

동해 전선역 동물플랑크톤 군집 : 2. 수온과 분포의 관계

박 철 · 이창래 · 김정창*
 충남대학교 해양학과, *부경대학교 실습선

Zooplankton Community in the Front Zone of the East Sea (the Sea of Japan), Korea : 2. Relationship between Abundance Distribution and Seawater Temperature

Chul PARK, Chang Rae LEE and Jeong Chang KIM*

Dept. of Oceanography, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea
 *Faculty of Training Ship, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

Distribution of zooplankton abundance was studied in the front zone in the East Sea in November, 1996. Averaged total abundance in the front zone was less than that in the nearby cold surface water areas but more than that in the nearby warm surface water areas. The number of taxa was the greatest in the upper layer of mixing. Abundance and the number of taxa in the front zone were contributed by the cold water and the warm water, respectively. In spite of the differences in sampling time (day vs night), the species composition and abundance distribution were similar at two sites within cold or warm water area. However, they were quite different at two sites in the front zone although the sampling time of the day was the same. From this, the history of mixing was believed to be the most important factor for the species composition and abundance distribution in the front zone. Zooplankton distribution in the study area was mainly controlled by the dominant cold water Copepod species *Metridia pacifica*, the only taxon that showed significant diel vertical migration. Most other taxa showed no significant diel vertical migration. Seawater temperature also affected zooplankton distribution. Positive correlations in the warm area, weak negative correlations in the cold water area, and no significant correlation in the front zone were obtained in general between the seawater temperature and the abundances of the major taxa.

Key words: zooplankton, community, front, temperature

서 론

전선역 (front zone)은 물리·화학·생물학적으로 서로 다른 속성을 가진 두 수괴가 만나 혼합이 이루어지는 수역을 말한다. 이러한 전선역이 형성되는 기작은 다양하다. 조석 운동이 활발한 연안 수괴와 성층화되어 상대적으로 안정된 바깥 수괴의 경계면에는 조석전선 (tidal front)이 형성되고, 서로 다른 성질의 난수괴와 한수괴가 만나는 곳에서는 극전선 (polar front)이 형성된다 (Rondon, 1974; Kang and Kang, 1990; KORDI, 1993; An et al., 1994). 그밖에도 전선역의 종류는 매우 다양하다. 대륙으로부터 멀리 떨어져 있는 규모가 큰 아열대 전선 (subtropical front), 서안 경계 해류의 서쪽 가장자리에서 해류와 연안수가 만나는 곳에서 형성되는 전선 (coastal boundary current front), 대륙붕단에 형성되는 전선 (shelf/slope front), 연안 용승 지역에서 볼 수 있는 전선 (coastal upwelling front) 등이 있는가 하면, 하구역에서

담수와 해수가 만나는 좁은 영역에서 형성되는 소규모 전선 (estuarine front)도 있다 (Bowman and Easias, 1977; Yanagi, 1987).

우리나라의 주변해역에서 쉽게 볼 수 있는 전선의 형태는, 서해의 경우 주로 조석전선이며 (Choi, 1991), 남해의 경우는 남해 연안수와 대마난류 수괴간에 연안경계류역 전선 (coastal boundary current front)이 흔히 발견된다 (Gong, 1971). 동해의 경우에는 통상 두개의 전선이 형성되는데, 그중 하나는 고염의 동한난류 수괴와 한반도 연안 및 동해 북부의 저염의 한수가 접하여 형성되는 비교적 안정된 극전선 (polar front)이며, 다른 하나는 동해 남부에서 대마난류 수괴를 중심으로 주변의 수괴들이 만나 형성되는 상대적으로 불안정한 열전선이다 (Gong and Son, 1982).

일반적으로 전선역에서는 생산력이 높고 종 조성이 풍부한 것으로 알려졌다 (Bowman and Easias, 1977). 우리나라 근해 전선역에서 수행된 생태학적 연구는 Gong

이 연구는 교육부 학술연구조성비 (해양·수산분야)중 동해 극전선 생물생산력에 대한 특정연구과제 (1994~1996)로 지원되었음.

(1971), Gong and Son (1982), Cho et al. (1983), Choi (1991), Kim and Kang (1993) 등이 있다. Gong (1971)은 남해 연안에서 전선의 물리화학적 특성과 전선역이 선망 어업에 미치는 영향 등에 대하여 보고하였고, Cho et al. (1983)은 황해 대륙붕 전선의 구조와 부유생물의 분포에 대하여, Choi (1991)는 황해 연안의 조석 전선이 식물플랑크톤 생산력과 분포에 미치는 영향을, Kim and Kang (1993)은 서해 남부 전선역의 해황 등을 보고하였다. 동해의 전선역에 대하여는 Gong and Son (1982)이 동해의 열전선의 존재 및 유형에 대하여, Kang and Lee (1991)가 동해 남부 해역의 열전선 분포 등 전선의 형성과 분포 등에 대하여 보고한 바 있으나, 동해 전선역의 생태적 특성에 관한 연구는 거의 없었다. Park et al. (1991)과 Park and Choi (1997)가 여름철 동해 극전선 해역에서의 식물플랑크톤의 군집구조와 분포, 동해 극전선역에 출현하는 동물플랑크톤의 종류와 양적 분포, 주요 우점종의 수심별 분포 양상 등에 대하여 보고하였을 뿐이다.

동해 극전선역의 생태학적 특성에 관한 Park and Choi (1997)의 연구에 이은 본 연구에서는, 극전선 수역의 가장 중요한 환경요인으로 간주될 수 있는 수온과 동물플랑크톤 분포의 관계를 파악하고자 하였다. 수온을 수직 층별 채집의 기준으로 삼아 채집된 동물플랑크톤 시료를 통하여, 이 지역 극전선역의 동물플랑크톤의 종 조성, 우점종 분포, 수온과 상관관계 등에 대하여 알아 보았다.

재료 및 방법

동물플랑크톤 시료는 1996년 11월 동해 중부해역에서 망목 크기 $333\ \mu\text{m}$ 의 네트를 부착한 $1\ \text{m}^2$ MOCNESS (Multiple opening/closing nets with environmental sensing system; Wiebe et al., 1976)를 사용하여 층별로 채집하였다. 네트 인양과 동시에 수심, 수온 등을 측정할 수 있는 채집 기기의 특성을 이용하여 채집층의 기준은 수온으로 삼았으며, 수층은 수온 3°C 간격으로 나누어 채집하였다. 즉, 약 250 m 수심까지의 수괴를 대상으로, 15°C 이상의 표층 해수, $15\sim 12^\circ\text{C}$, $12\sim 9^\circ\text{C}$, $9\sim 6^\circ\text{C}$, $6\sim 3^\circ\text{C}$, 3°C 이하의 수층 등으로 나누어 채집하였다.

채집 지점은 인공위성으로부터 수신된 표층 수온의 분포 (NOAA-14, 1996년 11월 9일 10:10)를 참조하여 설정한 해역에서 CTD (SBE 19)로 수온 측정을 하면서 표층 수온을 바탕으로 전선역으로 판단되는 지역과 난수역, 한수역으로 생각되는 지역에서 각각 두 정점을 택하여 총 6개 정점을 정하였다 (Fig. 1). 정점 A4, B1의 경우

표층 수온이 $17\sim 18^\circ\text{C}$ 로 난수역으로, 정점 A15, B6은 $12\sim 15^\circ\text{C}$ 로 난수괴와 한수괴가 만나는 전선역으로, 정점 A20과 B12는 표층 수온이 $9.5\sim 11^\circ\text{C}$ 인 한수역으로 판단되었다 (Fig. 1). Kang and Lee (1991)가 10월에 동해에서 15°C 를 경계로 난수역과 한수역으로 구분한 것과 유사하게 두 수괴의 경계면이 형성됨을 알 수 있었다.

수역별 (난수역, 전선역, 한수역)로 2개의 정점에서 채집되었지만 전선역에 해당하는 정점 A15와 B6만이 동일한 조건인 낮시간에 채집이 행해졌으며, 난수역과 한수역의 정점에서는 각각 밤과 낮의 다른 조건에서 채집되었다. 채집된 총 54개의 시료는 선상에서 증성 포르말린 (최종 농도 $5\sim 8\%$)으로 고정하였고, 실험실에서는 개체수가 약 1,000~1,500개체가 되도록 부차시료 (subsample)를 취하여 가능한 낮은 분류 계급까지 동정 계수하였다. 계수된 생물량은 단위 체적당 개체수 (indiv./ m^3)로 환산되었다.

결과 및 고찰

수온 및 염분 분포

동물플랑크톤이 채집된 6개 정점중 난수역, 전선역 및

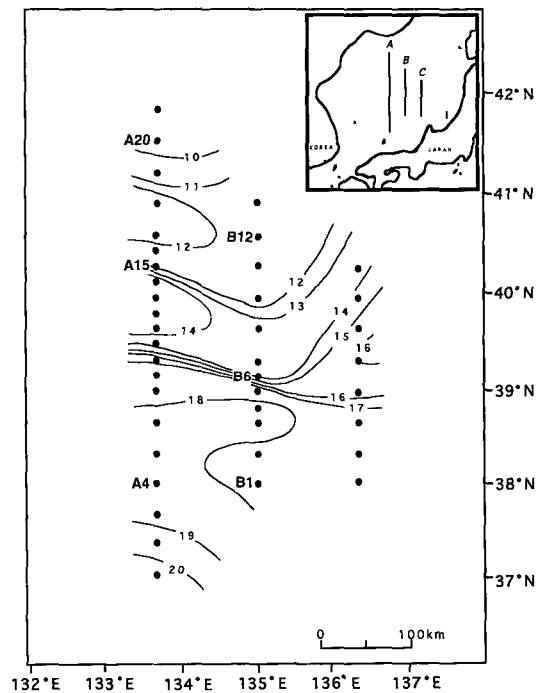


Fig. 1. Map showing the study area with surface temperature.

한수역에 포함되는 각각의 두 정점의 수온 수직구조는 매우 유사하여 각 수역의 두 정점들 중, 정점 A4, B6, A20의 수온 및 염분의 수직 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 표층 수온의 경우, 난수역에 해당하는 정점 A4에서는 약 18°C, 전선역에 해당하는 정점 B6는 약 15°C, 한수역에 해당하는 정점 A20에서는 약 9°C였다. 표층 수온 분포를 통해 수온 약 15°C 해역에서 난수역과 한수역의 경계면이 형성됨을 알 수 있었다.

난수역 정점 A4에서는 약 40 m 수심까지 수온 변화가 없다가 그 아래부터 수심 약 180 m 까지 점차 수온이 낮아지는 양상으로 세 정점중 수온약층의 형성이 가장 약했다. 한수역의 정점 A20에서는 약 40 m 수심 아래에서 매우 강한 수온약층이 형성되고 수심 약 60 m부터 점차 수온이 안정되었다. 전선역인 정점 B6에서는 약 70~110 m 수심에서는 강한 수온약층이, 표층 10~30 m에서는 상대적으로 약한 수온약층이 형성되는 이중 구조를 보였다. 결과적으로 수온의 수직 변화는 수역별로 두드러진 차이를 보였다.

수온 3°C 이하에서는 수심에 따른 수온 변화가 매우 약하여 3°C 이하를 하나의 채집 수층으로 정하였다. 채집 기기인 MOCNESS가 9개의 네트를 동시에 운용할 수 있고, 표층 수온과 3°C 수온과의 수온 차이가 최대 15°C 이므로 전 수층을 2°C 간격으로 나누어도 한차례의 네트 인양으로 전 수온 간격을 채집할 수는 있었다. 그러나, 이 경우에는 여분의 네트가 없어 수온 변화가 매우 작은 두꺼운 수층도 단 하나의 네트로 채집해야 하였다. 두꺼운 수층을 하나의 네트로 채집하면, 네트에 의해 여과되는 해수의 양이 지나치게 많아지게 되어 네트의 cod-end를 상실할 염려가 있다. 또한, 동물플랑크톤의 수온에 대한 내성 범위가 2°C 간격으로 채집한 것과 3°C 간격으로 채집한 경우 큰 차이를 보일 정도로 매우 좁지는 않다. 이러한 면에서 채집 수층을 3°C 간격으로 정하였고, 이것은 결과적으로 적절한 채집기기의 운용으로 판단되었다.

염분의 경우 역시 수역간 분포가 달랐는데 (Fig. 2), 표층에서는 난수역인 정점 A4에서 염분이 낮았으며, 한수역인 정점 A20에서는 상대적으로 염분이 높았다. 그러나, 그 염분 차이는 0.8 psu 이하에 해당되었다. 수직적으로 가장 심한 변화를 보인 정점 A4의 경우, 가장 염분이 높았던 수심 약 100 m의 수괴와 가장 낮은 표층수 간에도 염분 차이는 1.2 psu에 불과하였다. 따라서, 정점간 혹은 각 정점 수심간의 염분의 차이는 전체적으로 약 1.5 psu 내의 작은 값이었다. 약 1.5 psu의 염분 변화는 동물플랑크톤의 분포에 영향을 미칠 정도로 크지는 않기에 염분은 채집 수층의 구분에 고려하지 않았다.

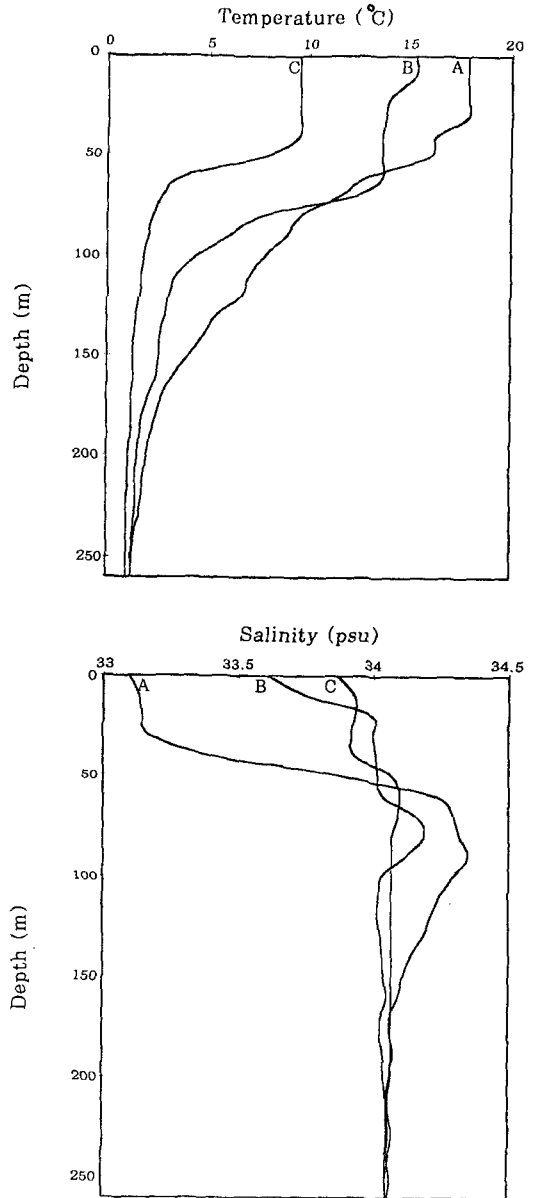


Fig. 2. Vertical profiles of seawater temperature and salinity at the zooplankton collection sites. A, Warm water area (St. A4); B, front area (St. B6); C, cold water area (St. A20).

증 조성

대상 해역에서 1996년 11월에 채집된 동물플랑크톤 시료에서 총 12개 문 (phylum)에 속하는 101개 분류군의 동물플랑크톤이 검색되었다. 이것은 Park and Choi (1997)가 비슷한 분류 계급까지 검색하여 제시한 111개 분류군 (1994년 11월), 101개 분류군 (1995년 11월)과 유

사한 결과였다. 각 분류군에 따라 분류 계급 (category) 수준이 종 (species)으로 모두 일치하지는 않았지만, 난수역, 전선역, 한수역 모두에서 요각류가 가장 다양한 종류와 많은 개체수가 출현하고 있었다 (Fig. 3). 출현하고 있는 동물플랑크톤의 전체 종류 수를 살펴보면, 난수역에서 72~75 종류로 가장 많은 종류가 나타났고, 다음으로 전선역에서 52~54 종류, 한수역에서 33~37 종류가 출현하였다 (Table 1). 그러나 난수역, 전선역, 한수역을 표층 수온으로만 구분하고 각 정점의 하부층까지를 각각

의 수역에 포함하였기 때문에 실제로 전선역이라 하더라도 한수층을 포함하고 있다. 따라서, 전 정점의 각 수온 간격의 채집층을 독립적으로 취급하여 15°C 이상의 난수 영향역, 9°C 이하의 한수 영향역, 그리고 9~15°C의 중간 혼합역으로 나누어 살펴본 결과는 이들과 다소 차이를 보였다. 15°C 이상의 난수 영향역에서는 총 73개 분류군이, 9°C 이하의 한수 영향역에서는 67개 분류군이, 그리고 중간 9~15°C의 혼합역에서는 81개 분류군이 출현하여 (Table 2), 중간 혼합역으로 판단되는 전선역에서 보다

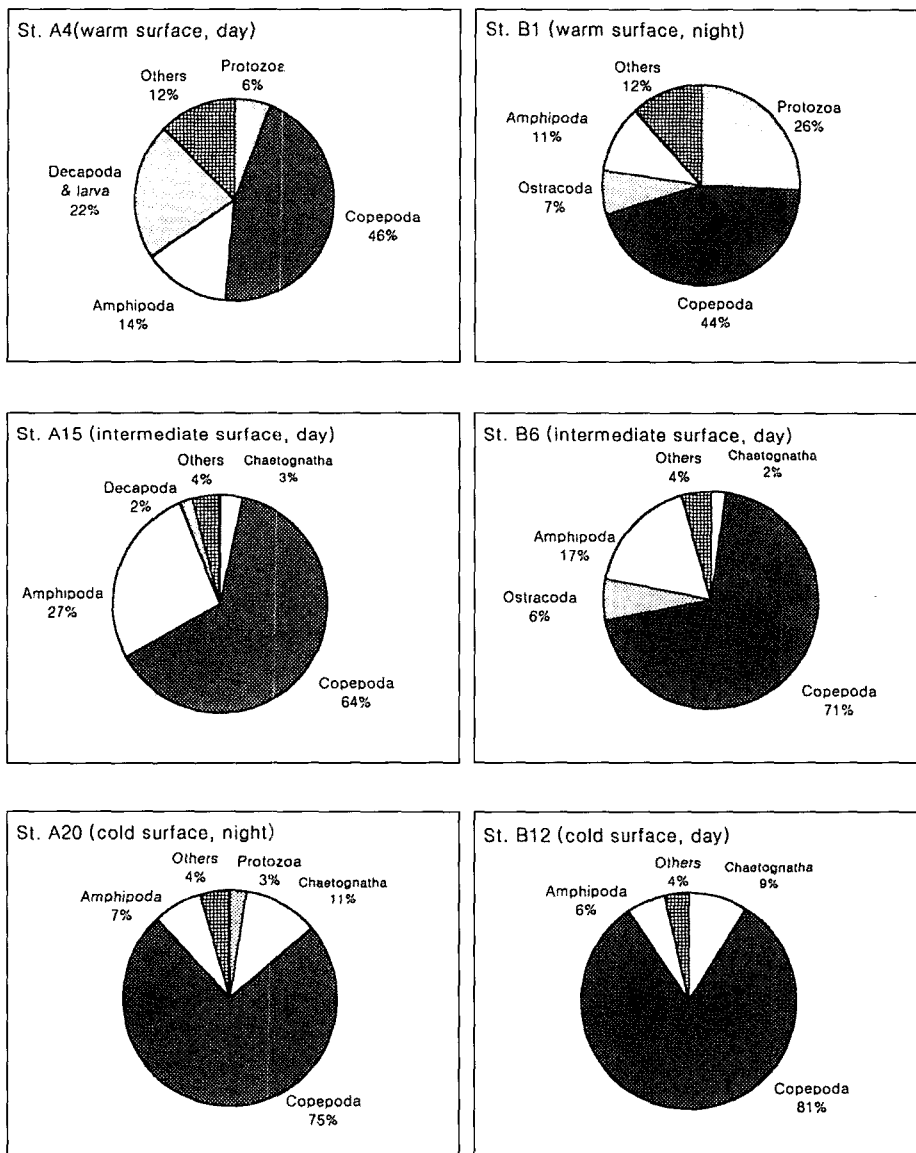


Fig. 3. Zooplankton composition in the study area on the basis of abundance (indiv./m³).

Table 1. Abundances and ranks of them of major zooplankton appeared at each collection site in Nov. 1996

Ranks/ Station	A4 (Warm surface, Day)	indiv./ m ³	%	A15 (Intermediate surface, Day)	indiv./ m ³	%	A20 (Cold surface, Night)	indiv./ m ³	%
1	Unid. egg	440.97	21.62	<i>Parathemisto japonica</i>	469.45	25.32	<i>Metridia pacifica</i>	908.40	40.08
2	<i>Parathemisto japonica</i>	285.40	13.99	C. (<i>Neocalanus</i>)	339.55	18.31	<i>Parathemisto japonica</i>	353.55	15.60
3	<i>Ostracoda</i>	144.16	7.07	<i>Metridia pacifica</i>	290.12	15.65	C. (<i>Neocalanus</i>)	220.44	8.84
4	<i>Scolecithricella minor</i>	119.16	5.84	C. (<i>Calanus</i>)	248.70	13.41	C. (<i>Calanus</i>)	151.53	6.69
5	Foraminifera	118.19	5.79	<i>Calanus sinicus</i>	75.16	4.05	<i>Ostracoda</i>	138.74	6.12
6	Copepodite (<i>Calanus</i>)	101.56	4.98	<i>N. cristatus</i>	58.77	3.17	<i>Pareuchaeta plana</i>	112.84	4.98
7	<i>Metridia pacifica</i>	101.47	4.97	<i>S. elegans</i>	49.63	2.68	<i>Scolecithricella minor</i>	73.48	3.24
8	<i>Clausocalanus furcatus</i>	86.46	4.24	<i>Scolecithricella minor</i>	35.28	1.90	<i>N. plumchrus</i>	41.37	1.83
9	<i>Calanus sinicus</i>	81.38	3.99	Foraminifera	30.64	1.65	<i>Thysanoessa longipes</i>	39.91	1.76
10	<i>Paracalanus parvus</i>	66.47	3.26	<i>O. conifera</i>	27.29	1.47	<i>N. cristatus</i>	39.02	1.72
11	<i>Oncaea conifera</i>	57.48	2.82	Siphonophora	20.69	1.12	Unid. egg	36.44	1.61
12	Immature <i>sagitta</i>	37.80	1.85	C. (<i>Cosmocalanus</i>)	19.61	1.06	<i>S. elegans</i>	34.51	1.52
13	Copepodite (<i>Cosmocalanus</i>)	37.77	1.85	<i>Pareuchaeta plana</i>	18.09	0.98	<i>Calanus sinicus</i>	25.48	1.12
14	<i>Mesocalanus tenuicornis</i>	36.80	1.80	<i>Pareuchaeta elongata</i>	17.97	0.97	<i>Primno macropa</i>	22.80	1.01
15	<i>Eucalanus subtenius</i>	36.41	1.78	<i>Haloptilus oxycephalus</i>	17.74	0.96	<i>Pseudochirella</i> spp.	17.95	0.79
Total number of taxa occurred		72		54		37			
Total number of indiv./m ³		2040		1854		2267			

Ranks/ Station	B1 (Warm surface, Night)	indiv./ m ³	%	B6 (Intermediate surface, Day)	indiv./ m ³	%	B12 (Cold surface, Day)	indiv./ m ³	%
1	Foraminifera	773.76	25.51	C. (<i>Neocalanus</i>)	227.03	26.82	<i>Metridia pacifica</i>	617.67	32.27
2	<i>Metridia pacifica</i>	356.30	11.74	<i>Metridia pacifica</i>	138.85	16.40	C. (<i>Neocalanus</i>)	498.02	26.02
3	<i>Parathemisto japonica</i>	334.20	11.02	<i>Scolecithricella minor</i>	88.65	10.47	<i>S. elegans</i>	163.45	8.54
4	<i>Ostracoda</i>	205.65	6.78	<i>S. elegans</i>	82.51	9.75	C. (<i>Calanus</i>)	149.09	7.79
5	<i>Clausocalanus furcatus</i>	162.32	5.35	<i>Pareuchaeta plana</i>	47.15	5.57	<i>N. cristatus</i>	111.14	5.81
6	Unid. egg	160.53	5.29	<i>Parathemisto japonica</i>	40.28	4.76	<i>Scolecithricella minor</i>	101.45	5.30
7	C. (<i>Cosmocalanus</i>)	135.41	4.46	C. (<i>Calanus</i>)	39.27	4.64	<i>Haloptilus oxycephalus</i>	69.81	3.65
8	<i>Pareuchaeta plana</i>	101.77	3.35	<i>N. cristatus</i>	25.24	2.98	<i>Pareuchaeta plana</i>	36.57	1.91
9	<i>O. conifera</i>	92.28	3.04	<i>N. plumchrus</i>	24.75	2.92	<i>Parathemisto japonica</i>	34.96	1.83
10	<i>Scolecithricella minor</i>	82.77	2.73	Foraminifera	21.77	2.57	<i>N. plumchrus</i>	33.58	1.75
11	<i>E. subtenius</i>	81.91	2.70	<i>Haloptilus oxycephalus</i>	16.19	1.91	Foraminifera	23.29	1.22
12	<i>Janthina</i> spp.	65.88	2.17	<i>O. conifera</i>	15.85	1.87	Siphonophora	19.00	0.99
13	Bivalve	61.44	2.03	Immature <i>sagitta</i>	12.41	1.47	Immature <i>sagitta</i>	9.12	0.48
14	<i>Lucicutia flavicornis</i>	37.31	1.23	<i>Limacina</i> spp.	10.14	1.20	<i>Thysanoessa longipes</i>	8.94	0.47
15	<i>Corycaeus affinis</i>	31.85	1.05	<i>O. setigera</i>	7.28	0.86	Unid. egg	8.73	0.46
Total number of taxa occurred		75		52		33			
Total number of indiv./m ³		3034		846		1914			

많은 분류군이 출현하는 것으로 나타났다. 이것은 전선역에서 생물다양성이 높다는 일반적 인식과 부합하는 결과였다.

각 해역별로 종 조성을 살펴보면, 난수역의 경우 정점 A4와 정점 B1이 지리적으로 떨어져 있고 채집 시간도 낮과 밤으로 달랐음에도 요각류 (Copepoda)가 전체 개체수의 44~46%, 단각류 (Amphipoda)가 11~14%로 두 정점에서 비슷한 조성을 보였다. 원생생물 (Protista)중 동물의 성질을 보이는 원생동물 (Protozoa)만이 정점

A4와 정점 B1에서 각각 6%와 26%로 차이를 보이고 있었다. 전선역의 경우는 채집 시간이 모두 낮으로 같았지만 정점 A15와 정점 B6에서 출현 종의 조성율에 차이가 있었다. 정점 A15에서는 요각류 64%, 단각류 27%, 모악동물 3%, 유생을 포함한 십각류 2% 순서로 분포한 반면에 정점 B6에서는 요각류 71%, 단각류 17%, 패충류 6%, 모악동물 2%, 원생동물 3%로 분포하였다. 즉, 채집 시간의 유사성에도 불구하고 수괴 혼합의 정도가 다르다고 볼 수 있는 지리적 차이가 종 조성의 차이로 나타

Table 2. Averaged abundances and ranks of them of major zooplankton taxa appeared at each seawater temperature range in Nov, 1996

Rank	Seawater Temperature Range (°C)								
	15~18°C range			9~15°C range			<9°C range		
	Taxon	indiv./m ³	%	Taxon	indiv./m ³	%	Taxon	indiv./m ³	%
1	Unid. egg	406.72	15.89	Foraminifera	873.96	26.40	<i>Metridia pacifica</i>	1858.45	30.54
2	<i>Parathemisto japonica</i>	356.38	13.92	<i>Parathemisto japonica</i>	645.58	19.50	<i>C. (Neocalanus)</i>	1143.65	18.79
3	<i>Clausocalanus furcatus</i>	227.40	8.88	<i>Metridia pacifica</i>	451.39	13.64	<i>Parathemisto japonica</i>	515.88	8.48
4	<i>C. (Cosmocalanus)</i>	165.92	6.48	<i>C. (Calanus)</i>	274.25	8.28	Ostracoda	458.64	7.54
5	<i>O. conifera</i>	120.91	4.72	Unid. egg	148.84	4.50	<i>Scolecithricella minor</i>	343.00	5.64
6	<i>C. (Calanus)</i>	116.64	4.56	<i>Scolecithricella minor</i>	125.48	3.79	<i>C. (Calanus)</i>	322.32	5.30
7	<i>E. subtenius</i>	111.01	4.34	<i>C. (Neocalanus)</i>	122.18	3.69	<i>S. elegans</i>	303.50	4.99
8	<i>Metridia pacifica</i>	102.96	4.02	<i>Calanus sinicus</i>	109.79	3.32	<i>Pareuchaeta plana</i>	249.15	4.09
9	<i>Calanus sinicus</i>	91.83	3.59	<i>Haloptilus oxycephalus</i>	82.04	2.48	<i>N. cristatus</i>	205.83	3.38
10	<i>Paracalanus parvus</i>	73.23	2.86	<i>O. conifera</i>	48.83	1.48	Unid. egg	115.03	1.89
11	<i>Janthina</i> spp.	66.28	2.59	<i>N. cristatus</i>	32.73	0.99	<i>N. plumchrus</i>	101.20	1.66
12	Bivalve	63.84	2.49	Immature <i>sagitta</i>	31.76	0.96	Siphonophora	82.94	1.36
13	Foraminifera	50.35	1.97	<i>Pareuchaeta plana</i>	30.33	0.92	<i>Thysanoessa longipes</i>	63.50	1.04
14	<i>Corycaeus affinis</i>	48.91	1.91	<i>Clausocalanus furcatus</i>	30.01	0.91	Foraminifera	51.27	0.84
15	Immature <i>sagitta</i>	48.01	1.88	Ostracoda	29.99	0.91	<i>Haloptilus oxycephalus</i>	39.92	0.66
Total number of taxa occurred		73		81		67			
Averaged total abundance (indiv./m ³)		2559.51		3310.45		6084.98			

나고 있었다. 한수역의 경우는 정점 A20과 B12에서 분류군별 개체수의 조성이 요각류 75~81%, 모악동물 9~11%, 단각류 6~7%로 구체적 수치로는 다소 차이가 있지만, 지리적으로 떨어져 있고 채집시간이 낮과 밤으로 다름에도 불구하고 분류군별 조성율의 양상은 매우 흡사하였다 (Fig. 3). 한수역, 혹은 난수역 수역내의 서로 다른 두 지점에서, 서로 다른 시간대에 채집한 자료의 조성율 간에 유사성이 있고, 전선역의 두 지점간에는 비슷한 시간대에 채집한 자료임에도 조성율에 차이가 있음은 전선역에서는 수괴의 혼합 정도가 종 조성을 크게 좌우하고 있음을 시사한다.

출현량

대상 해역 각 정점, 전 수층에서 채집된 동물플랑크톤 전체 개체수 분포를 살펴보면, 난수역 정점 A4와 정점 B1에서는 각각 2040 indiv./m³, 3034 indiv./m³로 정점 A4에 비해 정점 B1에서 약 1.5배 높게 나타났다 (Fig. 4, Table 1). 한수역 정점 A20과 정점 B12에서는 2267 indiv./m³, 1914 indiv./m³로 비슷한 개체수를 보였다. 전선역 정점 A15와 정점 B6에서는 1854 indiv./m³, 846 indiv./m³로 정점 A15에서 약 두배 정도 많게 나타났다. 난수역에서 가장 많은 양이 출현하고 있으며, 다음으로 한수역에서 많았고, 전선역에서 총 개체수는 제일 적게

나타났다. 이점은 일견 Park and Choi (1997)가 보고한 전선역 동물플랑크톤의 경우, '종류는 난수역에서, 양적으로는 한수역에서 기여한다'는 사실과 다른 듯 하다. 그러나, 이는 표층 수온을 기준으로 각 정점을 동일한 수역으로 구분한 때문으로, 종 조성에서와 같이 각각의 수층 시료를 독립적으로 취급하여 수온을 기준으로 각 시료들을 한수 영향역, 난수 영향역, 그리고 중간의 혼합 전선역으로 구분하면 그 결과는 달라진다. 한수 영향역 총 개체수의 평균은 약 6085 indiv./m³로 가장 풍부하였고, 난수 영향역 총 개체수의 평균은 약 2560 indiv./m³로 가장 빈약하였으며, 중간 혼합 전선역 총 개체수의 평균은 약 3310 indiv./m³로 중간에 해당하였다 (Table 2). 따라서, 전선역 동물플랑크톤의 경우 '종류는 난수역에서, 양적으로는 한수역에서 기여한다'는 Park and Choi (1997)의 결과는 타당한 것으로 나타났다.

각 정점의 수온 기준 수층별 분포를 살펴보면, 난수역에서는 수온이 높은 상층에서 출현량이 많았고, 한수역 정점들에서는 수온 변화에도 불구하고 출현량의 변화는 작았으며, 전선역 정점들에서는 난수역과 한수역의 중간적인 변화 양상을 보였다 (Fig. 4).

하루중 채집 시간이 주간으로 일치된 전선역의 두 정점간에는 수층별 출현량이 큰 차이를 보이지 않았으나, 주간과 야간으로 달랐던 난수역과 한수역의 두 정점간

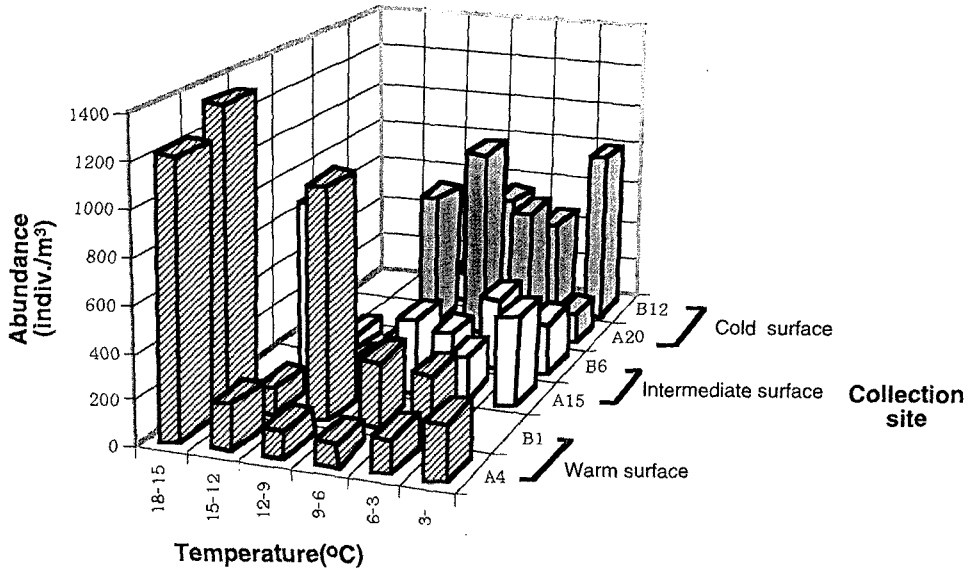


Fig. 4. Total zooplankton abundance (indiv./m³) in the study area.

에는 수층별 분포에 차이가 있어 특정 종의 주야 수직이동이 있었을 것으로 생각된다. Park et al. (1997)은 *Metridia pacifica*가 수온의 구배가 큰 지역에서도 수직이동을 하고 있다고 보고하였는데, 본 지역에서도 가장 우점하는 분류군이어서 이 *M. pacifica*의 수직이동이 수층별 분포에 다르게 반영된 것으로 여겨진다.

분포와 수온과의 관계

수온과 동물플랑크톤 분포의 관계를 파악하기 위하여 주요 우점종 출현량과 수온과의 상관관계를 구하고 이를 바탕으로 종간 출현양상의 유연관계를 집괴분석하였다 (Fig. 5). 그 결과 수지도에서 크게는 두 그룹, 집괴간 거리 0.7을 기준으로 6개의 소그룹으로 분류할 수 있었다. 큰 한 그룹은 수온과의 상관관계가 음의 상관관계를 갖거나 (그룹 A1, A2 A3), 상관관계가 각각되는 종들의 그룹이었고 (그룹 A4), 다른 한그룹은 수온과 유의적인 양의 상관관계를 갖는 그룹이었다 (그룹 B, Fig. 6).

각 소그룹의 특징을 살펴보면, A1 그룹은 수온과 약한 음의 상관관계를 갖는 종들의 집합인데 이 종들의 특징은 한류성 요각류인 *Metridia pacifica*와 같이 일주수직이동을 하는 종이지만 분포의 중심이 수온이 낮은 쪽에 존재하는 종들이거나 Siphonophora (한수성 종류로 여겨지는 종들이나 구체적인 분류는 이루어지지 못함) 처럼 분포의 중심이 9°C 이하 수층에 존재하는 종들이었다. A2 그룹은 *Thysanoessa longipes*, *Primno macropa* 등과 같이 수온범위가 3~9°C인 수층에 주로 분포하는 종들로 A1그룹에 비해 약한 음의 상관관계를 갖지만 통계적

유의성이 낮아 수온에 큰 영향을 받지 않는 종들이었다. A3 그룹은 역시 수온과 아주 약한 음의 상관관계 또는 무관한 종들로 심해성 요각류의 지표종인 *Neocalanus cristatus*와 한수성 수피의 지표종인 *Sagitta elegans*로 저온 환경에 분포의 중심이 존재하는 종으로 구성되었다. A4그룹은 요각류의 molt로 생명활동이 없는 상태로 밀도경사가 큰 수온 6~12°C 수층에 집적된 것으로 여겨졌다.

B1그룹은 수온약층이 분포의 장벽으로 작용하여 분포 중심이 수온이 높은 표층에 존재하는 종들로 *Paracalanus parvus* (분류상 논란이 있으나 아직 정리되지 못하여 과거처럼 사용함), *Calanus sinicus* 등 이었다. 난수역, 전선역, 한수역의 표층에 분포하는 종들의 집합이었다. 그리고, 같은 그룹으로 분류된 미동정 알들은 난수역, 전선역, 한수역에서 모두 분포하지만 수온이 높은 난수역의 두 개 정점 표층에서 주로 나타나 다른 분류군과 같이 묶였다. B2그룹은 분포 중심이 수온이 높은 표층에 존재하는 종들의 집합이지만 B1그룹과는 달리 한수역에서는 분포가 매우 적고 대부분 난수역과 전선역의 표층에서만 분포하는 종들의 집합이었다. 이러한 집괴분석 결과는 수온이 이지역 동물플랑크톤의 분포에 큰 영향을 주고 있음을 보이는 것으로 해석된다.

정점별 우점종

정점별 주요 우점종은 Table 1에 나타난 바와 같이 해역별 채집 정점에 따라 다소 차이가 있었다. 많은 생물량 분포를 보인 난수역의 정점 A4에서는 미동정 알 (Unid. eggs), *Parathemisto japonica*, *Calanus* 유생 등이 우점

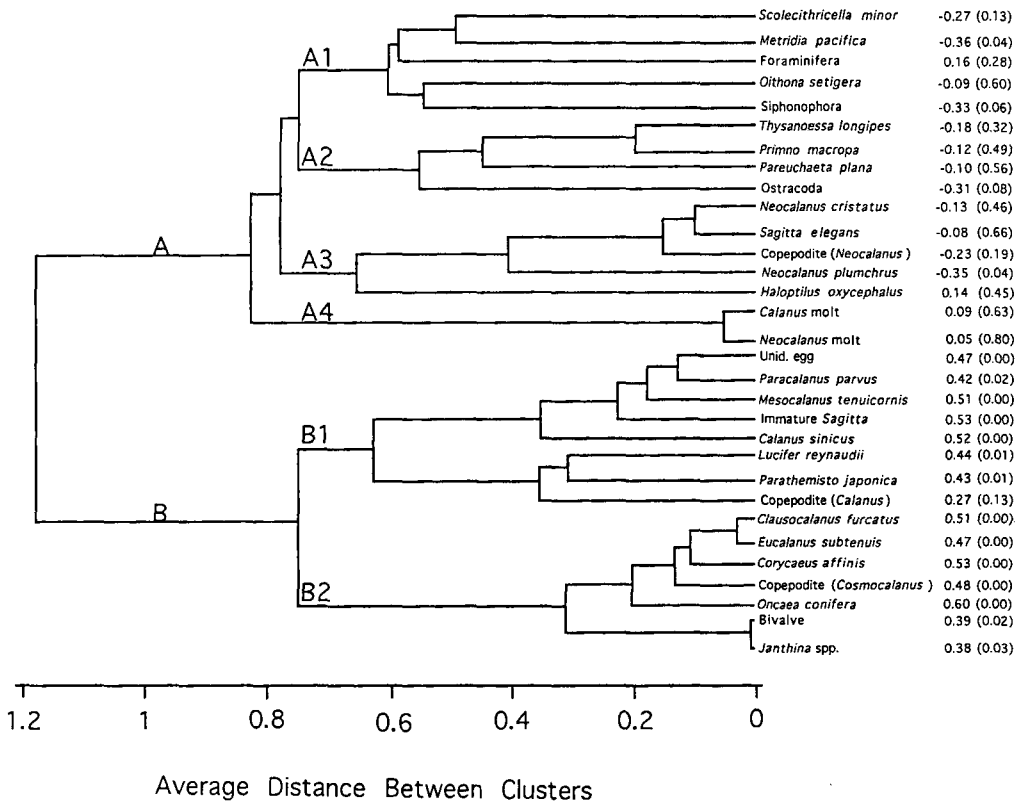


Fig. 5. Zooplankton species association based on correlation of abundances in the study area in Nov. 1996. Correlation coefficients between seawater temperature and abundances were given in the right column with p-values in parentheses.

하였고, 정점 B1에서는 Foraminifera, *Metridia pacifica*, *P. japonica* 등이 우점하여 정점 A4와는 다른 양상이었다. 그러나, 두 정점 모두 수온과 양의 상관관계를 갖는 종들이 우점하여 표층에서 난수종들의 높은 개체수 분포를 보였다. 즉, 주간에 채집한 정점 A4에서는 수온이 높은 상층에 주로 우점하는 난수역 종들이 주요 우점군으로 출현하였으며, 야간에 채집한 정점 B1에서는 *M. pacifica*가 주간에는 심층에 머물러 있다가 야간에 수온 약층을 가로 질러 표층 근처까지 일주수직이동을 하기 때문에 주요 우점종으로 나타났다. Park and Choi (1997)가 난수역 주요 우점종으로 보고한 것 (*Paracalanus parvus*, *Oikopleura* spp., *Noctiluca scintillans* 등)과는 다소 차이가 있었다.

전선역 정점 A15에서는 *Parathemisto japonica*, *Neocalanus* 유생, *Metridia pacifica* 등이 우점하였고, 정점 B6에서는 *Neocalanus* 유생, *M. pacifica*, *Scolecithricella minor* 등이 우점하였다. 전선역에서는 정점 A15에서는 수온과 양의 상관관계를 갖는 *P. japonica*가 우점한 반면 정점 B6에서는 수온과 음의 상관관계를 갖는 *Neocalanus*

유생이 우점하여 같은 전선역인데도 불구하고 우점종의 차이가 있었다. 전선역에서는 채집시간이 낮이라는 동일한 조건에서 채집되었음에도 난수괴와 한수괴의 충돌로 인한 수괴의 혼합으로 우점종의 분포가 좌우되는 것으로 판단되었다. 전선역 두 정점에서 조성율의 차이는 있지만 한류성 요각류 *M. pacifica*가 우점하였으며 3°C이하의 심층에 주로 분포하였다.

한수역 정점 A20에서는 *Metridia pacifica*, *Parathemisto japonica*, 패충류 (이중 한수종으로 여겨지는 종류들) 등이 우점하였고, 정점 B12에서는 *M. pacifica*, *Neocalanus* 유생, *Sagitta elegans* 등이 우점하였다. 두 정점에서 모두 수온과 음의 상관관계를 갖는 *M. pacifica*가 가장 우점하였지만 정점에 따라 조성율에 차이가 있었다. 그리고, 두 정점에서 한수역 수괴특성을 나타내는 대표적 한수종인 *S. elegans*의 출현이 두드러졌다. 야간에 채집된 정점 A20의 경우 *M. pacifica*의 분포중심이 3~6°C에 놓여 있으면서 전 수온 범위에 고르게 분포한 반면 주간에 채집된 정점 B12에서는 전 수층에 분포하는 동물플랑크톤 전체 개체수의 50% 정도가 3°C 이하의 심층에 분포하였다.

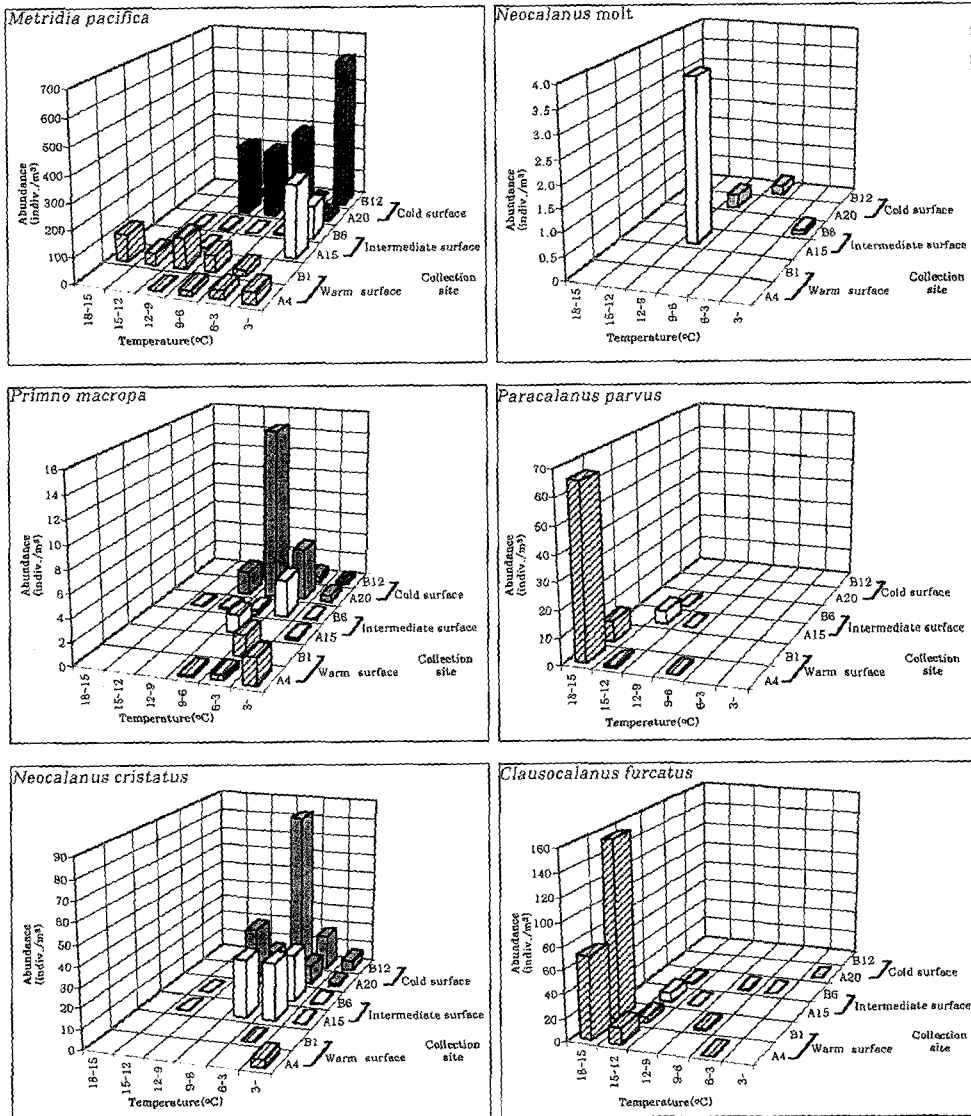


Fig. 6. Abundance of major zooplankton in the study area.

우점종의 분포

종별 분포와 수온의 상관관계를 바탕으로 한 집괴분석 결과는 대상 해역에서 수온이 동물플랑크톤 군집 구조의 형성에 매우 큰 영향을 미치고 있다는 것을 보였다. 각 그룹별로 대표적인 종을 선택하여 정점별, 수심별(수온별) 분포 특성을 살펴보았다.

A1 그룹의 대표적인 *Metridia pacifica*는 난수역 정점 A4에서는 수온 12°C 이하에서 분포하였고, 정점 B1에서는 15~18°C 수온 범위의 표층에서 분포를 보여 정점 A4와는 다른 양상을 보였다. 두 정점간에 채집 시간이 낮과

밤으로 차이로 인한 *M. pacifica*의 일주 수직이동의 결과로 볼 수 있었다 (Park et al., 1997). 전선역 정점 A15, 정점 B6에서 모두 수온 3~18°C까지는 아주 적은 개체수를 보이다가 3°C 이하의 수온에서 많은 개체수를 보였다. 하루중 채집 시간이 주간으로 일치된 전선역의 두 정점간의 *M. pacifica*의 분포는 3°C 이하의 심층에 국한되어 분포하였다. 한수역 정점 A20, 정점 B12에서는 난수역에서와 같이 수온 변화에 따른 분포 양상은 달랐지만 채집 시간이 낮과 밤으로 차이로 인한 분포 변화는 일치하였다. *M. pacifica*는 수역별로 수온 변화에 따른 분포는

달랐지만 주야차이에 따른 이동 양상은 일치하였다. 따라서, 이 종은 수온과 음의 상관관계를 보이지만 그 상관의 정도는 일주수직이동이 의미하는 바와 같이 매우 낮게 나타났다 ($r = -0.36$, $p = 0.04$).

A2 그룹의 대표적인 단각류 *Primno macropa*의 경우, 난수역 정점 A4, 정점 B6에서는 주야 채집에 상관없이 9°C 이하의 수온 범위에서 분포하였다. 전선역에서는 정점 B6에서 9~12°C 범위에서의 아주 낮은 개체수 분포를 제외하고 난수역에서의 분포와 일치하였다. 한수역 정점 A20에서는 표층 9~12°C에서 낮은 개체수가 출현하고 6~9°C에서 많은 개체수를 보이다가 6°C 이하의 수온에서 다시 감소하였다. 정점 B12에서는 표층 12°C부터 3°C 이하의 수온 범위까지 적지만 연속적인 분포를 보였다. 이러한 분포 양상은 수온과 상관관계가 유의적이지 않은 것 ($r = -0.12$, $p = 0.49$)으로 나타내게 하였으며, 따라서, 이 종은 수온 6~9°C의 좁은 범위를 선호하는 것으로 여겨진다.

A3 그룹의 *Neocalanus cristatus*는 난수역 정점 A4, 정점 B6에서는 6°C 이하의 수온 범위에서만 소량 출현하고, 전선역 정점 A15, 정점 B6에서는 3~9°C에서 대부분 출현하였고, 12~15°C와 3°C 이하에서는 극히 소량이 출현하였다. 한수역 정점 A20에서는 3~12°C의 수온 범위에서 상대적으로 광범위하게 나타났으나 정점 B12에서는 6~9°C 범위에서 집중적으로 나타났다. 수온과 음의 상관관계를 갖는 *N. cristatus*의 최적 수온 범위는 대체로 3~9°C로 나타났다. 따라서, 이 A3 그룹의 분포와 수온의 관계는 A2 그룹과 같은 양상이었다.

A4 그룹의 *Neocalanus molt*는 난수역에서는 출현하지 않고 전선역 정점 A15의 9~12°C의 수온범위에서 많은 개체수를 보였다. 반면에 전선역 정점 B6에서 3°C 이하에서, 한수역 정점 A20, B12에서는 6~12°C 수온범위에서 출현하였지만 정점 A15에 비해 상대적으로 적은 수였다. 이들 요각류 *molt*는 밀도 경사가 큰 수온 6~12°C 수층에 집적된 것으로 여겨졌다.

B1 그룹의 *Paracalanus parvus*는 난수역 정점 A4에서는 15~18°C의 표층에서 단위체적당 약 65개체를 보인 반면, 정점 B6에서는 상대적으로 낮은 10개체 미만을 보였다. 전선역 정점 A15, B6에서는 12~15°C의 표층에서 개체수 출현을 보였지만 난수역에 비해 적은 개체수를 보였다. 한수역에서는 거의 나타나지 않았다. 따라서, 난수층으로 판단되는 이 그룹은 수온과 양의 상관관계를 보였고 대부분 통계적으로도 유의적이었다. 범세계 난수층으로 알려진 *P. parvus* 분포의 최적 수온은 15°C 이상으로 여겨졌다.

B2 그룹은 B1 그룹과 같은 양상의 분포를 보인 것이

지만 상대적으로 적응 수온 범위가 넓은 점이 차이였다. 수온과의 상관 계수나 통계적 유의성도 B1 그룹과 매우 흡사하였다. 대표적인 종인 *Clausocalanus furcatus*의 분포 양상은 Fig. 6와 같았다.

요 약

1996년 11월 동해에 형성된 전선역에서 동물플랑크톤의 분포를 살펴본 바, 그 양은 한수역보다는 작지만 난수역 보다는 큰 것으로 나타났고, 종 조성은 매우 풍부한 것으로 나타났다. 전선역의 동물플랑크톤 군집은 양적으로는 한류수의 영향을, 종류는 난류수의 영향을 받는 것으로 나타났다. 난수역과 한수역에서는 각 해역의 서로 다른 두 정점간에 채집 시간이 낮고 밤으로 차이가 있음에도 출현하는 동물플랑크톤의 종 조성과 분포 양상이 비슷하였지만, 전선역 두 정점에서는 하루중 비슷한 시간대에 채집되었음에도 종 조성과 분포 양상에 차이가 있었다. 이는, 전선역의 수괴 혼합 진행 정도를 반영하는 지리적 차이가 동물플랑크톤의 종 조성과 분포에 영향을 주고 있음을 의미한다. 한수역의 대표적인 요각류 *Metricaria pacifica* 만이 주목할 만한 일주수직이동 양상을 보였으며, 이 종의 분포가 전체 동물플랑크톤의 분포 양상을 크게 좌우하였다. 그밖의 대부분 종들은 일주 수직이동이 매우 미약하였다. 수온이 동물플랑크톤의 분포에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 수온과 주요 우점 동물플랑크톤 분포량의 상관 관계는 난수역에서는 대체로 양의 상관관계를, 한수역에서는 매우 약한 음의 상관관계를, 그리고 전선역에서는 대부분 통계적 유의성이 없는 결과를 보였다.

참 고 문 헌

- An, H. S., K. S. Shim and H. R. Shin. 1994. On the warm eddies in the southwestern part of the East Sea. J. Oceanol. Soc. Korea, 29, 152~163.
- Bowman, M. J. and W. E. Easias. 1977. Oceanic front in the coastal processes. Springer-Verlag, 114pp.
- Cho, K. D., S. Y. Hong, H. J. Kim and Y. R. Yang. 1983. Structure of shelf front and distribution of planktons in the eastern part of the Yellow Sea. J. Korean Fish. Soc., 16, 316~326 (in Korean).
- Choi, J. K. 1991. The influence of the tidal front on primary productivity and distribution of phytoplankton in the mid-eastern coast of Yellow Sea. J. Oceanol. Soc. Korea, 26, 223~241 (in Korean).

- Gong, Y. 1971. A study on the south Korean coastal front. *J. Korean Fish. Soc.*, 6, 25~36 (in Korean).
- Gong, Y. and S. J. Son. 1982. A study of oceanic thermal fronts in the southwestern Japan Sea. *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Agency*, 28, 25~54 (in Korean).
- Kang, H. E. and Y. Q. Kang. 1990. Spatio-temporal characteristics of the Ulung Warm Lens. *J. Korean Fish. Soc.*, 23, 407~415.
- Kang, Y. S. and S. S. Lee. 1991. Seasonal fluctuation of zooplankton biomass in the adjacent areas of Korea. *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Agency*, 45, 13~21 (in Korean).
- Kim, B. K. and Y. Q. Kang. 1993. Oceanographic characteristics in the frontal region off the southwest coast of Korea in 1990. *Yellow Sea Research*, 5, 21~32 (in Korean).
- Korea Ocean Research and Development Institute. 1993. A study on the meso-scale warm eddy in the southwestern part of the East Sea, ed. by C. Kim, Report BSPN 00187-611-1, 84pp.
- Park, C. and J. K. Choi. 1997. Zooplankton community in the front zone of the East Sea of Korea (the Sea of Japan) : 1. Species list, Distribution of dominant taxa, and Species association. *J. Korean Fish. Soc.*, 30, 225~238 (in Korean).
- Park, C., C. R. Lee and S. Y. Hong. 1997. Patterns of vertical distribution and diel vertical migration of zooplankton in the East Sea of Korea (Sea of Japan). *J. Oceanol. Soc. Korea*, 32, 38~45.
- Park, J. S., C. K. Kang and K. H. An. 1991. Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the polar front region off the east coast of Korea in summer. *J. Korean Fish. Soc.*, 24, 237~247.
- Rodon, G. I. 1974. Thermohaline structure, fronts, and sea-air energy exchange of the trade wind region east of Hawaii. *J. Phys. Oceanogr.*, 4, 168~182.
- Wiebe, P. H., K. H. Hurt, S. H. Boyd and A. W. Morton. 1976. A multiple opening/closing net and environmental sensing system for sampling zooplankton. *J. Mar. Res.*, 34, 313~326.
- Yanagi, T. 1987. Classification of "Siome", streaks and fronts. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 45, 149~158

1998년 4월 1일 접수

1998년 9월 12일 수리