 특성상 요각류는 *Pseudodiaptomus inopinus*, *Sinocalanus tenellus* 등 2종의 기수종이 출현하였다. 출현 종

Table 1. List of zooplankton species occurred in the wet lands of the Han River system during the period of October 2015–July 2016.

	Species
Rotifera	<i>Asplanchna priodonta</i>
	<i>Brachionus angularis</i>
	<i>Brachionus angularis</i> var. <i>chelois</i>
	<i>Brachionus budapestinensis</i>
	<i>Brachionus calyciflorus</i>
	<i>Brachionus calyciflorus</i> f. <i>anuraciformis</i>
	<i>Brachionus calyciflorus</i> f. <i>calyciflorus</i>
	<i>Brachionus dimidiatus</i> f. <i>inermis</i>
	<i>Brachionus dimidiatus</i> f. <i>quartaria</i>
	<i>Brachionus leydigi</i>
	<i>Finilia longiseta</i>
	<i>Keratella cochlearis</i>
	<i>Lacane crepida</i>
	<i>Lecane elasma</i>
	<i>Lecane leontina</i>
	<i>Lacane levistyla</i>
	<i>Lecane luna</i>
	<i>Monostyla bulla</i>
	<i>Monostyla ungnitata</i>
<i>Notholca acuminata</i>	
<i>Notholca</i> sp.	
<i>Polyarthra vulgaris</i>	
<i>Polyarthra vulgaris</i> var. <i>vulgaris</i>	
<i>Schizocerca diversicornis</i>	
<i>Trichocerca gracilis</i>	
Cladocera	<i>Alona costata</i>
	<i>Bosmina longirostris</i>
	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>
	<i>Daphnia galeata</i>
	<i>Daphnia similis</i>
	<i>Daphnia longispina</i>
	<i>Diaphanosoma brachyurum</i>
Copepoda	<i>Acanthocyclops miurai</i>
	<i>Canthocamptus kitaurensis</i>
	<i>Cyclops vicinus</i>
	<i>Eucyclops euacanthus</i>
	<i>Pseudopiaptomus inopinus</i>
	<i>Sinocalanus tenellus</i>
	<i>Thermocyclops crassus</i>
	<i>Tropocyclops prasinus</i>
	Copepod copepodites
	Copepod nauplii
Others	Decapoda
	Fish larvae
	Nematoda sp.
	Ostracoda

수의 변동은 정점별 계절별로 2015년 10월에 정점 2와 5에서 15종이 출현하여 가장 다양하게 출현하였고 2016년 5월과 7월에 정점 4에서 2종이 출현하는 등 5월을 제외하면 정점 4의 출현종수가 가장 빈약하였으며 계절별로 뚜렷하게 증감하는 경향성을 볼 수 없었다(Fig. 2).

동물플랑크톤의 출현량은 3월 정점 1에서 윤충류인

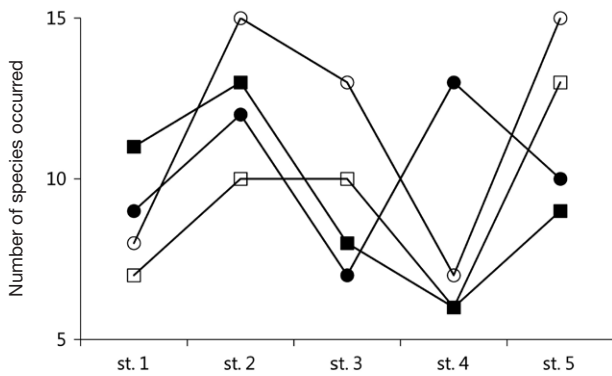


Fig. 2. The variation in the species number of zooplankton occurred in the wet lands of the lower Han River system during the period of October 2015–July 2016. Open circle: Oct. 2015, solid circle: Mar. 2016, open square: May, solid square: July. St. 1: Si-am, st. 2: Sung-dong, st. 3: Gong-reung stream, st. 4: San-nam, st. 5: Jang-hang.

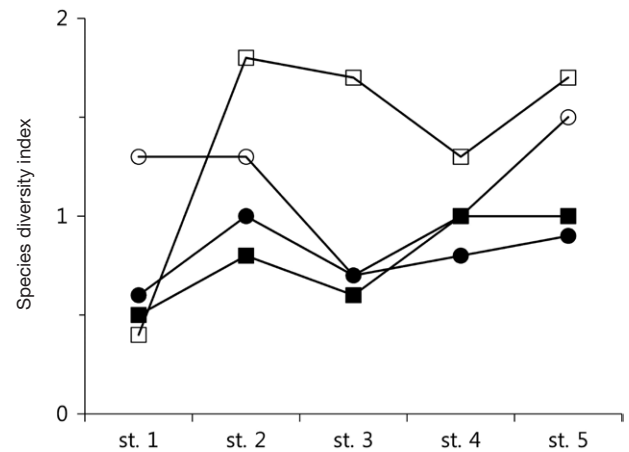


Fig. 4. The variation in the species diversity of zooplankton occurred in the wet lands of the lower Han River system during the period of October 2015–July 2016. Open circle: Oct. 2015, solid circle: Mar. 2016, open square: May, solid square: July. St. 1: Si-am, st. 2: Sung-dong, st. 3: Gong-reung stream, st. 4: San-nam, st. 5: Jang-hang.

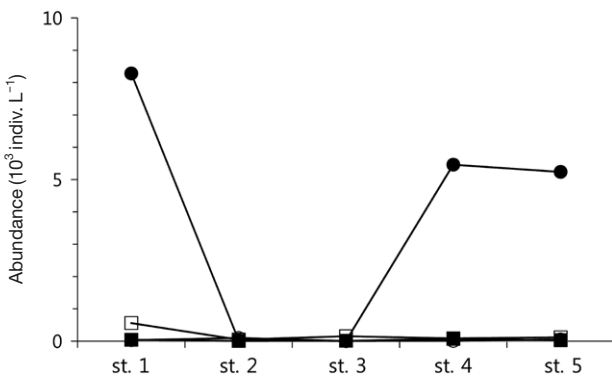


Fig. 3. The variation in the abundance of zooplankton occurred in the wet lands of the lower Han River system during the period of October 2015–July 2016. Open circle: Oct. 2015, solid circle: Mar. 2016, open square: May, solid square: July. St. 1: Si-am, st. 2: Sung-dong, st. 3: Gong-reung stream, st. 4: San-nam, st. 5: Jang-hang.

*Brachionus calyciflorus*의 대량 출현으로 8,000 indiv. L⁻¹ 이상을 기록하였으며 정점 4, 5에서도 *Keratella cochlearis*와 함께 5,000 indiv. L⁻¹ 이상이 출현하였으나 나머지 조사기간 중에는 모든 조사 수역에서 리터당 수백 개체 이하의 비교적 낮은 밀도를 보였다(Fig. 3). 최소 출현량 역시 정점 3인 공릉천에서 3월에 기록되었다. 즉 정점별 출현량의 변화는 뚜렷하지 않았으나 계절별로는 3월에 대량 출현하는 경향을 보였다.

동물플랑크톤 군집의 종다양성지수는 0.4~1.8 사이에서 변동하여 조사기간 중 정점별 변동폭이 크게 나타났다. 정점 1을 제외한 모든 정점에서 5월에 가장 높았고 가장 상류역인 정점5에서 비교적 높았다(Fig. 4). 갑각류 플랑크톤의 장

내용물질 분석은 소화 중인 규조류의 잔존물이 대다수를 차지하고 있었으나 비동정물질들도 다수 혼재하여 나타났다(Fig. 5).

환경요인으로서 수온은 10월과 3월에 각각 12.2~15.3°C와 10.1~13.4°C로 비슷하였고 5월 7월로 가면서 28.2°C까지 서서히 증가하며 계절적 변동 경향성은 뚜렷하게 나타났으나 정점별 변화 패턴은 뚜렷하지 않았다(Table 2). pH는 7.1~8.6 사이에서 변동하였는데 5월과 7월에 전 정점에서 낮게 나타난 것을 제외하면 계절별 정점별 변동 패턴이 뚜렷하지 않았다. 용존산소량은 조사기간 중 리터당 4.5~11.0 mg L⁻¹ 사이에서 변동하였으며 7월에는 전 정점에서 감소하였다.

고찰

담수가 해수로 흘러들어가는 하구역은 생산성이 높고 극심한 환경변화에 적응한 기수종들이 우점하는 수역이다. 한강 하구 습지는 수도 서울을 관통하며 대한민국을 대표하는 강 주변에 형성된 습지로서 국립습지센터에서 주관한 하구역 생태계 정밀조사 및 습지보호지역 정밀조사에 의하여 21세기 초반부터 집중적인 조사가 수행되었으나 동물플랑크톤에 대한 본격적인 조사는 1990년대에 이미 시작되었다(Lim 1992; Yoo and Lim 1992).

한강 하구역은 전 조사 수역에서 특징적인 기수성 동식물 플랑크톤이 빈번하게 출현하지는 않았으나 조사 정점들 중

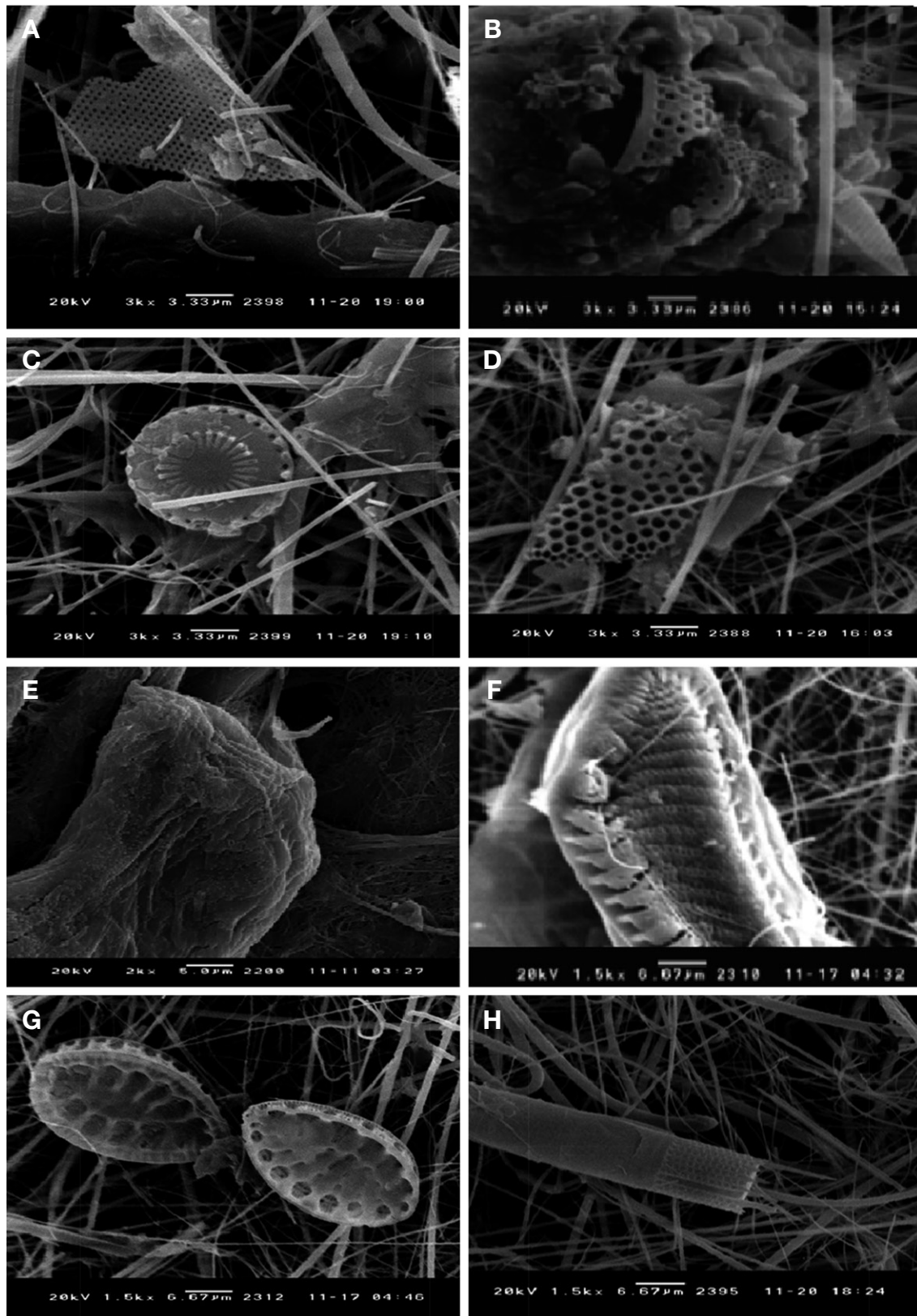


Fig. 5. Various diatom frustules and unidentified materials found in the gut of crustacean planktoners in the wet lands of the lower Han River system. Scale bars indicate 3.33 µm in A, B, C, D, 5.00 µm in E and 6.67 µm in F, G, H.

Table 2. Environmental conditions in the wet lands of the lower Han River system during the period of October 2015–July 2016. W.T. indicates the water temperature in °C and DO indicates the dissolved oxygen content in mg L⁻¹. 1. Si-am, 2. Sung-dong, 3. Gong-reung stream, 4. San-nam, 5. Jang-hang.

Season		Station				
		1	2	3	4	5
Oct. 2015	W.T.	13.1	12.2	13.1	15.3	12.8
	pH	7.7	8.3	7.6	7.6	8.4
	DO	7.0	5.5	7.0	7.0	11.0
Mar. 2016	W.T.	10.8	12.1	10.1	12.7	13.4
	pH	8.6	7.4	7.5	7.6	8.5
	DO	7.0	9.0	9.0	7.0	9.0
May 2016	W.T.	25.3	22.6	20.4	22.2	24.6
	pH	7.3	7.2	7.8	7.4	7.5
	DO	5.5	9.0	7.0	9.0	7.0
July 2016	W.T.	23.0	28.2	25.8	24.6	25.0
	pH	7.1	7.3	7.6	7.4	7.7
	DO	5.5	7.0	5.5	4.5	5.5

가장 상류역인 정점 5의 고양시 장항습지에서도 기수성 요각류가 출현하고 있었다. 즉 가장 상류 정점에서도 기수성 요각류의 분포가 확인되어 해수가 영향을 미치는 수역으로 밝혀졌다. 하지만 지각류와 윤충류는 모두 담수산 종들만 출현하는 등 기수역에 적응한 종들은 출현하지 않았다(Kim 1989). 또한 가장 하류역인 김포시 시암리습지와 파주시 성동습지에서 만조시 해산종이 우점하면서 기수종이 함께 출현하는 현상이 나타나지 않은 것은 조사 편의상 한강 본류역에 접근하지 못하고 인근 농수로에서 채집한 결과로 추정된다(Cho *et al.* 1975; Kim *et al.* 2002; Kim and Kang 2003).

갑각류 플랑크톤의 먹이를 확인하는 과정에서 장내용물질의 대부분은 소화기 진행되어 동정이 불가능했지만 규조류를 섭식하는 것이 확인되어 최소한 조사수역에서는 초식성 먹이연쇄가 존재하고 있음을 증명하였다. 최근에는 Zingela *et al.* (2016)이 섬모충류를 매개로 한 갑각류의 박테리아 섭식에 대해서도 연구되어 있어 향후 지각류와 요각류 종별 장내용물질의 확인과 동정 등과 같은 집중적인 조사를 통하여 먹이망 구축이 가능할 것으로 예상된다(Turner 1984; Otsuka 1985).

환경요인도 수온은 전형적인 온대 수역의 특징을 나타내고 있었고 하구 습지역의 특성상 해수의 영향에 의하여 pH가 높았으나 현장에서 염분 조사가 병행되지 못하여 직접 증거는 없다. 용존산소량은 용존 및 부유 유기물의 영향에 의하여 낮았지만 가장 상류역인 장항습지의 용존산소량이 높았으며 하계인 7월에는 전 정점에서 감소하여 고수온으로 인한 용존산소량 부족의 가능성이 있는 수역임을 시사하였

다(An *et al.* 2012).

본 조사를 통하여 조사된 한강 하구 습지역들은 모두 신곡수중보 하류에 설정된 정점들로서, 동물플랑크톤 출현양상 및 환경변화를 근거로 조사수역 전체가 황해의 영향을 받는 기수역의 특징을 잃지 않고 있음을 알 수 있었다.

적 요

2015년 10월부터 2016년 7월까지 가을, 겨울, 봄, 여름의 계절별로 한강 하구의 시암, 성동, 공릉천, 산남, 장항습지 등 5개 습지에서 동물플랑크톤 채집을 실시하였다. 25종의 윤충류를 포함하는 총 46종류의 동물플랑크톤이 출현하였다. 기수종은 요각류 2종만이 출현하였고 10월에 성동과 장항습지에 출현한 15종류가 가장 다양하게 출현한 것이었다. 최대 출현량은 3월에 시암습지에서 윤충류의 대량 출현에 의해 8,000 indiv. L⁻¹로 기록되었다. 3월에는 다른 정점에서 5,000 indiv. L⁻¹ 이상의 높은 출현량이 나타났지만 나머지 기간 중에서 수백 개체의 낮은 밀도가 지속되었다. 종다양성지수는 0.4~1.8 사이에서 변동하였다. 요각류 유생의 장내용물질 분석 결과 미동정물질들과 함께 규조류가 주먹이원인 것으로 밝혀졌다. 수온은 10.1~28.2°C, pH는 7.1~8.6 용존산소량은 4.5~11.0 mg L⁻¹ 사이에서 변동하여 정점에 따라 하계 수온상승에 의한 용존산소량 부족 가능성이 제기되었다.

사 사

본 연구는 2017년도 용인대학교 학술연구비와 2016년도 국립습지센터 습지보호지역 정밀조사 조사비 지원으로 수행되었다.

REFERENCES

- An KG, HW Jeon and JW Choi. 2012. Spatio-temporal water quality variation at various streams of Han river watershed and empirical models of serial impoundment reservoirs. *Korean J. Ecol. Environ.* 45:378–391.
- Chang CY. 2010. Continental Harpacticoida. *Invertebrate fauna of Korea, Flora and fauna of Korea*. 21(4) NIBR, MIE, Seoul. p. 244.
- Chang CY. 2010. Continental Cyclopoida I. *Invertebrate fauna of Korea, Flora and fauna of Korea*. 21(19) NIBR, MIE, Seoul. p. 92.

- Cho KS, SU Hong and KH Ra. 1975. The comparative study of limnological conditions and plankton fauna of brackish water in the east coast of Korea. *Korean J. Limnol.* 8:25–37.
- Cho KS and T Mizuno. 1977. Comparison of limnological conditions and plankton communities in the Uiam lake consisting of two different river systems, *Korean J. Limnol.* 10:73–85.
- Jeong HG. 2013. Diversity of freshwater Cladocera (Crustacea: Branchiopoda) in the south of Korean Peninsula. PhD Dissertation, Hanyang Univ. Seoul. p. 236.
- Kang SW. 1969. Zooplankton in the Uiam lake. *Korean J. Limnol.* 2:39–43.
- Kim HS and KB Park. 1969. Studies on Copepoda and Branchiopoda in Han river (1) Kwangnaru and Bokwang-dong area. *Korean J. Zool.* 8:1–17.
- Kim HW and HY Lee. 2007. The differences of zooplankton dynamics in river ecosystems with and without estuary dam in river mouth. *Korean J. Limnol.* 40:273–284.
- Kim S. 1989. Studies on the ecology of marine cladocerans in the northwestern Pacific Ocean. PhD Dissertation, Hiroshima Univ. Hiroshima. p. 179.
- Kim S, Y Yoon and T Onbe. 1993. Note on the prey items of marine cladocerans. *J. Oceanol. Soc. Korea* 28:69–71.
- Kim S, MS Han, KI Yoo, K Lee and YK Choi. 2002. Zooplankton and phytoplankton dynamics with the construction of river mouth dam in Kum River estuary, Korea. *Korean J. Limnol.* 35:141–144.
- Kim S and YS Kang. 2003. Brackish lakes in Shinpo district, North Korea. I. Zooplankton. *Korean J. Limnol.* 36:215–220.
- Kim S. 2015a. Pre-monsoon dynamics of zooplankton community in the estuary of the Tamjin river, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 33:19–26.
- Kim S. 2015b. 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. 2015c. Pre-monsoon dynamics of zooplankton community in the Yongwol west river tributary. *Korean J. Environ. Biol.* 33:330–337.
- Kim SW, YH Yoon, T Onbe and T Endo. 1988. Is grazing of marine cladoceran important for the occurrence of red tide? pp. 261–264. In *Red tide: Biology, environmental science and toxicology*, ed. T Okaichi, DM Anderson and T Nemoto. Elsevier, NY.
- Kim SW, T Onbe and YH Yoon. 1989. Feeding habits of marine cladocerans in the Inland Sea of Japan. *Mar. Biol.* 100:313–318.
- Lim BJ. 1992. Ecological studies on zooplankton community in the lower Han river system, Korea. PhD Dissertation, Hanyang Univ. Seoul. p. 193.
- Mizuno T and E Takahashi. 1999. An illustration guide to freshwater zooplankton in Japan. Tokai Univ., Simizu. p. 551.
- Otsuka S. 1985. A note on the feeding habit of a calanoid copepod, *Pontellopsis yamadae* Mori. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.* 30:145–149.
- Park GS. 2004. Salinity distribution and ecological environment of Han river estuary. *J. Korean Wetland Soc.* 6:149–166.
- Shannon CE and W Weaver. 1963. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- Turner JT. 1984. The feeding ecology of some zooplankters that are important prey items of larval fish. *NOAA Tech. Rep. Natl. Mar. Fish.* Ser. 7:1–28.
- Yoo KI and BJ Lim. 1992. Seasonal succession in the abundance and community structure of zooplankton in Pal'tang reservoir. *Korean J. Limnol.* 25:89–97.
- Yoon SM. 2010. Branchiopoda. *Invertebrate fauna of Korea, Flora and fauna of Korea.* 21(2) NIBR, MIE, Seoul. p. 156.
- Zingela P, H Agasilda, K Karusa, K Kangro, H Tammerta, I Tönnoa, T Feldmanna and T Nöges. 2016. The influence of zooplankton enrichment on the microbial loop in a shallow, eutrophic lake. *Eur. J. Protistol.* 52:22–35.

Received: 9 November 2017

Revised: 29 November 2017

Revision accepted: 4 December 2017