

계절적인 강우와 기온의 변화에 따른 동물플랑크톤의 반응 종에 관한 연구

송 영 희 · 이 원 철 · 곽 인 실*

(한양대학교 자연과학대학 생명과학과)

Study on Response-Species of Zooplankton to the Seasonal Changes of Precipitation and Temperature. Song, Young Hee, Wonchoel Lee and Inn-Sil Kwak* (Department of Life Science, Hanyang University, 17 haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul, 133-791, Korea)

Response-species of zooplankton on precipitation and temperature were investigated in the tributaries of Han River from May to November, 2002. Total 42 species (Rotifer twenty three species, Cladocera ten species, Copepoda eight species and Protozoa one species) were collected in the target location. The highest abundance and the number of species were observed in May. Due to the summer precipitation the abundance of Rotifer and Cladocera were largely decreased in August. Dominant species of Rotifer appeared *Brachionus urceolaris*, *Euclanis dilatata*, *Lecane luna*, *Brachionus quadridentatus* and *Brachionus calyciflorus* in May, *Monostyla bulla* and *Conochilus unicornis* in August and *Brachionus quadridentatus*, *Euclanis dilatata* and *Lecane luna* in November. Also, the dominant species of Cladocera were *Moina weismanni*, *Simocephalus vetulus*, *Scapholebris mucronata*, *Chydorus sphaericus* in May, *Chydorus sphaericus*, *Scapholebris mucronata* in August, *Chydorus sphaericus* and *Alona rectangular* in November. Nearest neighbour clustering was implemented for classification of zooplankton abundance in different month of survey locations. The patterning of May and November appeared similar but August was different.

Key words : zooplankton, flooding, temperature, response-species

서 론

수질오염의 판단기준은 수 환경 내에 어떤 물질이 어느 수준으로 분포하는가를 확인하는 분석화학적 기법에 의해 이루어지고 있다(이와 황, 1999). 그러나 이런 분석화학 기법은 오염물질들 중에 분석대상으로 선정된 일부 화학물질만을 조사하게 된다.

따라서 여러 오염물질의 혼합된 상태나 자연생태계에 존재하는 화학적 형태에 따라서 생물에 미치는 영향이 달라짐을 반영하는 데에는 한계가 있다(Roberts et al.,

1990). 이러한 한계점을 극복하고 건강성을 고려한 수질 진단기법으로 제시된 것이 생물학적 지표종(bioindicator)을 이용하는 방법들이 연구되고 있다. 여기에 주로 이용되는 생물로는 물벼룩(*Daphnia magna*), 송사리(*Oryzias latipes*), 깔따구류의 일종인 *Chironomus riparius* 등과 같은 물질에 민감한 일부의 종들에 대해서 시행되고 있는 실정이다(Hahn, 2001). 이런 종을 도출시키기 위해 많은 시간과 노력이 요구된다. 민감성과 세대번성의 용이성, 실험의 반복을 통한 재현성, 사육의 용이성 등을 만족시켜야 한다. 담수생태계는 매우 다양한 자연적, 인위적 환경요인이 빈번하게 발생하며 이에 따른 반

* Corresponding author: Tel: 02) 2290-0951, Fax: 02) 2296-7158, E-mail: inkwak@hotmail.com

응을 빠르게 진단하기 위한 서식생물의 생존과 번성여부는 중요한 지수로 간단하고 쉽게 판단할 수 있는 유용한 정보임에 틀림없다. 이런 관점에서 북미를 중심으로 한 저서성 대형무척추동물에 대상으로 한 각종 지수가 널리 사용되고 있다 (Hynes, 1970; Hellawell, 1986). 동물성플랑크톤의 계절적인 분포나 우점종에 대한 연구는 다수 이루어졌다 (Yoo and Lim, 1991; Kim and Lee, 1999; Kim *et al.*, 2001). 한강과 낙동강을 제외한 주요 하천에 대한 동물플랑크톤의 군집구조 연구는 미약하여 낙동강에서의 동물플랑크톤 군집 연구 (Lim *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 2001)와 일부 인공호에서의 연구 (Yoo *et al.*, 1987; Cho *et al.*, 1989; Kim and Cho, 1995)가 보고되었다. 현재 자연적 및 인간의 교란에 의한 생물종의 변화에 대한 관심은 수질의 건강성에 대한 문제점을 해결하는 것에 귀결되고 있다. 따라서 지표종 추출을 위한 연구는 매우 중요한 연구이다. 이에 본 연구에서는 동물플랑크톤을 대상으로 계절적인 강우와 기온하강을 반영하는 분류군과 반응종 (response-species)을 파악하고자 하였다.

조사 방법

1. 조사지점 및 샘플채집

2002년 5월, 8월, 11월의 3회에 걸쳐 한강 지류인 충주 두모소, 원주 물구비, 홍천 부처울, 파주 곡릉천을 현장조사 하였다 (Fig. 1). 조사지를 선정할 때 가급적 다양한 종을 추출할 수 있는 조사지를 선정하였다. 조사는 한 조사지당 1 km 간격으로 3정점씩 총 12지점을 조사 정점으로 선정하였다. 채집은 조사지의 수심 (15~25 cm)이 대체로 낮았기 때문에 수직 및 수평예망을 실시하지 않고 5 l 정량 플라스틱 통을 이용하여 채수한 후 플랑크톤 네트(망목 63 μm)에 거르는 작업을 10회 반복하여 총 50 l 정량채집을 하였다. 조사정점 시료는 모두 현장에서 5% 포르말린으로 고정하였다. 조사지가 위치한 여름 강우는 7월과 8월에 집중되어 각각 345.3 mm와 407.7 mm로 기록하였고 이를 제외한 월별 강우는 56 mm를 초과하지 않았다 (www.kma.go.kr).

2. 동정 및 통계분석

시료는 실험실에서 1/10을 취하여 동물 플랑크톤 계수판에 넣고 40~144배의 고배율 해부현미경 (Olympus SZX12)을 사용하여 종별로 계수하였고, 그 후 m^3 당 개



Fig. 1. The sampling stations of the target streams presented the map.

체를 환산하였다. 종 동정을 위해 lactophenol을 떨어뜨린 Cobb 슬라이드 위에서 100~1000배의 DIC microscope (Olympus BX51)를 이용하여 충분히 관찰하고 해부가 필요한 종은 해부핀으로 해부하여 동정 (identification)하였으며 요각류는 주로 Chang (1989), Mizuno and Takahashi (1999), 지각류는 Yoon and Kim (1987)과 Kim (1988), 윤충류는 Song (1989)와 Mizuno and Takahashi (1999)를 참조하였다. 분류학적으로 동정이 어려운 Copepodites와 Nauplius는 풍부도만을 조사하였다. 동정이 끝난 종은 DIC microscope 하에서 Digital Camera (Olympus C-4040)을 사용하여 촬영하였다. 조사가 이루어진 각 조사지점과 종의 출현에 따른 유사성은 MVSP (Multi Variate Statistical Package) 프로그램을 사용하여 클러스터링 (clustering)하였다 ("<http://www.kovcomp.com/mvspindex.html>"). 본 연구의 목적인 강우와 시기에 반응하는 종을 추적하기 위하여 데이터의 처리는 각 조사 시기별로 구분하여 실시하였다.

결 과

1. 서식처에 따른 전체적인 군집분포

전체적인 출현을 살펴보면 조사대상인 4개 지역에서 총 42종이 조사되었는데, 원생동물(Protozoa) 1종, 윤충류(Rotifer) 23종, 지각류(Cladocera) 10종, 요각류(Copepoda) 8종이 출현하였다. 계절별로 이루어진 3번의 조사에서 출현종의 경우에는 5월이 가장 다양하여 곡릉천에서 총 22종이 동정되었으며, 8월에는 장마의 영향으로 인해서 현존량과 함께, 출현종이 가장 적어, 두모소와 물구비에서 1종만이 출현을 하였다(Appendix 1). 전 조사지점의 각 조사시기별 풍부도는 5월에 가장 높게 나타났으며 8월과 11월은 차이가 근소하게 나타났다. 5월에 곡릉천(2,276,300 inds./m³)과 두모소(273,400 inds./m³)는 출현이 높았던 반면 물구비와 부처울은 낮게 나타났다(Table 1). 여름의 집중 강우에 노출된 우리 하천의 특성이 반영되어 8월에는 풍부도가 5월에 높게 조사되었던 곡릉천(55,800 inds./m³)과 두모소(3,800 inds./m³)와 물구비(8,400 inds./m³)는 크게 감소되었으나 상대적으로 풍부도가 낮았던 부처울(117,000 inds./m³)은 오히려 크게 증가되어 나타났다. 기온이 떨어진 시기인 11월에는 곡릉천과 부처울이 감소된 반면 물구비(34,600 inds./m³)와 두모소(17,000 inds./m³)는 크게 증가되어 나타났다.

다.

2. 출현종의 서식처 및 시기별 출현경향

가장 높은 풍부도를 보였던 분류군은 윤충류(Rotifer)로 5월의 곡릉천에서 매우 높았다. 5월에는 *Brachionus urceolaris*가 가장 높은 풍부도를 보여 1,098,000 inds./m³가 출현하였는데 특히, 곡릉천에서 1,091,600 inds./m³가 출현하였다(Appendix 1). 다음으로는 *Euclanis dilatata*가 전 조사지점에서 높은 출현을 보여 전체 85,200 inds./m³가 조사되었으며 *Lecane luna*는 10,600 inds./m³가 두모소에서 6,800 inds./m³가 출현하였다. 또한 *Brachionus quadridentatus*와 *Brachionus calyciflorus*도 풍부하게 나타났다. 5월에 우점을 이루었던 *Brachionus quadridentatus*, *Brachionus calyciflorus*, *Lecane luna*는 강우 후인 8월에 관찰되지 않았으며 곡릉천에서 소수의 *Brachionus urceolaris*가 조사되었다. 반면, 부처울에서 다수의 *Monostyla bulla*가 101,000 inds./m³, *Conochilus unicornis*가 6,400 inds./m³가 출현하였다. 5월에 우점을 차지하였던 *Euclanis dilatata*는 크게 감소하였으나 곡릉천에서 5,600 inds./m³가, 물구비에서 2,200 inds./m³이 조사되었다. 그러나 11월에는 5월에 우점을 이루었던 종이 회복되는 양상을 보여 *Brachionus quadridentatus*가 곡릉천에서 34,200 inds./m³, *Euclanis dilatata*가 물구비에서 8,000 inds./m³로 출현하였고, *Le-*

Table 1. The monthly abundance of selected zooplankton collected in four streams, tributaries of Han River.

(unit: number of individuals/m³)

	Taxa	Gokleung	Mulgubi	Bucheoul	Dumoso	Total
May	Protozoa	200	400	400	9200	10200
	Rotifer	1344800	36800	18200	72600	1472400
	Cladocera	869500	8000	6000	127800	1482600
	Copepoda	61800	9400	18800	63800	153800
	Total	2276300	54600	43400	273400	2647700
	No. of species	22	17	19	21	
August	Protozoa	0	200	400	400	1000
	Rotifer	22200	3200	108800	1000	1000
	Cladocera	6000	600	0	0	6600
	Copepoda	27600	4400	7800	2400	42200
	Total	55800	8400	117000	3800	185000
	No. of species	17	10	9	6	
November	Protozoa	0	600	0	200	800
	Rotifer	35800	13600	4200	10600	64200
	Cladocera	1200	13000	600	4400	19200
	Copepoda	2400	7400	68200	1800	79800
	Total	39400	34600	73000	17000	164000
	No. of species	8	14	11	16	

*cane luna*가 물구비 (3,400 inds./m³)와 두모소 (1,400 inds./m³)에서 조사되었다.

지각류(Cladocera)도 윤충류와 유사하게 5월에 가장 높은 풍부도를 보였으며 특히, 곡릉천 (869,500 inds./m³)과 두모소 (127,800 inds./m³)에서 높게 나타났다 (Fig. 2, Table 1). 5월에 다수 출현한 종으로 *Moina weismanni* (463,000 inds./m³), *Simocephalus vetulus* (375,300 inds./m³)와 *Scapholebris mucronata* (18,600 inds./m³)가 곡릉천에서, *Chydorus sphaericus* (109,400 inds./m³)가 두모소에서 높게 출현하였다. 8월에는 전 지점에서 매우 크게 감소하여 5월에 곡릉천에서 우점을 이루었던 *Moina weismanni*, *Simocephalus vetulus*는 전조사지에서 출현

되지 않았다. 단지 곡릉천에서 소수의 *Chydorus sphaericus* (2,600 inds./m³), *Scapholebris mucronata* (3,000 inds./m³)가 조사되었다. 11월은 8월에 비하여 풍부도가 증가하였다. *Chydorus sphaericus*는 전 조사시기 동안 지속적인 출현을 보여 주었으며, 5월과 8월에 소수 출현 하였던 *Alona rectangulara*가 전 지점에서 다수 출현하여 계절적인 특성이 있음을 보여 주었다. 그러나 5월에 우점을 이루었던 종과는 다른 군집구성을 보였으며 우점을 이루었던 서식처도 11월에는 물구비로 나타났다.

요각류 (copepoda)는 주로 코포페다이트 (copepodites)와 노플리우스 (nauplius) 상태가 대다수를 차지하였으며 5월에 가장 높은 풍부도를 보였으며 8월 유실효과로 가

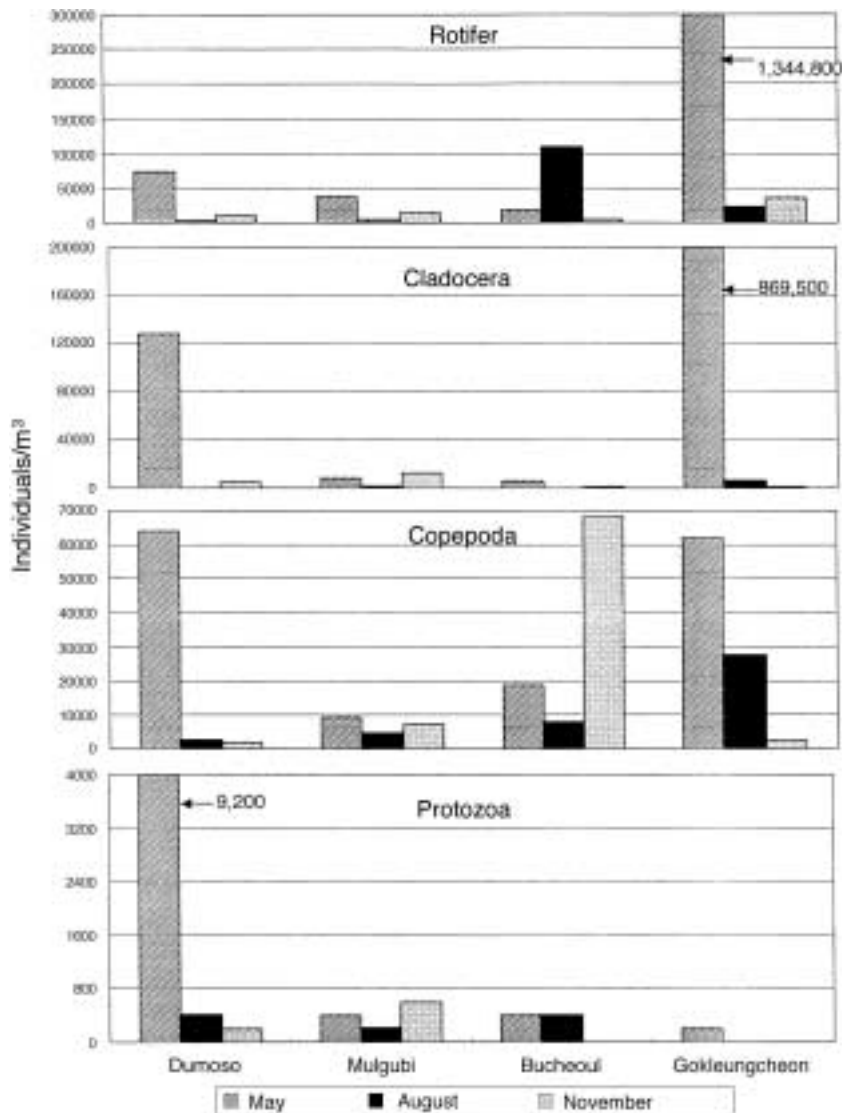


Fig. 2. The abundance of selected zooplankton collected in target streams.

장 낮은 풍부도를 그리고 11월에는 다소 증가된 풍부도를 보였다 (Fig. 2). 조사된 요각류의 대다수를 차지한 상태인 copepodites와 nauplius는 5월과 8월 곡릉천에서 다수 조사되었으나 11월에는 부처울에서 우점을 이루었다. 집중 강우로 감소되기는 하였으나 지속적인 출현을 보인 종은 *Eucyclops speratus*로 5월 20,000 inds./m³, 8월과 11월에 1,800 inds./m³로 조사되어 조사지의 대표종이라 할 수 있다. 5월에 *Eucyclops macruroides*가 두모소에 27,000 inds./m³, 곡릉천에 9,400 inds./m³ 출현하였고, *Thermocyclops taihokuensis*는 전 지점에서 800-2,000 inds./m³의 범위에서 출현하였다. 8월에 *Eucyclops macruroides*와 *Thermocyclops taihokuensis*는 전 지점에서 조사되지 않았으며 *Thermocyclops crassus*가 두모소를 제외한 지점들에서 소수 출현하였다. 기온이 하강한 11월에 *Thermocyclops taihokuensis*는 5월의 풍부도로 회복되었으며 *Microcyclops varicans rubellus*도 소수 출현하였다. 원생생물 (Protozoa)로는 *Diffugia pyriformis*만이 조사되었는데 이 종은 조사지점 중 두모소에서 가장 높은 풍부도를 보여 주었으며 시기별로는 5월에 상대적으로 풍부하게 출현한 이후 소수가 조사되었다.

3. 각 조사시기와 출현종의 유사성 검토를 통한 지표종 추출

출현한 종과 서식처의 유사성 (similarity)을 nearest neighbour clustering 기법을 통하여 살펴보았다. 전체적으로 언급된 서식처별 군집출현의 경향이 잘 반영되어졌으며 조사지에 따른 유사성은 대체적으로 낮아 대략 5~40%의 유사성이 있음을 보였다 (Fig. 3). 5월과 8월의 유사성은 20% 이하인 반면 11월에는 45% 이하로 나타났으며 특히, 집중강우 후인 8월에 상대적으로 유사성이 낮은 것으로 나타났다. 곡릉천의 5월과 11월에는 다른 조사지와 유사성이 매우 낮아 뚜렷한 차이가 나는 조사지로 나타났다. 8월에는 강우 후 다른 지점들의 풍부도가 낮아졌으나 급격히 출현이 증가된 부처울이 다른 지점과 구분되어졌다 (Table 1).

5월의 클러스터링을 통한 그룹화를 보면 크게 세 그룹으로 나뉘고 그룹 (Group) 3은 두개의 부그룹 (Sub-group)으로 다시 나뉘었다 (Fig. 4). 그룹 1과 그룹 2에 속한 종들은 대다수 윤충류였고 앞서 살펴 본 우점을 차지하였거나 환경반응 종이 포함되어져 있지 않았다. 그룹 3의 부그룹 1은 출현한 다양한 분류군이 포함되어 있으나 환경에 반응을 하는 것으로 고려되었던 종이 포함 되어 있지 않았다. 반면 부그룹 2에는 5월에 우점을

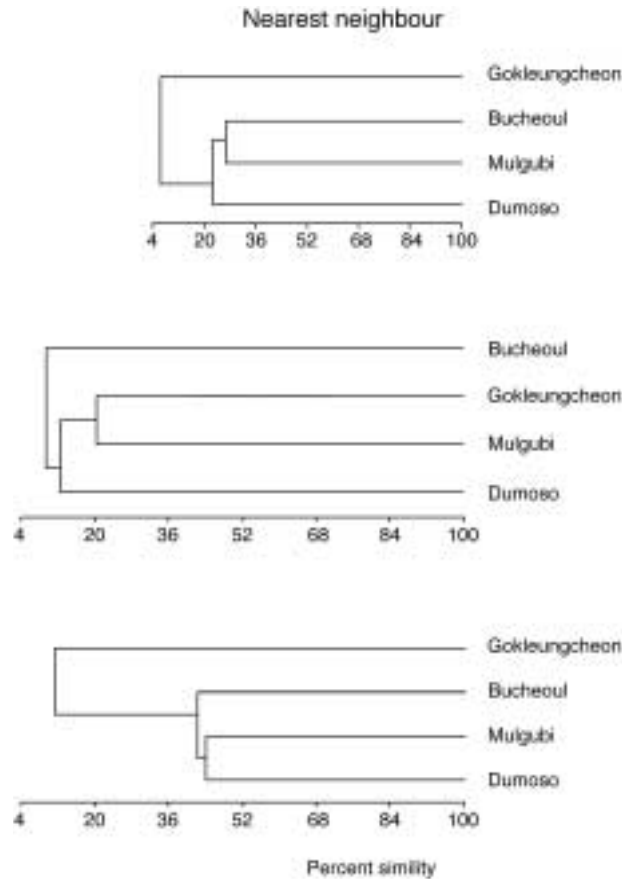


Fig. 3. Nearest neighbouring clustering on the total values of zooplankton at four stations, tributaries of Han River.

이루었던 것으로 언급되었던 종들이 모여져 나타났다.

강우 후의 종의 출현 풍부도를 클러스터링 한 결과 5월에 비해 유사성이 낮게 나타났으며 크게 세 그룹으로 나뉘었고 그룹 3은 두 개의 부그룹으로 나누었다 (Fig. 5). 그룹 1은 5월과 마찬가지로 반응 종이 포함되어져 있지 않았다. 그룹 2는 윤충류로 유사성이 낮은 것으로 나타났으나 강우 후 크게 증가되어졌던 종들이 모여졌다. 그룹 3 중에 부그룹 1에 모인 종들은 앞서 언급되었던 강우 후 변화가 있었던 것이 그룹을 이루었다. 조사 시기 중 기온이 낮아진 11월에도 크게 세 그룹으로 구분되어졌다 (Fig. 6). 역시 그룹 1에는 11월에 변화가 반영된 종은 포함되지 않았으며 그룹 2에는 유사성이 낮으나 윤충류 중 반응하는 것으로 언급된 종이 모여졌다. 그룹 3에는 강우 후 회복되거나 기후 변화에 반응한 종들이 모여졌다.

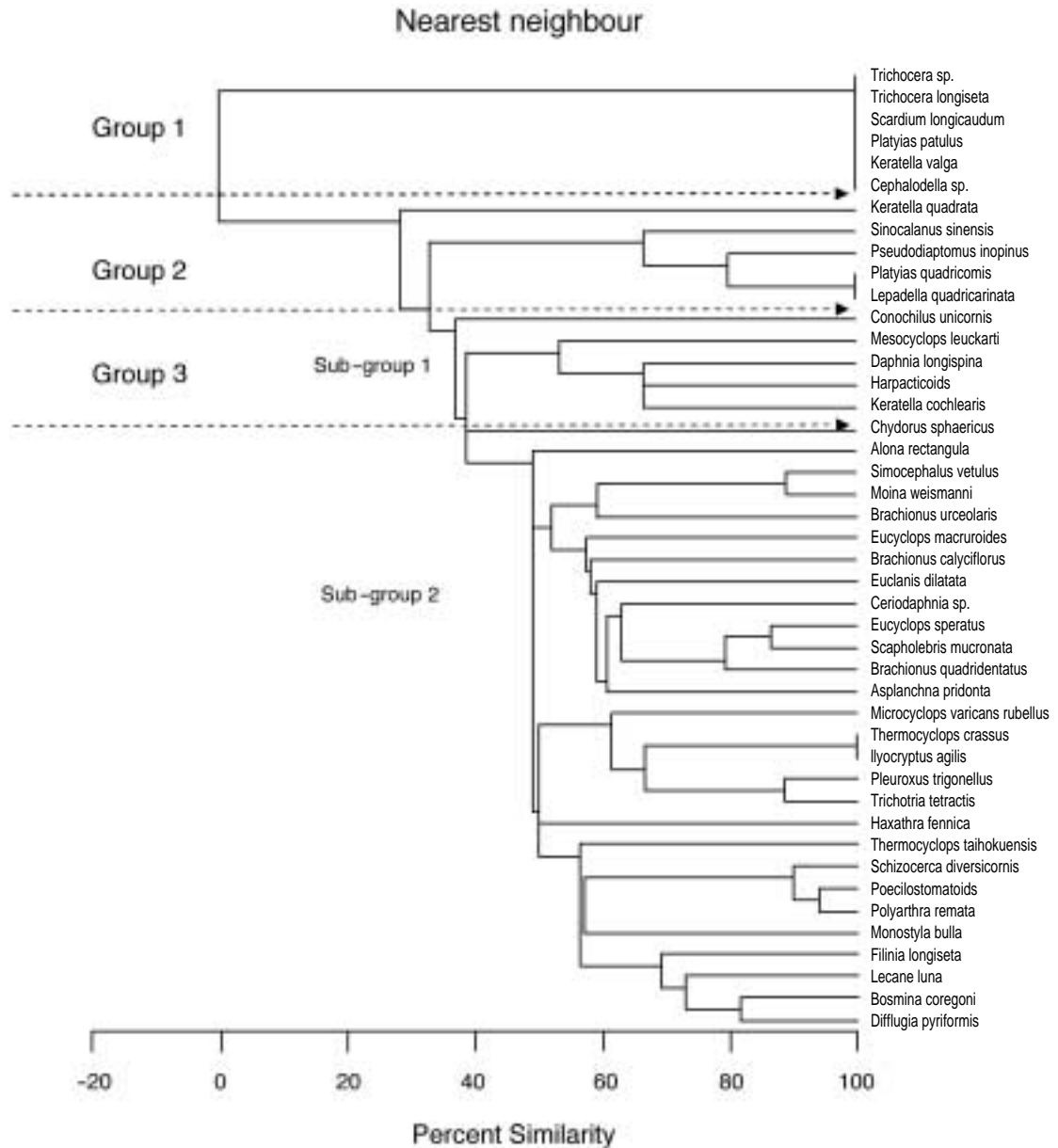


Fig. 4. Nearest neighbouring clustering on the total values of zooplankton at observed species in May, 2002.

고 찰

북미를 비롯한 서구유럽에서는 이미 저서성 생물의 서식처와 환경에 대한 관계를 위한 연구가 다수 이루어져 서식처 적합성이나, 생물이 가진 적응성, 지형적인 특성 등에 대한 연구가 이루어져 있다 (Resh *et al.*, 1994). 그러나 이런 연구는 주로 저서성 대형무척추 동물을 대상으로 하였으며 동물성플랑크톤에 대한 서식처 연구는

분류학적인 연구의 일부로서 이루어져 있어 앞으로 연구가 진행되어야 한다. 본 연구에서는 계절적인 교란으로 작용하는 강우와 기온의 변화에 대한 동물성플랑크톤의 반응 중을 살펴보았다.

강우영향은 전 조사지점에 작용하여 풍부도가 감소하였으나 조사지에 따라 다양하게 나타났다. 강우 후 윤층류가 곡릉천에서는 크게 감소하였으나 부처울에서는 증가되었다. 또한 강우 후 기온이 낮아진 11월에 부처울에서 요각류가 오히려 증가되었다. 이런 사례들은 교란에

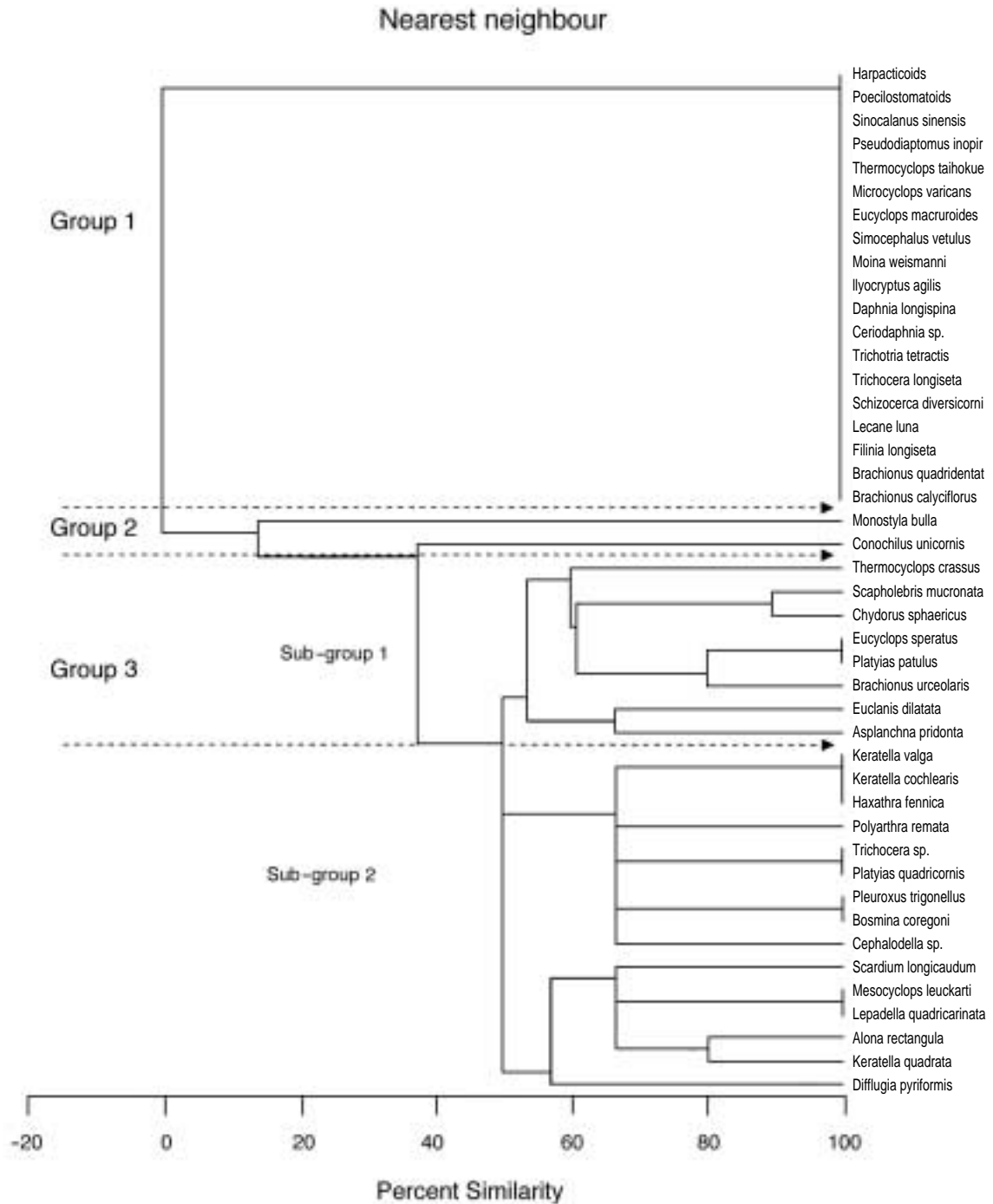


Fig. 5. Nearest neighbouring clustering on the total values of zooplankton at observed species in August, 2002.

대한 반응이 생물개체군과 서식처로서의 조사지의 특성에 따라 다양하게 나타남을 시사한다. 따라서 종의 서식처 및 지형적인 특성의 연구가 필요하다. 군집의 출현연구에는 서식처 특성으로서 물리화학적인 특성 외에 지형적인 특성을 정량화 할 수 있는 방법들이 제시되어져

야 할 것으로 생각된다. 각 분류군별 강우에 대한 반응을 보면 윤충류와 지각류가 매우 크게 감소하였으며 특히, *Moina weismanni*, *Simocephalus vetulus*가 강우에 민감하게 반응한 종으로 고려되었다. 지각류는 조사시기에 따라 우점종이 다양하게 조사되어 환경변화에 민감

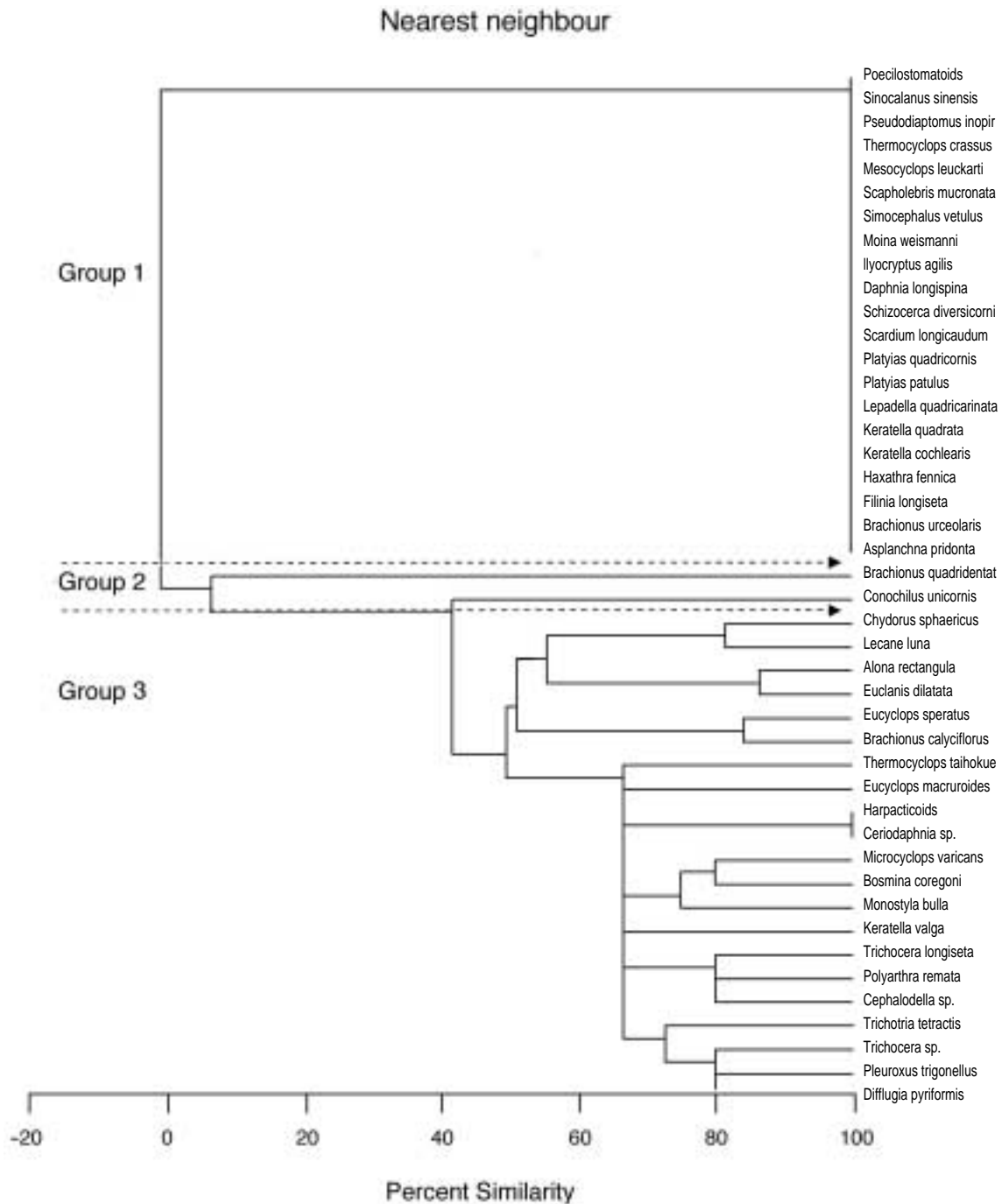


Fig. 6. Nearest neighbouring clustering on the total values of zooplankton at observed species in November, 2002.

하다고 할 수 있으며 지속적인 출현을 하였던 *Chydorus sphaericus*는 본 조사지의 대표종으로 고려될 수 있다고 하겠다. 클러스터링을 통한 구분화 (classification)는 각 조사시기에 반응한 종과 우점한 종을 추출하는데 무리가 없음을 보여주었다. 특히, 강우효과는 조사지에

따라 다르게 나타남에 기인하여 8월에 유사성이 가장 낮게 나타났다. 비록 11월의 풍부도는 5월과 비교하여 보면 회복되었다고 하기 어렵다. 그러나 클러스터링에 따른 유사성의 경향은 5월의 경향과 동일하게 나타났다.

적 요

2002년 5월부터 11월까지 한강지류를 대상으로 강우와 기온에 따라 반응하는 분류군과 종을 조사하였다. 윤충류 (Rotifer) 23종, 지각류 (Cladocera) 10종, 요각류 (Copepoda) 8종 그리고 원생동물 (Protozoa) 1종으로 총 42종이 조사되었다. 조사기간 중 5월이 가장 높은 풍부도와 다양한 종이 출현하였다. 조사지에 따라 차이는 있으나 여름 강우로 지각류와 윤충류의 풍부도가 크게 감소하였다. 가장 높은 풍부도를 보였던 윤충류의 5월 우점종은 *Brachionus urceolaris*, *Euclanis dilatata*, *Lecane luna*, *Brachionus quadridentatus*, *Brachionus calyciflorus*였다. 8월에는 *Monostyla bulla*, *Conochilus unicornis*가 11월에는 *Brachionus quadridentatus*, *Euclanis dilatata*, *Lecane luna*가 다수 출현하였다. 지각류는 5월에 *Moina weismanni*, *Simocephalus vetulus*, *Scapholebris mucronata*, *Chydorus sphaericus*가 8월에는 소수의 *Chydorus sphaericus*, *Scapholebris mucronata*가 11월에는 *Chydorus sphaericus*, *Alona rectangula*가 우점을 이루었다. 클러스터링 (nearest neighbour clustering) 을 통해 5월과 11월의 조사지에 따른 유형은 유사하였으나 8월은 다른 양상을 보였다.

사 사

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2002-005-C00022).

인 용 문 헌

이지나, 황인영. 1999. 생물학적 검정법을 이용한 소규모 수계 내 수질 오염물질의 환경독성 평가-상주시 발아시험과 Microtox 시험비교. *Kor. J. Toxicol.* **14**: 135-144.

Cho, K.S., Y.-C.P. and S.-J. Cho. 1989. A Study on the vertical distribution of the zooplankton in lake Soyang. *Korean J. Limnol.* **22**: 191-197.

Hahn, T. Matthias L. and Ralf S. 2001. Effects of hormone mimetic insecticide tebufenozide on *Chironomus riparius* Larvae in two different exposure setups. *Toxicol. Environ. Saf.* **49**: 171-178.

Hellawell, J.M. 1986. Biological indicators of freshwater

pollution and environmental management. Elsevier, London, 546 pp.

Hynes, H.B.N. 1970. The ecology of running waters. Liverpool University Press, Liverpool. 555p.

Kim, H.S. and C.Y. Chang. 1989. Freshwater cyclopoid copepods (Cyclopoida, Cyclopoida) of Korea. *Kor. J. Syst. Zool.* **5**: 225-256.

Kim, H.W., G.J. Joo and N. Walz. 2001. Zooplankton dynamics in the hyper-eutrophic Nakdong river system (Korea) regulated by estuary dam and side channels. *Internat. Rev. Hydrobiol.* **86**: 127-143.

Kim, I.H. 1988. Key to the Korean freshwater Cladocera. *Kor. J. Syst. Zool. Special Issue*, **2**: 43-65.

Kim, S. and J.H. Lee. 1999. Environmental Studies of the Lower Part of Han River, IV. Zooplankton Dynamics. *Korean J. Limnol.* **32**: 16-23.

Kim, Y.-G. and K.-S. Cho. 1995. Vertical and seasonal variations of zooplankton in lake Soyang. *Korean J. Limnol.* **28**: 209-217.

Lim, B.J., B.C. Kim, K.I. Yoo and J.K. Yoo. 1997. Changes in zooplankton community during the blue-green algal bloom in the Nakdong river. *Korean J. Limnol.* **30**: 337-346.

Resh, V.H., A.G. Hildrew, B. Statzner and C.R. Townsend. 1994. Theoretical habitat templates, species traits and species richness: A synthesis of long-term ecological research on the Upper Rhone River in the context of concurrently developed ecological theory. *Freshwater Biology.* **31**: 539-554.

Roberts, S., P. Vasseur and D. Dive. 1990. Combined effects between atrazine, copper and pH on target and nontarget species. *Water Res.* **24**: 485-491.

Sladeck, V. 1991. Atlas of freshwater saprobic organisms. (transl. by M. Sudzuki). Hokuryukan. pp. 1-301.

Song, M.O. 1989. List of Korean species of freshwater Rotifera. *Kor. J. Syst. Zool.* **5**: 257-268.

Yoo, K.-I. and B.J. Lim. 1991. Seasonal variation in the zooplankton community structure of the lower Han river system. *Korean J. Limnol.* **24**: 85-91.

Yoo, K.-I., B.J. Lim and C.I. Choi. 1987. Ecological studies on zooplankton community in lake Yongsan, Korea. *Korean J. Limnol.* **20**: 61-72.

Yoon, S.M. and H.S. Kim. 1987. A systematic study on the freshwater Cladocera from Korea. *Kor. J. Syst. Zool.* **3**: 175-207.

Appendix 1. Observed species list and abundance (inds./m³) of Zooplankton in tributaries of Han River.

Survey month	Taxa	Observed species	Dumoso	Mugubi	Bucheoul	Gokleung	Total	
May	Phylum Protozoa	<i>Diffugia pyriformis</i>	9200	400	400	200	10200	
	Phylum Rotifer	<i>Asplanchna pridonta</i>	15800	400	800	51200	68200	
		<i>Brachionus calyciflorus</i>	11400	0	400	137000	148800	
		<i>Brachionus quadridentatus</i>	1600	800	200	27800	30400	
		<i>Brachionus urceolaris</i>	4800	0	1600	1091600	1098000	
		<i>Cephalodella</i> sp.	0	0	0	0	0	
		<i>Conochilus unicornis</i>	0	3200	10200	2000	15400	
		<i>Euclanis dilatata</i>	22800	29600	4400	28400	85200	
		<i>Filinia longiseta</i>	4600	0	0	1000	5600	
		<i>Hexathra fennica</i>	0	0	0	3000	3000	
		<i>Keratella cochlearis</i>	0	0	200	0	200	
		<i>Keratella valga</i>	0	0	0	0	0	
		<i>Keratella quadrata</i>	200	0	0	0	200	
		<i>Lecane luna</i>	6800	1600	200	2000	10600	
		<i>Lepadella quadricarinata</i>	0	0	0	400	400	
		<i>Monostyla bulla</i>	800	400	0	0	1200	
		<i>Platyias patulus</i>	0	0	0	0	0	
		<i>Platyias quadricornis</i>	0	0	0	400	400	
		<i>Polyarthra remata</i>	1600	0	0	0	1600	
		<i>Scardium longicaudum</i>	0	0	0	0	0	
		<i>Schizocerca diversicornis</i>	2200	0	0	0	2200	
	<i>Trichocera longiseta</i>	0	0	0	0	0		
	<i>Trichocera</i> sp.	0	0	0	0	0		
	<i>Trichotria tetractis</i>	0	800	200	0	1000		
	Subclass Cladocera	<i>Alona rectangula</i>	2000	3600	400	0	6000	
		<i>Bosmina coregoni</i>	12600	0	200	0	12800	
		<i>Ceriodaphnia</i> sp.	0	0	0	9200	9200	
		<i>Chydorus sphaericus</i>	109400	2800	0	3400	115600	
		<i>Daphnia longispina</i>	0	0	800	0	800	
		<i>Ilyocryptus agilis</i>	0	400	0	0	400	
		<i>Moina weismanni</i>	0	0	0	463000	463000	
		<i>Pleuroxus trigonellus</i>	0	800	0	0	800	
		<i>Simocephalus vetulus</i>	400	0	3600	375300	379300	
		<i>Scapholebris mucronata</i>	3400	400	1000	18600	23400	
	Subclass Copepoda	<i>Eucyclops speratus</i>	0	200	0	19800	20000	
		<i>Eucyclops macruroides</i>	27000	0	4000	9400	40400	
		<i>Mesocyclops leuckarti</i>	600	0	1600	0	2200	
		<i>Microcyclops varicans rubellus</i>	0	1800	0	0	1800	
		<i>Thermocyclops crassus</i>	0	400	0	0	400	
		<i>Thermocyclops taihokuensis</i>	1200	1000	800	2000	5000	
		<i>Pseudodiaptomus inopinus</i>	0	0	0	600	600	
		<i>Sinocalanus sinensis</i>	0	0	0	200	200	
		Poecilostomatoids	1800	0	0	0	1800	
		Harpacticoids	0	0	400	0	400	
		Copepodites	5800	2400	3200	7800	19200	
		Nauplius	27400	3600	8800	22000	61800	
		August	Phylum Protozoa	<i>Diffugia pyriformis</i>	400	200	400	0
	Phylum Rotifer		<i>Asplanchna pridonta</i>	0	0	0	8200	8200
			<i>Brachionus calyciflorus</i>	0	0	0	0	0
<i>Brachionus quadridentatus</i>			0	0	0	0	0	
<i>Brachionus urceolaris</i>			0	0	0	1200	1200	
<i>Cephalodella</i> sp.			0	0	200	200	400	
<i>Conochilus unicornis</i>			0	0	6400	1400	7800	

Appendix 1. Continued.

Survey month	Taxa	Observed species	Dumoso	Mugubi	Bucheoul	Gokleung	Total
		<i>Euclanis dilatata</i>	200	2200	600	5600	8600
		<i>Filinia longiseta</i>	0	0	0	0	0
		<i>Haxathra fennica</i>	200	0	0	0	200
		<i>Keratella cochlearis</i>	200	0	0	0	200
		<i>Keratella valga</i>	200	0	0	0	200
		<i>Keratella quadrata</i>	0	400	0	200	600
		<i>Lecane luna</i>	0	0	0	0	0
		<i>Lepadella quadricarinata</i>	0	200	0	0	200
		<i>Monostyla bulla</i>	0	200	101000	3000	104200
		<i>Platyias patulus</i>	0	0	400	1400	1800
		<i>Platyias quadricornis</i>	0	0	0	400	400
		<i>Polyarthra remata</i>	200	0	0	200	400
		<i>Scardium longicaudum</i>	0	200	200	0	400
		<i>Schizocerca diversicornis</i>	0	0	0	0	0
		<i>Trichocera longiseta</i>	0	0	0	0	0
		<i>Trichocera sp.</i>	0	0	0	400	400
		<i>Trichotria tetractis</i>	0	0	0	0	0
	Subclass Cladocera	<i>Alona rectangula</i>	0	400	0	0	400
		<i>Bosmina coregoni</i>	0	0	0	200	200
		<i>Ceriodaphnia sp.</i>	0	0	0	0	0
		<i>Chydorus sphaericus</i>	0	200	0	2600	2800
		<i>Daphnia longispina</i>	0	0	0	0	0
		<i>Ilyocryptus agilis</i>	0	0	0	0	0
		<i>Moina weismanni</i>	0	0	0	0	0
		<i>Pleuroxus trigonellus</i>	0	0	0	200	200
		<i>Simocephalus vetulus</i>	0	0	0	0	0
		<i>Scapholebris mucronata</i>	0	0	0	3000	3000
	Subclass Copepoda	<i>Eucyclops speratus</i>	0	0	400	1400	1800
		<i>Eucyclops macruroides</i>	0	0	0	0	0
		<i>Mesocyclops leuckarti</i>	0	200	0	0	200
		<i>Microcyclops varicans rubellus</i>	0	0	0	0	0
		<i>Thermocyclops crassus</i>	0	800	600	800	2200
		<i>Thermocyclops taihokuensis</i>	0	0	0	0	0
		<i>Pseudodiaptomus inopinus</i>	0	0	0	0	0
		<i>Sinocalanus sinensis</i>	0	0	0	0	0
		Poecilostomatoids	0	0	0	0	0
		Harpacticoids	0	0	0	0	0
		Copepodites	200	800	600	3400	5000
		Nauplius	2200	2600	6200	22000	33000
November	Phylum Protozoa	<i>Diffflugia pyriformis</i>	200	600	0	0	800
	Phylum Rotifer	<i>Asplanchna pridonta</i>	0	0	0	0	0
		<i>Brachionus calyciflorus</i>	1200	0	200	600	2000
		<i>Brachionus quadridentatus</i>	0	400	0	34200	34600
		<i>Brachionus urceolaris</i>	0	0	0	0	0
		<i>Cephalodella sp.</i>	400	0	200	0	600
		<i>Conochilus unicornis</i>	3000	0	2000	0	5000
		<i>Euclanis dilatata</i>	3400	8000	800	800	13000
		<i>Filinia longiseta</i>	0	0	0	0	0
		<i>Hexathra fennica</i>	0	0	0	0	0
		<i>Keratella cochlearis</i>	0	0	0	0	0
		<i>Keratella valga</i>	0	0	200	0	200
		<i>Keratella quadrata</i>	0	0	0	0	0
		<i>Lecane luna</i>	1400	3400	0	0	4800

Appendix 1. Continued.

Survey month	Taxa	Observed species	Dumoso	Mugubi	Bucheoul	Gokleung	Total
		<i>Lepadella quadricarinata</i>	0	0	0	0	0
		<i>Monostyla bulla</i>	0	400	400	200	1000
		<i>Platyias patulus</i>	0	0	0	0	0
		<i>Platyias quadricornis</i>	0	0	0	0	0
		<i>Polyarthra remata</i>	200	0	200	0	400
		<i>Scardium longicaudum</i>	0	0	0	0	0
		<i>Schizocerca diversicornis</i>	0	0	0	0	0
		<i>Trichocera longiseta</i>	400	0	0	0	400
		<i>Trichocera</i> sp.	400	400	0	0	800
		<i>Trichotria tetractis</i>	200	1000	200	0	1400
	Subclass	<i>Alona rectangula</i>	2200	9400	600	200	12400
	Cladocera	<i>Bosmina coregoni</i>	0	400	0	0	400
		<i>Ceriodaphnia</i> sp.	200	0	0	0	200
		<i>Chydorus sphaericus</i>	1400	2600	0	1000	5000
		<i>Daphnia longispina</i>	0	0	0	0	0
		<i>Ilyocryptus agilis</i>	0	0	0	0	0
		<i>Moina weismanni</i>	0	0	0	0	0
		<i>Pleuroxus trigonellus</i>	600	600	0	0	1200
		<i>Simocephalus vetulus</i>	0	0	0	0	0
		<i>Scapholebris mucronata</i>	0	0	0	0	0
	Subclass	<i>Eucyclops speratus</i>	1000	0	400	400	1800
	Copepoda	<i>Eucyclops macruioides</i>	0	200	0	0	200
		<i>Mesocyclops leuckarti</i>	0	0	0	0	0
		<i>Microcyclops varicans rubellus</i>	0	400	200	0	600
		<i>Thermocyclops crassus</i>	0	0	0	0	0
		<i>Thermocyclops taihokuensis</i>	0	600	0	400	1000
		<i>Pseudodiaptomus inopinus</i>	0	0	0	0	0
		<i>Sinocalanus sinensis</i>	0	0	0	0	0
		Poecilostomatoids	0	0	0	0	0
		Harpacticoids	200	0	0	0	200
		Copepodites	400	2600	3200	600	6800
		Nauplius	200	3600	64400	1000	69200