

울산-감포 해역의 냉수 출현과 동물플랑크톤 분포

이창래* · 박 철 · 문창호¹

충남대학교 해양학과, ¹부경대학교 해양학과

Appearance of Cold Water and Distribution of Zooplankton off Ulsan-Gampo area, Eastern Coastal Area of Korea

CHANG RAE LEE*, CHUL PARK AND CHANG HO MOON¹

Department of Oceanography, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

¹Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

여름철 울산-감포 연안 해역은 냉수대가 출현하는 지역으로 잘 알려져 있다. 이 지역에 출현하는 냉수대와 동물플랑크톤 분포의 관계를 파악하기 위해 2001년 7월 중순부터 8월 초까지 연안과 외양 4개, 총 8개 정점에서 약 2주간의 간격으로 세 차례에 걸쳐 채집을 실시하였다. 여름철 냉수대가 출현한 울산-감포 해역에서 동물플랑크톤은 약 195개 분류군이 출현하였다. 출현 분류군 수와 동물플랑크톤 개체수의 채집 시기에 따른 차이는 유의적이지 않았지만(ANOVA, $p>0.05$), 분류군 수는 외양역에서, 총 개체수는 연안역에서 높은 값을 보였다. 수온 변화에 따른 변동에서는 출현 분류군 수는 수온 증가에 따라 증가하는 양상을 보였지만($p<0.05$), 출현 개체수는 수온과의 관계가 유의적이지 않았다($p>0.05$). 비슷한 시기에 계절 변동에 준하는 큰 수온 변동이 있었음에도 생물량과 수온 관계가 유의적이지 않고 연안 정점들에서 상대적으로 많은 생물량이 나타났다. 용승에 의한 냉수의 출현은 연안역에 풍부한 영양염을 공급하고 이로 인해 높은 생산력이 유지되어 동물플랑크톤에 풍부한 먹이를 제공함으로써 많은 동물플랑크톤 생물량을 초래할 것으로 여겨진다. 따라서, 이 지역 동물플랑크톤의 분포는 큰 수온 변동에도 불구하고 수온보다는 먹이 조건이 더 큰 분포의 영향 요인이 될 수 있을 것으로 여겨진다.

Appearance of cold water in the coastal area off Ulsan-Gampo, Southeastern coast of Korea, during summer has been well observed. To see the effect of this cold water on zooplankton distribution, we have collected zooplankton at 4 to 8 sites in the near coast as well as off coast for three times about two weeks of interval from July to August, 2001. Appearance of cold water was confirmed and total of about 195 zooplankton taxa were identified. Both the numbers of taxa appeared and zooplankton abundances did not show significant difference among the three sampling periods. On the other hand, the numbers of taxa appeared were generally greater in off coastal area while zooplankton abundances were greater in the near coastal area. These two variables showed different relationship with seawater temperatures. That is, the numbers of taxa appeared showed positive correlation with seawater temperatures ($p<0.05$) but abundances showed no significant relationship ($p>0.05$) with seawater temperatures of which variations were comparable with seasonal variations. It was postulated that the upwelling induced appearance of cold water enriched the nutrients, enhanced phytoplankton production and then provided better food conditions for smaller zooplankton in the near coastal part of this study area. In this context it was postulated that zooplankton distribution in the upwelling area might be controlled by food condition rather than seawater temperatures in spite of the large temperature variations caused by the appearance of cold water.

Key words: Zooplankton Distribution, Upwelling, Cold Water

서 론

우리나라 동해 연안은 대한해협으로부터 유입되는 고온·고염의 대마난류와 동해 북부로부터 연안을 따라 남하하는 저온·저

염의 북한난류의 영향을 받는다(Lee and Chung, 1981). 이 두 해류는 계절 또는 기상 조건에 따라 유입량 및 유입 경로가 변화하며, 그 결과 동해 연안 해황은 매우 다양한 특성을 보인다.

울산-감포 연안 해역은 대마난류수계의 영향을 받아 여름철 20~25°C의 표층 수온분포를 보인다. 그러나, 해안을 따라 남서풍 또는 남풍이 상당 기간 지속되면, 이 지역 표층의 물이 외해 방향

*Corresponding author: s_lcr@cnu.ac.kr

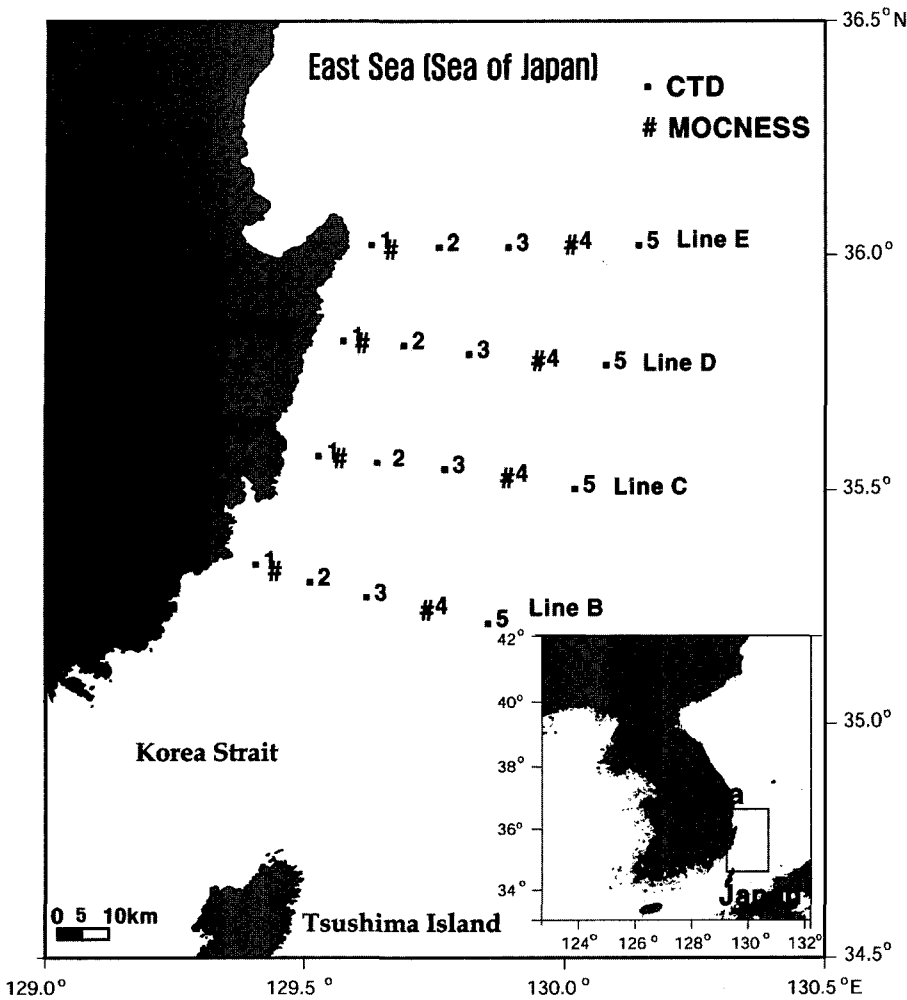


Fig. 1. A map of study area. CTD measurements were made at dotted stations and zooplankton samples were collected at sites with # marks.

으로 밀려나고 저층의 차가운 물이 표층으로 이동하는 용승 현상이 관측된다(Byun, 1989; 국립수산진흥원, 1996; 1997; 1998). 그 결과, 연안역 수온의 수평·수직구조는 급한 기울기를 보인다. 바람의 방향과 세기 그리고 바람이 지속되는 시간 및 중층의 냉수과 발달 정도에 따라 냉수대의 출현 지역과 출현 기간이 달라진다(Kim and Kim, 1983). 일반적으로 연안 용승은 페루-칠레와 북서아프리카의 용승해역과 같이 어장 형성에 유리한 조건을 만들어 준다. 하지만, 우리나라 동해 연안에 출현하는 용승 현상은 연안 양식장에 일일 3~5°C의 급격한 수온변화를 가져와 양식 어류와 조류의 대량 폐사를 일으키며, 해무를 자주 발생시켜 빈번한 선박 사고의 원인이 되고 있다(Hahn *et al.*, 1995).

울산-감포 인근 해역에 출현하는 냉수대에 대한 연구로는 냉수괴의 기원(Gong and Park, 1969; Lim and Chang, 1969; An, 1974; 박, 1978; 양 등, 1994)과 냉수괴의 출현 원인(Seung, 1974; Lee, 1978; Lee, 1983; Lee and Na, 1985; Byun, 1989), 냉수대 출현 지역의 입자 분포 및 화학적 흔적 연구(Yang *et al.*, 1998; Lee and Kim, 2003) 등 주로 물리, 화학적인 연구가 많이 진행되었으나, 냉수대 출현과 연관있는 동물플랑크톤 분포 변화에 대한 연구는 국립수산진흥원(1987)을 제외하곤 진무한 실정이다. 울산-감포 연안에서 발생하는 용승 현상은 좁은 지역에서 단기간에 걸쳐 발생하기 때문에 수온의 하강과 영양염의 증가는 이 지역의 해양생물

분포에 적지 않은 영향을 줄 것으로 여겨진다. 따라서 본 논문에서는 울산-감포 인근해역에서 여름철에 빈번하게 발생하는 냉수대가 동물플랑크톤의 분포, 주요 우점 종, 군집 등에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고자 하였다.

재료 및 방법

동물플랑크톤의 채집은 냉수대의 출현이 빈번히 발생하는 7월과 8월 사이에 울산과 감포 인근 해역에서 실시되었다. 동해 연안역의 바람의 방향과 바람의 세기를 고려하여 냉수대가 출현할 확률이 높은 시기를 7월 하순으로 상정하고, 이 시기를 전후하여 세 차례에 걸쳐(1차 채집; 2001년 7월 16일~18일, 2차 채집; 7월 23일~25일, 3차 채집; 8월 8일~10일) 채집을 실시하였다.

울산-감포 해역을 중심으로 부산에서 포항에 이르는 해역을 해안선에 수직하게 4개 관측선(Fig. 1, B, C, D, E Line)을 설정하고, 각 관측선의 연안쪽과 외양쪽 2개 지점(정점 1의 바깥쪽과 정점 4), 총 8개 정점에서 동물플랑크톤을 채집하였다. 세 차례의 채집시기 중 일차와 삼차 채집시기에는 총 8개 정점 전부에서 채집이 실시되었고, 이차 채집시기에는 냉수대가 강하게 발생한 울산-감포 해역을 중심으로 4개 정점(C, D Line)에서만 채집이 실시되었다.

채집에 사용한 기기는 망목크기 330 μm 네트를 부착한 1 m^2 MOCNESS(Wiebe *et al.*, 1976)를 사용하였으며, 네트 인양과 동시에 수심별 수온, 염분, 각 네트의 해수 여과량 등을 파악하였다.

울산-감포 인근 해역에서 출현하는 냉수대는 주로 200 m 이내의 수심에 위치하므로, 각 채집 정점에서는 한번의 채집에 동원될 수 있는 MOCNESS의 네트 수(9개)를 고려하여 전 수층을 표층부터 25 m 간격으로 구분하여 채집하였다. 그 결과 상대적으로 외양역에 위치한 정점 4에서는 225 m까지 채집되었고, 수심이 얇은 정점 1부근에서는 2~3개 층에서 채집되었다. 시료의 채집은 전부 주간에 실시하였다.

채집된 시료는 선상에서 중성포르말린으로 고정하였고, 포르말린의 최종 농도는 5~8%가 되도록 하였다. 실험실로 운반된 시료는 Folsom 분할기를 이용하여 적정 생물량의 부차 시료를 취하여 Bogorov 계수관에 넣고 해부현미경을 사용하여 가능한 낮은 단계까지 분류 계수하였다. 계수된 생물량은 단위 체적당 개체수(indiv./ m^3)로 환산하였다.

결 과

수온 및 염분분포

동물플랑크톤이 채집된 지역의 수온 및 염분의 수평분포는 Figs. 2, 3과 같았다. 일차 조사시기의 표층 수온은 동물플랑크톤이 채집된 연안 정점(정점 1)에서 약 16~23°C, 외양 정점(정점 4)에서 약 23~24°C의 수온분포를 보였다(Fig. 2). 포항 인근 해역인 정점 E1, E2에서 주변 해역보다 7~8°C 낮은 약 16°C의 수온분포를 보였고, E1, E2 정점을 중심으로 남동쪽으로 등온선이 밀집하여 큰 수온변화를 보였다. 표층에서 정점 E2 부근에 위치하던 냉수대의 중심이 수심 50 m층에서는 감포 인근 해역인 정점 D2로 보다 남쪽에 위치하였고, 냉수대가 남쪽방향으로 확장된 것을 볼 수 있었다.

이차 조사시기는 표층 수온이 연안 정점에서 16~24°C, 외양 정점에서 24°C 이상의 분포를 보였다(Fig. 2). 울산-감포 인근 해역 C1 정점에서 약 16°C 수온을 보였고, 정점 C1을 중심으로 외양으로 가면서 수온이 상승하였다. 수심 50 m의 수온분포는 울산-감포 해역에 위치한 냉수대의 중심이 울산 인근 해역으로 축소되었으며, 외양으로 가면서 C3까지는 급한 수온 기울기를 보인 이후 다소 완만한 수온 증가를 보였다. 수온의 기울기로 보아 그 세력 또한 표층에 비해 그리 크지 않음을 알 수 있다.

삼차 조사시기는 표층 수온이 연안 정점에서 18~24°C, 외양 정점에서 약 22~26°C의 분포를 보였다(Fig. 2). 울산 인근 해역의 정점 C2에서 외양 정점보다 7~8°C 정도 낮은 약 18°C의 수온분포를 보였고 다른 조사시기에 비해 냉수대 범위가 외해쪽으로 확장되었다. 수심 50 m에서는 표층 수온분포와는 다르게 냉수대의 중심이 감포와 포항 해역으로 이동하여 매우 폭넓게 분포하였다.

세 차례의 조사시기 동안 울산-감포 해역의 수온분포는 표층에서 연안 정점과 외양 정점간의 수온 차이가 7~9°C였으며, 수심 50 m 수층에서는 연안 정점과 외양 정점간의 수온 차이는 6~8°C였다. 연안 정점의 표층과 수심 50 m 수층간의 수온 차이는 약 7~9°C로, 이러한 수온분포를 통해 냉수대의 영향이 수심 약 50 m 수층까지 미치는 것으로 판단되었으며, 냉수대 출현으로 인해 수평, 수직 수온 구배가 매우 크다는 것을 알 수 있었다. 그리고, 조

사기간 동안 냉수대의 중심이 일차 조사시기에는 정점 E1, D1에, 이차 조사시기에는 정점 D1, C1에 위치하였고, 삼차 조사시기에는 정점 C1과 B1에 위치하여 남-북 방향의 이동성을 보여주었다.

조사기간 동안 포항 인근 해역의 표층 염분범위는 30.9~33.6 psu였다. 일차 조사시기에는 연안 정점 32.4~33.8 psu, 외양 정점 약 32.4 psu의 염분분포를 보였다(Fig. 3). 저온의 냉수가 출현한 포항 인근 해역인 정점 E1, E2에서 주변 해역보다 약 1 psu 높은 33.6~33.8 psu의 염분분포를 보였고, 남동 방향으로 가면서 감소하였다. 수심 30 m 수층에서는 표층에서 보인 정점 E2에서의 고염분의 중심이 남동쪽으로 확장하였고, 해안선과 다소 평행하게 연안에서 외양으로 가면서 염분이 감소하였다. 염분의 경우 수온과는 달리 수심 50 m에서는 등염분선의 간격이 매우 커져(즉, 비슷한 값들이어서) 경사를 잘 볼 수 있는 30 m를 선택하여 살펴보았다.

이차 조사시기에는 표층 염분이 연안 정점에서 약 33.2 psu, 외양 정점에서 약 32 psu였다(Fig. 3). 울산에서 포항에 이르는 연안에 33.4 psu 이상의 상대적 고염이 출현하였고, 외해로 가면서 감소하였다. 수심 30 m에서는 표층의 염분과는 달리 포항과 부산 인근 해역을 중심으로 34.2 psu 이상의 고염이 분포하였으며, 이것은 표층에서 보인 염분분포와 지역적 차이를 보였다. 삼차 조사시기의 염분구조도 이차 조사시기와 크게 다르지 않았다(Fig. 3). 세 차례의 조사시기 동안 울산-감포 해역의 염분분포는 연안과 외양, 연안역의 표층과 수심 30 m 수층의 염분 차이는 약 1.5 psu로, 수평적, 수직적 차이는 수온에 비해 상대적으로 매우 작았다.

세 차례의 채집기간 동안 울산-감포 인근 해역을 중심으로 한 동해 연안의 표층 수온 및 염분 범위는 약 15~24°C, 31~33.6 psu였다. 일반적으로 여름철 울산-감포 인근 해역의 표층 수온은 23°C 내외로, 조사기간 동안 울산-감포 인근 해역에서는 연안과 외양 정점의 수온 차이가 약 7~8°C의 큰 차이를 보였다. 여름철 수온의 일교차가 1~2°C인 점을 감안하면, 세 차례의 관측이 여름철 한달 정도의 짧은 기간 동안 이루어졌지만, 수온의 변화는 계절 변동에 상응한 큰 변화를 보임을 알 수 있었다. 염분의 차이는 약 2~3 psu 이하로 수온에 비해 상대적으로 매우 작은 변화를 보였다.

출현 분류군수 및 개체수 분포

조사기간인 2001년 여름철 울산-감포 인근 해역에서 채집된 동물플랑크톤은 약 195개 분류군으로 분석되었다. 조사시기별로 검색된 전체 분류군 수를 보면(Table 1), 일차 조사시기에는 167개 분류군, 이차 조사시기에는 144개 분류군, 삼차 조사시기에는 148개 분류군으로, 조사시기에 따른 출현 분류군 수의 변동은 유의적이지 않았다. 전 조사기간 동안 모든 채집 정점의 평균 총 개체수는 약 204개체/ m^3 였고, 조사시기별 평균 개체수는 각각 175개체/ m^3 , 225개체/ m^3 , 224개체/ m^3 였다. 세 차례 조사시기 중 일차 조사시기에 다소 낮은 개체수가 출현하였지만, 통계적 유의성은 없었다(ANOVA, $p>0.05$).

조사시기 별로 출현한 동물플랑크톤의 출현 분류군 수와 개체수를 연안 정점과 외양 정점으로 나누어 비교하면 연안역에서는 출현 분류군수는 적지만 개체수가 많은 특성이 세 차례 일관되게 관찰되었다. 이차 조사에서 포함된 정점들만을 대상으로 세 차례 조사시기별 변화를 살펴보면 출현 분류군수는 연안과 외양역에서 모두 큰 변화가 없었고, 개체수에서는 2차 조사시기에 연안역에서

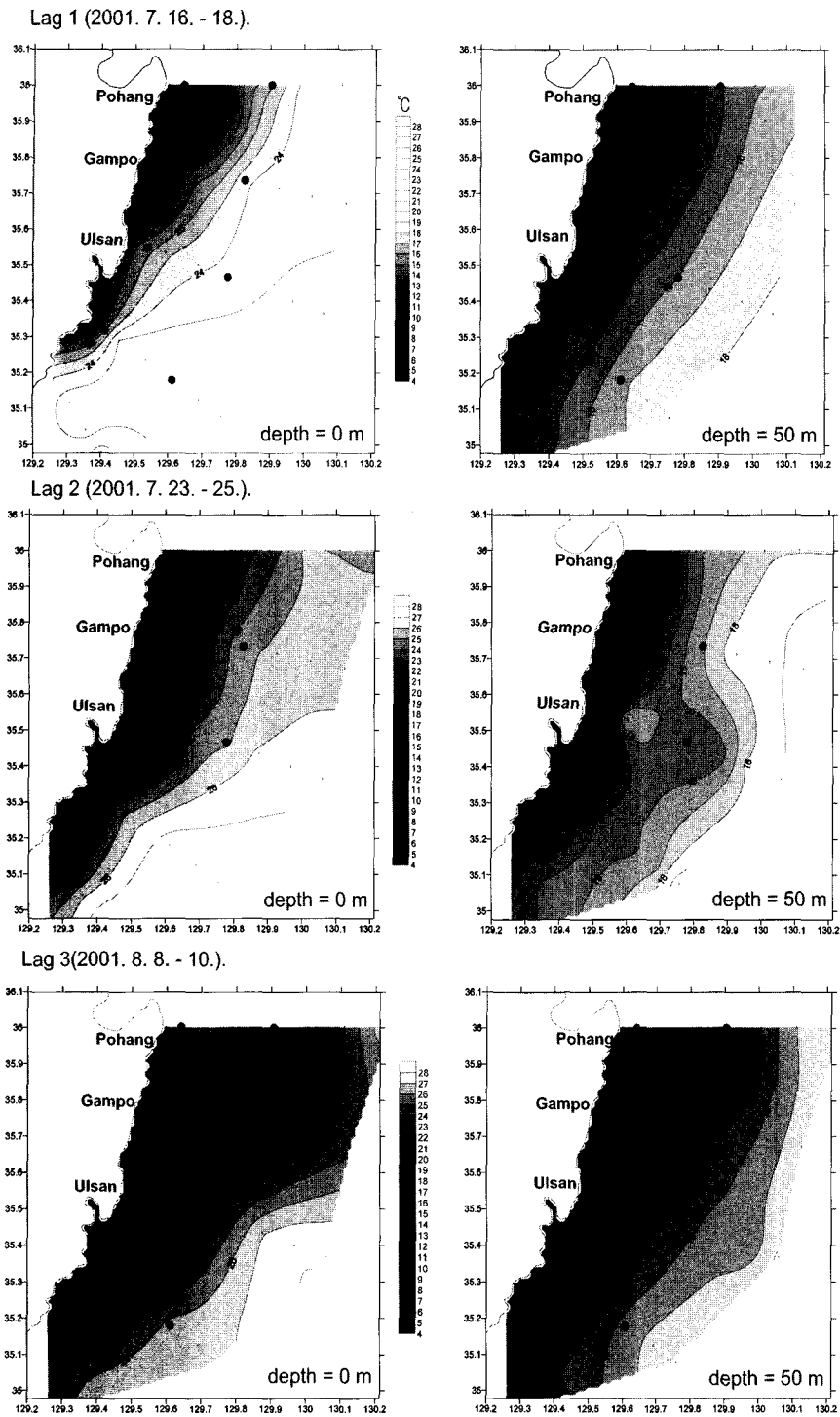


Fig. 2. Horizontal distribution of seawater temperatures at the study area (●: zooplankton sampling sites).

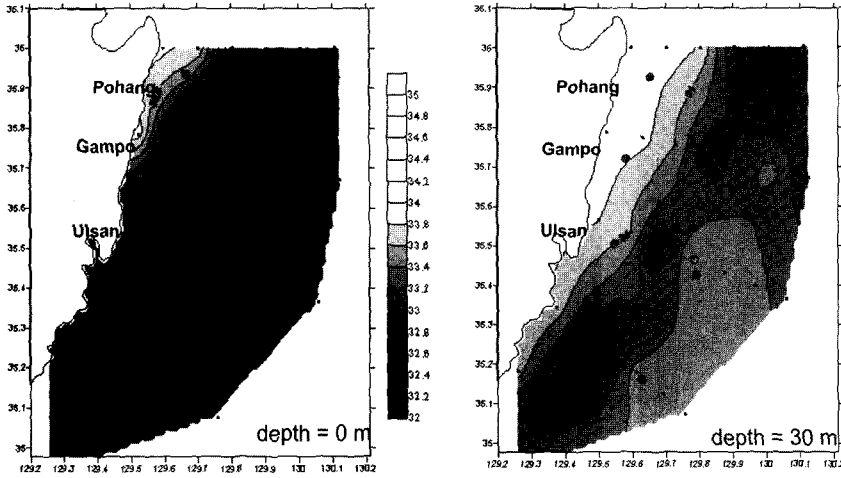
다소 많은 개체수가 나타났지만 그 차이는 유의적이라고 보기 어려웠다.

정점별 수층별 분포 양상

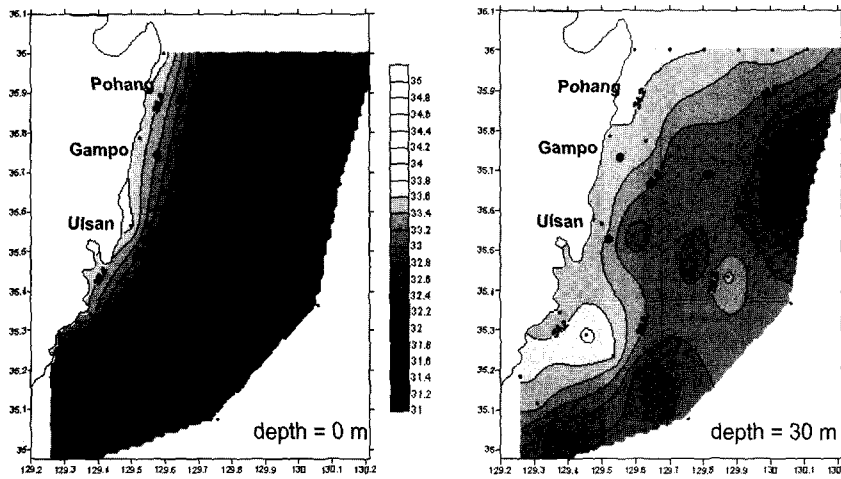
일차 조사시기에는 연안 정점에서 E1해역을 중심으로 D1까지 냉수대가 분포하고 있었다. 이 두 정점의 동물플랑크톤 출현 양상은 정점 E1에서는 0~75 m 수층까지 250~270개체/m³의 고온 생물량을 보였고, 정점 D1에서는 0~25 m 수층에서 2,065개체/m³ 생

물량이 출현하였다(Fig. 4). 상대적으로 고온(22~23°C)인 연안의 두 정점 B1과 C1의 경우, 정점 B1에서는 0~25 m 수층에서 1,697 개체/m³, 정점 C1에서는 25~50 m 수층에서 490개체/m³가 출현하였다. 즉, 수온의 높고 낮음에 따른 일관된 분포는 보이지 않았다. 외양 정점에서는 4개 정점, 전 수층에서 200개체/m³이하의 개체수였고, 수층 간 개체수 분포도 큰 차이를 보이지 않았다. 연안역에서 수층별 차이가 현격한 반면에 외양쪽의 경우 수층별 차이가 상대적으로 없는 편이었다.

Lag 1 (2001. 7. 16. - 18.)



Lag 2 (2001. 7. 23. - 25.)



Lag 3 (2001. 8. 8. - 10.)

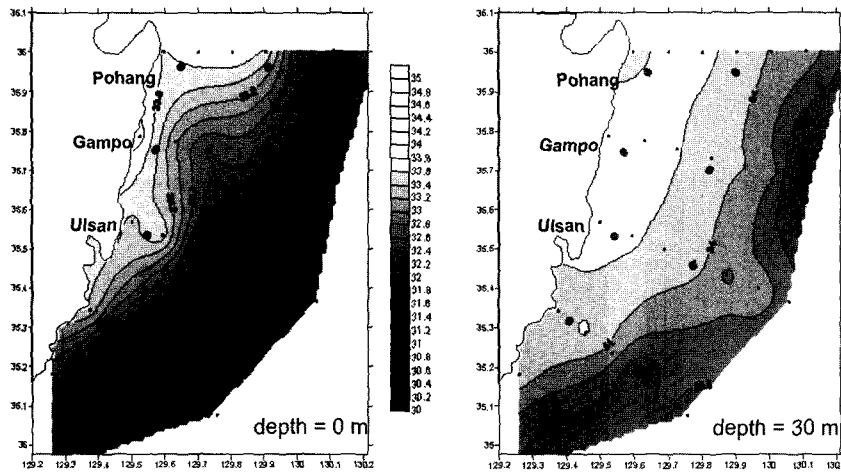


Fig. 3. Horizontal distribution of salinities at the study area (●: zooplankton sampling sites).

이차 조사시기에는 상대적으로 낮은 수온을 보인 C1과 D1 정점 모두 0~25 m 수층에서 1,484개체/m³, 1,450개체/m³가 출현하였다(Fig. 5). 외양 정점에서는 2개 정점, 전 수층에서 100개체/m³ 이하의 개체수가 출현하였고, 수층간 개체수 분포도 큰 차이를 보

이지 않았다. 이차 조사시기에는 연안역의 상대적 고온 수층의 시료는 얻지 못하였다.

삼차 조사에서는 정점 B1과 C1에서 낮은 수온분포를 보였는데, 일차 조사 때와 같이 연안쪽에서 많은 양이, 외양쪽에서 비교적

Table 1. Number of taxa appeared and averaged abundance (indiv./m³) in the study area.

		Total	Inshore	Offshore
Number of taxa appeared	Lag 1 (16-18, July)	167	111 (69)	158 (138)
	Lag 2 (23-25, July)	144	65	137
	Lag 3 (8-10, Aug.)	148	115 (62)	134 (117)
	all combined	195	139	185
Abundance (indiv./m ³)	Lag 1 (16-18, July)	175	437 (806)	54 (57)
	Lag 2 (23-25, July)	225	1,139	30
	Lag 3 (8-10, Aug.)	224	570 (992)	69 (32)
	all combined	204	569	55

*Values in parentheses were obtained from the four sampling sites included in Lag 2.

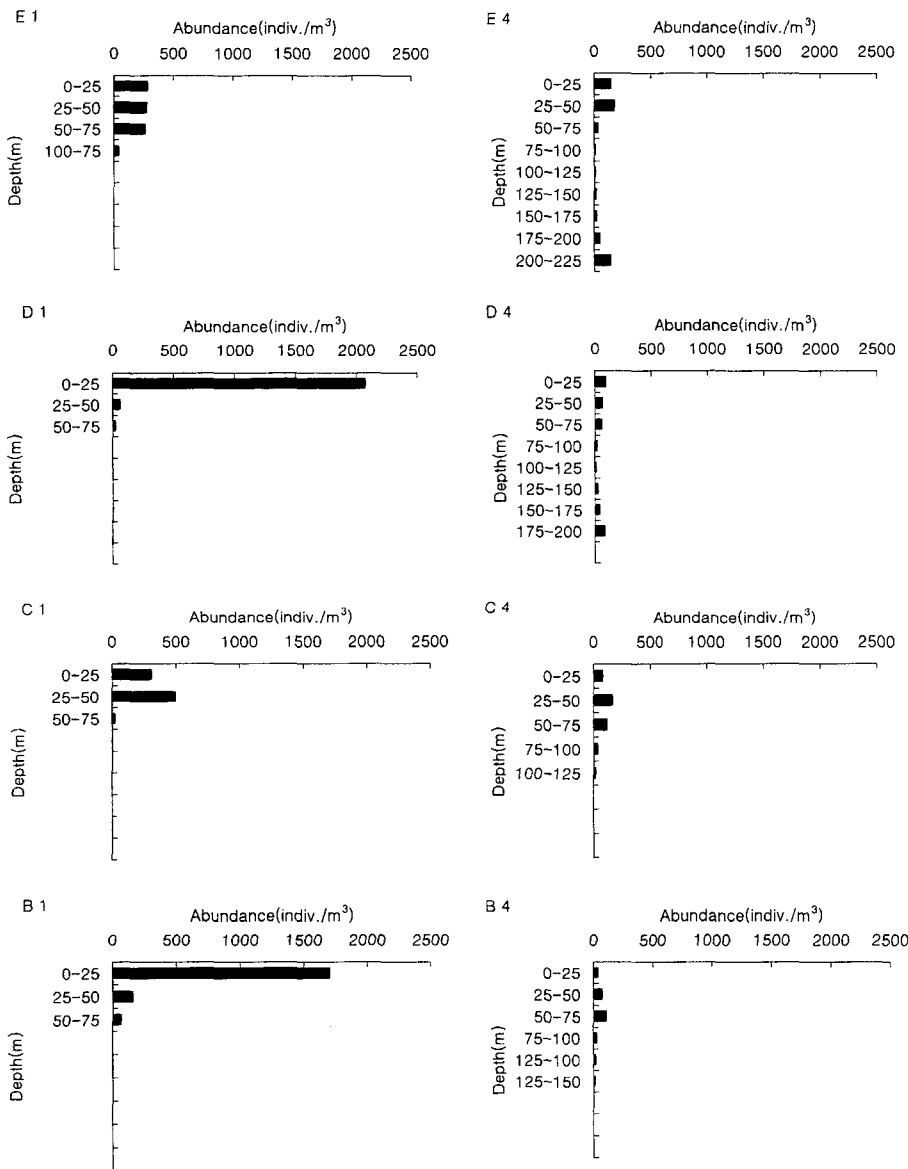


Fig. 4. Vertical distribution of total zooplankton abundances (indiv./m³) in the study area (2001. 7. 16.-18.).

적은 양이 분포하고 있지만 연안쪽에서 수온과 분포량의 관계가 역시 일관되지 않았다(Fig. 6).

세 차례의 조사시기 동안 분포량의 수층간 차이는 연안쪽에서 크게 나타나고 외양쪽에서는 작게 나타났다. 지리적으로 인접해 있고 냉수 발생으로 인해 수온이 비슷하게 낮은 정점들에서도 수

온과 개체수 분포 관계의 유의성이 나타나지 않았다.

수온 변화에 따른 동물플랑크톤 분포 양상

채집지역이 시·공간적으로 수온 구배가 매우 크다는 특성을 고려하여 수온에 대한 동물플랑크톤의 출현 양상을 살펴보았다.

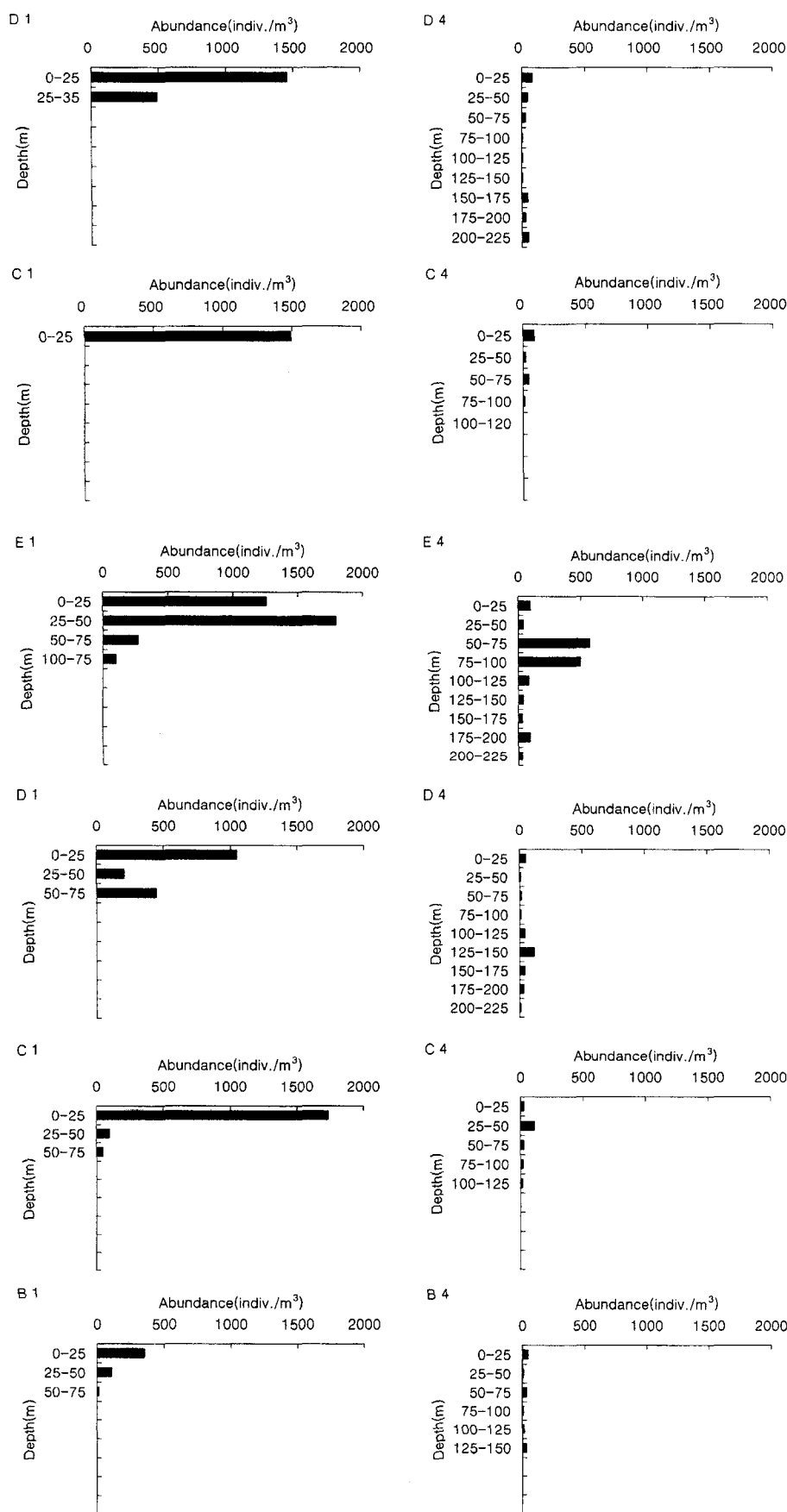


Fig. 5. Vertical distribution of total zooplankton abundances (indiv./m³) in the study area (2001. 7. 23.-25.).

Fig. 6. Vertical distribution of total zooplankton abundance (indiv./m³) in the study area (2001. 8. 8.-10.).

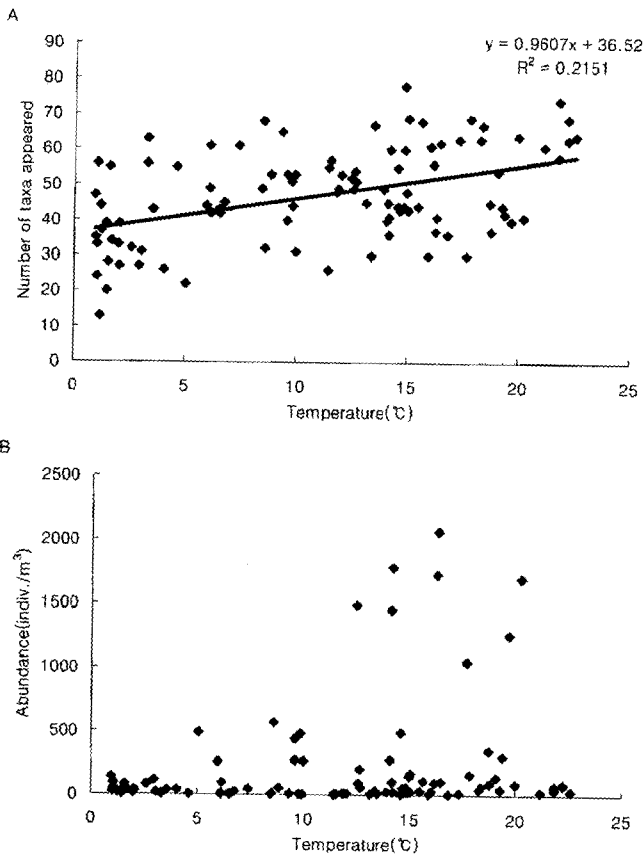


Fig. 7. Zooplankton numbers of taxa appeared (A) and averaged total abundances (B) in the study area with respect to seawater temperatures.

동물플랑크톤의 전체 출현 분류군수는 수온이 상승함에 따라 대체로 증가하는 경향을 보였다(Fig. 7A, $p < 0.05$). 그러나, 출현 개체수는 수온 증가에 따라 증가하는 양상을 보여주는 듯하지만, 통계적으로 유의하지는 않았다(Fig. 7B, $p > 0.05$). 수온 약 1~13°C까지는 수온증가에 따라 출현 개체수도 서서히 증가하고 있으나, 약 13~21°C의 특정 수온범위에서는 대량 출현한 지각류 *Evadne tergestina*와 *Penilia avirostris*, small eggs, *Euphausia pacifica*의 영향으로 출현 개체수와 수온과의 관계가 통계적으로 유의하지 않았다($p > 0.05$).

주요 우점 세 종류, *Evadne tergestina*, *Penilia avirostris*, *Paracalanus parvus*의 분포를 수온과 연계하여 살펴보면, *E. tergestina*와 *P. avirostris*는 외양 정점보다는 연안 정점의 0~25 m 수층, 약 13~21°C 수온범위에서 가장 많은 개체수가 출현하였다. 수온 분포상 냉수의 영향권을 약 17~19°C라고 간주할 때, 연안 정점에서는 이러한 수온 범위에서 상대적으로 많은 양이 나타났지만 외양 정점에서는 특정 수온 범위에 다량 출현하지 않고, 전 수온범위에서 고루 나타나고 있었다(Fig. 8). 요각류 *P. parvus*는 연안 정점의 약 6~20°C 수온 범위에서 가장 많은 개체수가 출현하였다(Fig. 8). *P. parvus*가 분포하는 주 수온대가 *E. tergestina*와 *P. avirostris*에 비해 상대적으로 넓다는 것도 알 수 있다. 이들은 모두 매우 넓은 수온역에 분포하지만 모두 연안역의 상층에 많은 양이 나타난다는 공통점이 있었다.

집괴분석 및 군집 특성

여름철 냉수대 발생이 잦은 울산-감포 해역에서 세 차례의 조사시기 동안 동물플랑크톤의 출현 양상을 살펴보기 위해 상대적으로 출현량이 많은 30개 주요 분류군의 분포량 쌍(pair)들을 대

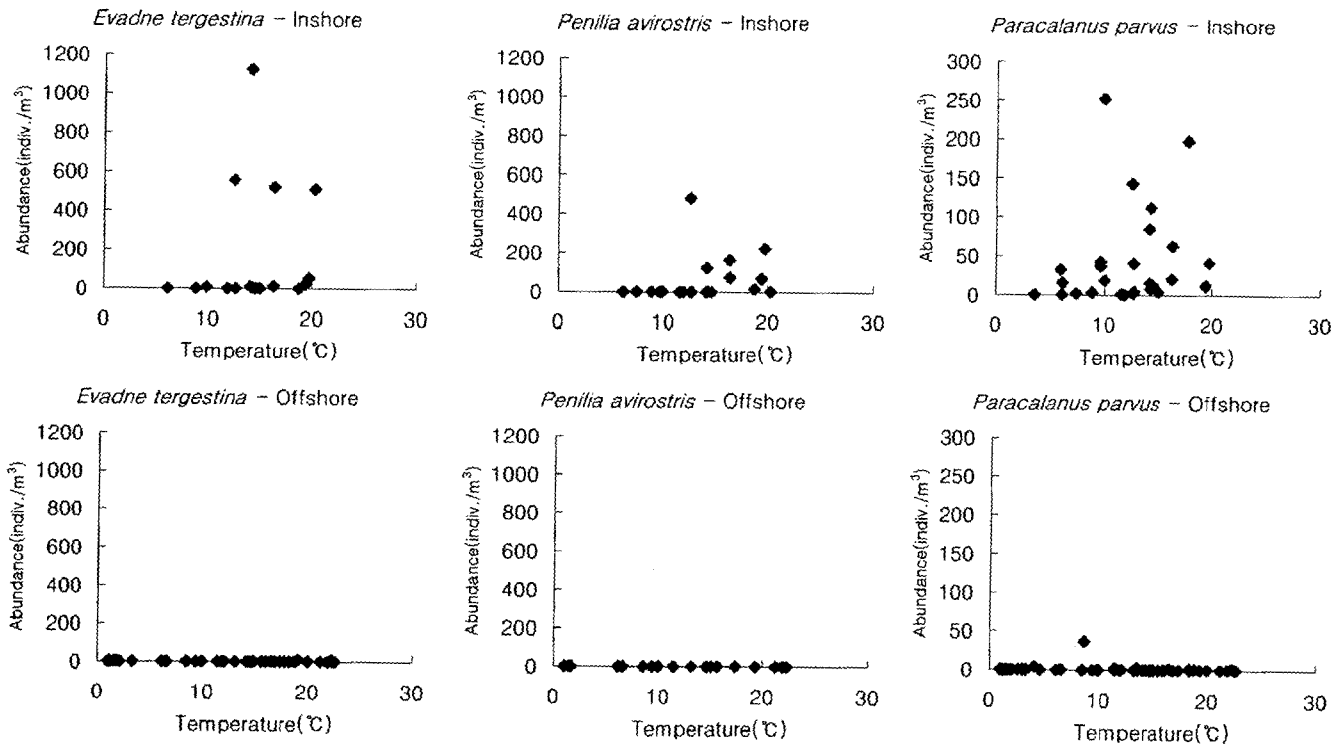


Fig. 8. Distribution of three major taxa with relation to seawater temperatures.

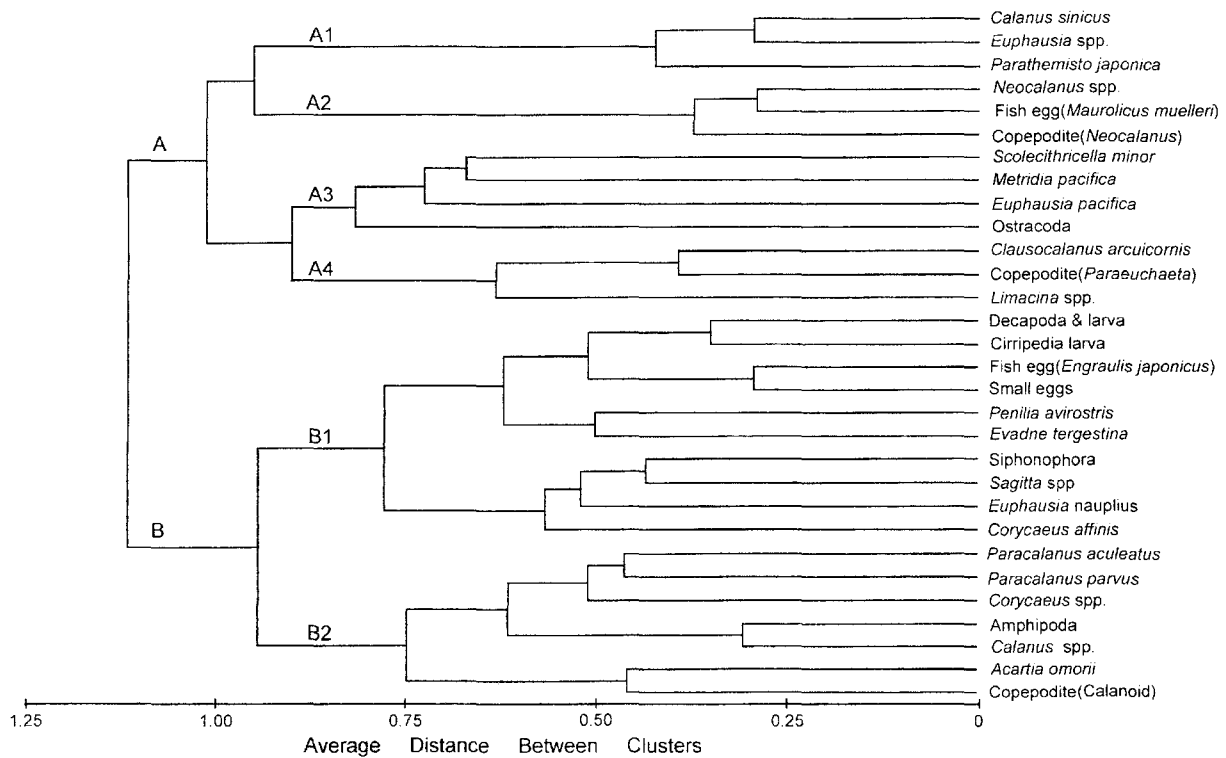


Fig. 9. Dendrogram showing the degree of co-occurrence among the major taxa of zooplankton obtained by the cluster analysis with correlation coefficients of abundances in the study area.

상으로 이들 간의 상관관계를 파악하였다. 이 상관계수의 matrix를 유사도 지수로 간주하여 집괴분석을 통하여 중간 유연관계를 파악하였다. 이에 근거하여 함께 출현할 확률이 높은 그룹을 2개의 대그룹으로, 집괴간 거리 0.85를 기준으로 6개의 소그룹으로 나눌 수 있었다(Fig. 9). 소그룹으로 묶인 분류군들의 분포 양상에 대해 살펴보면 A1 그룹은 *Calanus sinicus*, *Euphausia pacifica*, *Parathemisto japonica*가 속한 그룹으로, 일차 조사시기에는 정점 B1의 0~50 m 수층과 정점 E1의 25~75 m 수층에서 비교적 높은 출현량을 보였다. 이차 조사시기에는 정점 D1의 25~50 m 수층에서, 삼차 조사시기에는 정점 B1의 0~25 m, 정점 E1의 25~50 m 수층에서 높은 출현량을 보였다. A1 그룹은 외양 정점에 비해 연안 정점 B1과 E1에서 출현량이 많았다.

A2 그룹은 *Neocalanus spp.*, *Copepodite(Neocalanus)* 등이 속한 그룹으로, 일차 조사시기에는 정점 B1의 0~50 m, 정점 E1의 25~75 m 수층에서 높은 출현량을 보였고, 이차 조사시기에는 1개체 이하의 매우 빈약한 분포를 보이다가, 삼차 조사시기에 정점 B1의 0~25 m, 정점 D1과 E1의 0~50 m 수층에서 높은 출현량을 보였다. A2 그룹은 A1 그룹의 분포 양상과 유사하며, 연안 정점 B1, D1, E1에서 출현량이 많은 그룹이었다.

A3 그룹은 *Metridia pacifica*, *Scolecithricella minor* 등이 속한 그룹으로, 수직 이동 능력이 상대적으로 강하며 냉수층으로 잘 알려진 종들로 세 차례의 조사시기 모두 연안 정점보다는 외양 정점에서 주로 100 m 이하의 수심에서 출현하였다.

A4 그룹은 *Copepodite(Paraeu chaeta)*, *Clausocalanus arcuicornis* 등이 속한 그룹이었다. 이 그룹은 조사시기에 상관없이 연안 정점

과 외양 정점 모두에서 채집 수층간 개체수 차이는 있었지만 주로 수심 0~75 m에서 높은 출현량을 보였다.

B1 그룹은 *Evadne tergestina*, *Penilia avirostris*, small eggs, fish eggs(엘퉁이알 등) 등이 속한 그룹으로 조사시기 동안 연안 정점에서 매우 높은 출현 개체수를 보인 분류군이었다. 이 그룹은 조사시기에 따라 출현 양상과 개체수의 정도의 차이는 있었지만, 연안 정점에서 주로 0~75 m 수심 이내에서 높은 출현량을 보였다.

B2 그룹은 *Paracalanus parvus*, Amphipoda, *Corycaeus spp.* 등이 속한 그룹으로 일차 조사시기에는 정점 D1의 0~25 m, 정점 E1의 0~75 m 수층에서 높은 출현량을 보였다. 이차 조사시기에는 정점 C1의 0~25 m, D1의 25~50 m 수층에서 높은 출현량을 보였고, 삼차 조사시기에는 연안 정점 0~75 m 수층에서 출현량이 많았다.

결과적으로 A그룹으로 묶인 주요 분류군들은 조사시기에 따라 연안 정점 혹은 외양 정점에서 출현 정점과 수층을 서로 달리하여 출현하였거나, 연안 정점과 외양 정점 모두에서 고른 분포를 보였고, B그룹은 전체 출현 분류군 중 상위 4종의 동물플랑크톤이 속한 그룹으로 연안 정점 0~75 m 수층에서 주로 출현하였다.

토 의

본 조사지역과 동일한 해역에서 이(2000)는 1997년 6월 말에서 8월 초 사이에 주변 해역에 비해 수온이 약 2.4~12.9°C까지 하강한 것을 보고한 바 있다. 본 조사시기가 이(2000)의 경우의 중간에 있다는 점을 고려하면, 7~8°C 정도 낮은 수온역이 있다는 사

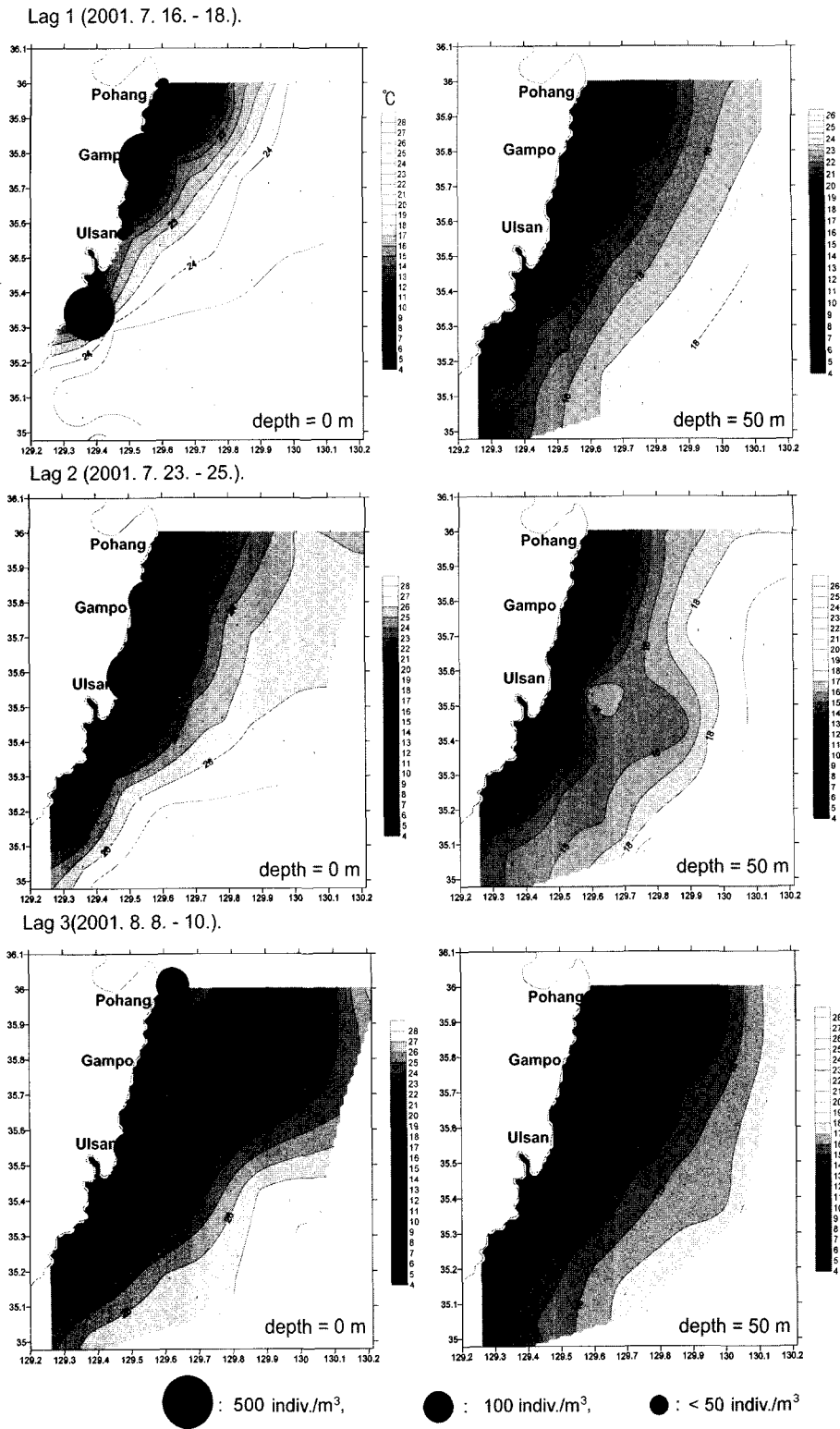


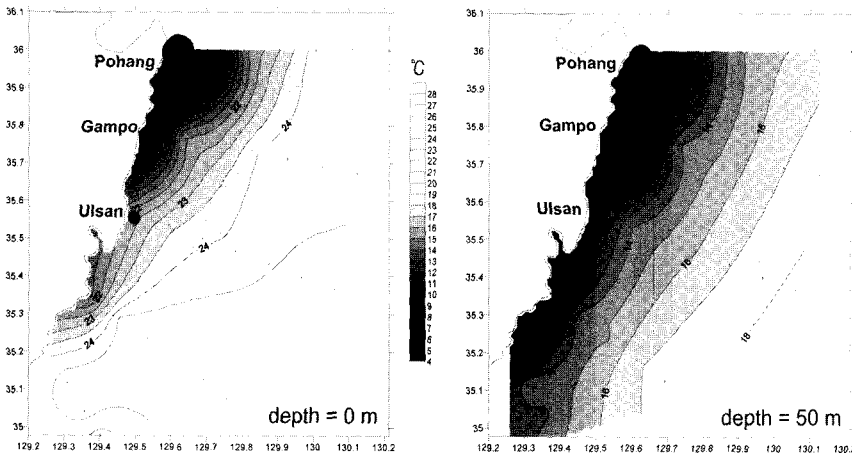
Fig. 10. Horizontal abundance (indiv./m³) distribution of major taxa, *Evadne tergestina* in the study area with temperature profiles.

실은 울산-감포 해역에 본 조사기간 동안 냉수가 출현하였음을 보이는 것이며, 이러한 냉수의 출현이 동 지역에서는 매년 같은 시기에 반복될 가능성이 크다는 점을 의미한다.

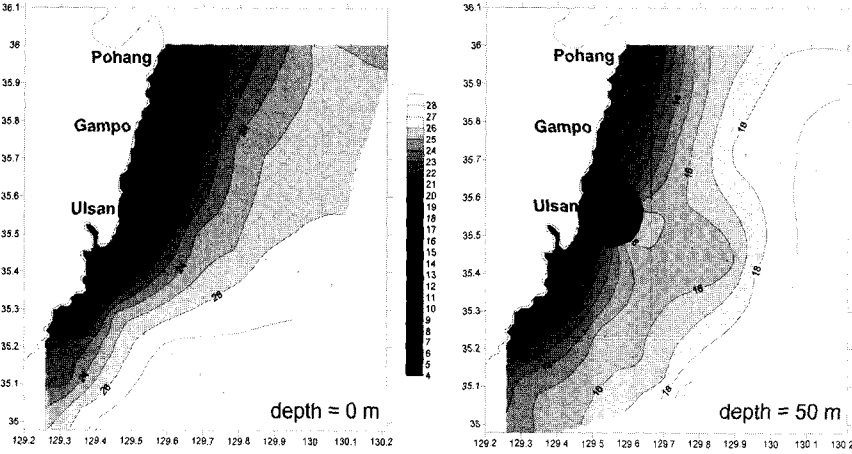
본 조사기간 동안 채집된 동물플랑크톤은 총 195개 분류군, 평균 개체수 약 204개체/m³가 출현하였다. 본 조사지역과 유사한 지

역에서 Shim and Lee(1986)가 봄과 가을에 각각 55개, 104개 분류군을 보고하였으며, 두 계절 동안 출현한 동물플랑크톤은 총 123개 분류군이였다. Shim(1982)와 Shim and Bak(1983)은 55-142개 분류군을 보고하였다. 출현 개체수에서는 Shim and Lee(1986)가 약 538개체/m³와 267개체/m³를 보고하여 출현 분류군수와 개체수

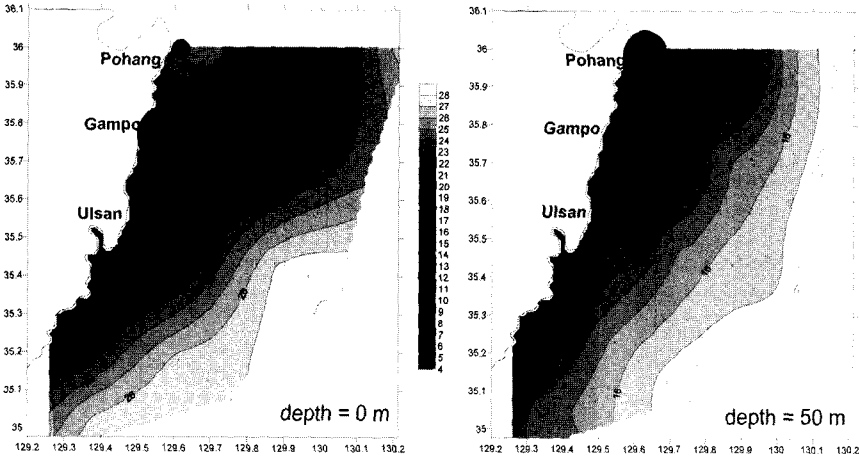
Lag 1 (2001. 7. 16. - 18.).



Lag 2 (2001. 7. 23. - 25.).



Lag 3 (2001. 8. 8. - 10.).



● : 200 indiv./m³, ● : 100 indiv./m³, ● : < 50 indiv./m³

Fig. 11. Horizontal abundance (indiv./m³) distribution of major taxa, *Paracalanus parvus* in the study area with temperature profiles.

에서 본 논문과 약간의 차이를 보여 주고 있으나, 그들이 사용한 기기와 망목 크기의 차이, 채집 시기 등을 고려하면 유의할 만한 차이라고 보기는 어렵다. 하지만, 분포량에서는 큰 차이가 없으나 분류군 수에서는 다소 많은 분류군이 검색되었다고 할 만 하였다. 국립수산진흥원(1987)이 냉수대 지역에 출현하는 동물플랑크톤을

주로 요각류와 모악류 중심으로 보고한 바 있으나, 대상 생물이 요각류와 모악류로 한정되었다는 점과 생물량을 나타내는데 있어 biomass단위(습중량)를 사용하였다는 점에서 본 논문의 출현 분류군수와 개체수에 대한 직접적인 비교는 어려웠다.

본 연구에서 각 조사시기에 따라 출현한 동물플랑크톤의 출현

분류군수는 외양 정점에서, 출현 개체수는 연안 정점에서 높게 나타났다. 세 차례 조사기간 동안 출현한 분류군수와 출현 개체수는 채집 시기별로 큰 차이를 보이지 않았다. 냉수대의 위치가 조사시기에 따라 서로 달랐음에도 불구하고, 정점 C1과 D1에서 출현한 동물플랑크톤의 출현 분류군수와 개체수 분포에 있어 큰 차이를 보이지 않았다는 것은 수온의 변화가 동물플랑크톤 분포에 큰 영향을 주지 않을 것으로 유추해 볼 수 있다.

본 연구에서 우점 종으로 분류된 지각류 *Evadne tergestina*와 *Penilia avirostris*는 주로 연안에서 식물플랑크톤과 매우 작은 입자를 섭식하며, 따뜻한 시기에 많이 분포하는 계절성이 강하고, 처녀생식을 통하여 짧은 시간에 급격한 개체수 증가가 가능하다고 알려져 있다(Ramner, 1934; Onbe, 1977). 이들의 분포를 결정하는 주요 요인으로는 수온(Ramirez and Perez, 1985)과 먹이 생물의 분포(Pavlova, 1959; Gore, 1980; Bainbridge, 1958; Conover, 1978)가 가장 중요시된다. 이들이 온수역을 오히려 선호한다는 점과 매우 넓은 수온 범위에 분포하면서도 연안 표층에 주로 집중되어 분포한다는 사실(Figs. 8, 10)은 이들의 분포가 냉수의 출현보다는 연안의 다른 환경요인, 예를 들면 먹이 생물의 우점종 변화, 먹이 농도의 증가 등과 연관할 것으로 유추된다. 하지만, 이들의 먹이 농도와 퇴적물에 포함된 지각류의 휴면란 분포는 본 연구에서 직접적으로 계측하지 못하였다.

본 조사기간에 조사된 상위 5개 분류군중 요각류는 *Paracalanus parvus* 한 종만이 포함되었다. 이 종의 수평 분포를 살펴보면 비교적 냉수대의 분포와 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있다(Fig. 11). 외국의 경우 이 종이 냉수역에서 출현하는 주요 우점 종으로 보고된 바 있으나(Peterson, 1998), 우리나라 연안에서는 연중 분포하며, 비교적 넓은 수온 범위에서 분포함이 알려져 있다(박, 1956, 김, 1984; 이, 1989; Park et al., 1998). 대한해협에서의 출현량이 20~30개체/m³인데 반해(이 등, 1999) 본 연구 지역에서는 약 50~200개체/m³로 출현량이 증가하고, 많은 양이 출현한 곳이 냉수대의 분포와 잘 일치하였다. 이것은 연안역에서 용승 작용으로 수온은 하강하나, 영양염과 식물플랑크톤의 양, 작은 입자들의 증가가 있어(오, 1998; Kim, 2002) 이 종의 분포 조건이 좋아졌다고 할 수 있겠다. 결국, 수온에 대한 내성 범위가 넓다는 점에서 이 종의 분포에 수온이 절대적인 영향을 주지는 않는 것으로 판단해 볼 수 있다.

용승해역에서 동물플랑크톤의 먹이생물인 식물플랑크톤의 변화는 용승 발생 약 3일 후에 발생한다. 따라서, 용승 지속시간이 너무 짧을 경우 저층에서 올라온 영양염은 주변의 빈영양(Oligotrophic)해역과 빠르게 섞여 연안역의 식물플랑크톤이 증가하지 않을 수 있다(Furuya et al., 1986). 이같은 사실을 고려하여 2001년 7월 중순부터 8월 초순 사이에 발생한 바람의 방향과 풍속(3.8~4.1 m/sec)과 지속시간(5~6일)을 살펴본 결과, 용승해역에서 영양염 증가로 인해 식물플랑크톤이 충분히 증가하였을 것으로 판단할 수 있었다.

집괴분석을 통한 군집분석 결과, 한 그룹은 연안역과 외양역 모두에서 출현한 그룹이었고, 다른 한 그룹은 외양역보다는 연안역에 밀집된 분포를 보인 그룹이었다. 이러한 분류는 연안 용승이 일부 종류의 밀집을 야기하는 것으로 이해하게 한다. 본 연구 지역은 용승 다발지역으로 인식되는데, 용승으로 인하여 수온이 하강하고 염분이 상승하는 물리적 변화 외에도 영양염, 클로로필,

POC(입자태 유기탄소), PON(입자태 유기질소) 등이 증가한다(Yang et al., 1998; Kim, 2002). 이로 인해 식물플랑크톤 등 작은 유기입자가 증가하면 이를 먹이로 하는 많은 동물플랑크톤이 밀집되어 나타날 것이며, 식물플랑크톤의 우점종 변화(Furuya et al., 1986; Kim, 2002)도 동물플랑크톤의 분포에 영향을 미칠 것이다. 따라서, 수온과 분포량의 관계에 유의성이 낮다는 점에서 수온과 같은 물리적 특성보다는 이러한 먹이의 증가가 이 지역 동물플랑크톤 분포를 결정짓는 주요 요인이 될 것으로 보인다.

사 사

본 연구는 교육인적자원부 지원(과제번호 1988-005-H00475)에 의해 이루어졌음. 본 연구를 위해 노력해준 부경대학교 해양탐사선(선장 교수 김정창) 선원 여러분께 고마움을 표합니다.

참고문헌

- 국립수산진흥원, 1987. 동해 남부해역의 냉수현상에 관한 종합연구. 70: 201 pp.
- 국립수산진흥원, 1996. 1991-1995년도 한국근해수온분포도.
- 국립수산진흥원, 1997. 1996년도 한국근해수온분포도. 277 pp.
- 국립수산진흥원, 1998. 1997년도 한국근해수온분포도. 233 pp.
- 김용서, 1984. 광양만 동물플랑크톤의 생태적 연구. 서울대학교 이학석사학위 논문. 76 pp.
- 박정길, 1978. 한국 동해안 냉수괴의 해양화학적 고찰. 한국수산학회지, 11: 49-54.
- 박 철, 이창래, 김정창, 1998. 동해 전선역 동물플랑크톤 군집: 2. 수온과 분포의 관계. 한국수산학회지, 31: 749-759.
- 박태수, 1956. 대한해협에 있어서 Plankton의 계절적 변화에 관하여. 부산수산대학연구보고. 1: 1-12.
- 양한섭, 김평중, 이재철, 문창호, 1994. Ra동위체로 본 하계 동해 남부 연안해역에 출현하는 10°C이하 냉수괴의 기원. 한국수산학회지, 27: 404-412.
- 오석진, 1998. 동해에서 입자태 유기탄소 및 유기질소의 분포특성. 부경대학교 이학석사학위논문. 87 pp.
- 이원철, 1989. 마산만의 요각류 군집에 대한 생태학적 연구. 한양대학교 이학석사학위논문. 60 pp.
- 이준호, 2000. 1997년 하계 한국 남동 해역의 연안 용승. 부경대학교 이학석사학위논문. 46 pp.
- 이창래, 이평강, 박철, 1999. 대한해협 부유성 요각류의 계절별 수직분포. 한국수산학회지, 32: 525-533.
- An, H.S., 1974. On the cold water mass around the southeast coast of Korean peninsula. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 9: 10-18.
- Bainbridge, V., 1958. Some observation on *Evadne nordmanni* Loven. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 37: 349-370.
- Byun S.K., 1989. Sea surface cold water near the southeastern coast of Korea: Wind Effect. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 24: 121-131.
- Conover, R.J., 1978. Transformation of organic matter, In: Marine Ecology. Vol. IV. Dynamics. John Wiley & Sons, edited by Kinne, O., New York. pp. 221-499.
- Furuya, K., M. Takahashi and T. Nemoto, 1986. Summer phytoplankton community structure and growth in a regional upwelling area off Hachijo Island, Japan. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 96: 43-55.

- Gong, Y. and C.K. Park, 1969. On the oceanographical character of the low temperature region in the eastern sea of Korea. *Bull. Nat'l Fish. Res. Dev. Ag. Korea*, **4**: 69-91.
- Gore, M.A., 1980. Feeding experiments on *Penilia avirostris* Dana (Cladocera: Crustacea). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **44**: 253-260.
- Hahn, S.D., Y.S. Suh and Y.H. Ahn, 1995. Mapping cold water zone and warning service for aquaculture groups at the southeastern coast of Korean peninsula. In: Proceeding of International Symposium on Remote Sensing, 11th Fall Symposium of KSRS., pp. 67-74.
- Kim, C.H. and K. Kim, 1983. Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **18**: 73-83.
- Kim, Y.N., 2002. Size fractionation and flow cytometric analysis of phytoplankton with changes in upwelling event off Gampo, Korea. M. sc. Thesis, Pukyong National University, Busan, 82 pp.
- Lee, J.C., 1983. Variations of sea level and sea surface temperature associated wind-induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **20**: 6-19.
- Lee, J.C. and W. Chung, 1981. On the seasonal variations of surface current in the eastern sea of Korea (August 1979 April 1980). *J. Oceanol. Soc. Korea*, **16**: 1-11.
- Lee, J.C. and J.Y. Na, 1985. Structure of upwelling off the southeast coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **20**: 6-19.
- Lee, K.B., 1978. Study on the coastal cold water near Ulsan. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **13**: 5-10.
- Lee, T.S. and I. N. Kim, 2003. Chemical imprints of the upwelled waters off the coast of the southern east of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **38**: 101-110.
- Lim, D.B. and S.D. Chang, 1969. On the cold water mass on the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **4**: 71-82.
- Onbe, T., 1977. The biology of marine cladocerans in warm temperature water. In: proceedings of a Symposium on Warm Water Zooplankton. Publicacao Especial, UNESCO/National Institute of Oceanography, Goa, pp. 383-393.
- Park C., P.G. Lee, and C.R. Lee, 1998. Seasonal variation in abundance, species occurrence and species diversity of zooplankton in Asan Bay, the Yellow Sea over the last eight years. *The Yellow Sea*, **4**: 40-48.
- Pavlova, E.V., 1959. (On grazing by *Penilia avirostris*). *Akad. Nauk. Ukr. SSR, Trudy Sevastopol'skoi Biol. Stant.*, **11**: 63-71 (in Russian). *Fish. Res. Bd Can., Trans. Ser. 967*, 1968 (English translation).
- Peterson, W., 1998. Life cycle strategies of copepods in coastal upwelling zones. *J. Mar. Syst.*, **15**: 313-326.
- Ramirez, F.C. and G.M. Perez Seijas, 1985. New data on the ecology distribution of cladocerans and first local observations on reproduction of *Evadne nordmanni* and *Podon intermedius* (Crustacea, Cladocera) in Argentine Sea waters. *Physis A*, **43**: 131-143.
- Ramner, W., 1934. Die Cladoceran der 'Meteor' Expedition. *Wiss. Ergbn. Deutsch. Atl. Exped. 'Meteor'*, **12**: 111-121.
- Seung, Y.H., 1974. A dynamic consideration on the temperature distribution in the east coast of Korea in August. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **9**: 52-58.
- Shim, J.H., 1982. Plankton distribution in the southeastern sea of Korean in September, 1981. In: Oceanographic studies on the southeastern sea of Korea, edited by Shim, J.H. et al., Res. Inst. for Basic Sci., Seoul National University, pp. 41-85.
- Shim, J.H. and S. Bak, 1983. A biological oceanographic study on the southeastern waters of Korean East Sea. In: Oceanographic study on the southeastern waters of Korean East Sea, edited by Shim, J.H. et al., Res. Inst. for Basic Sci., Seoul National University, RIBS-ED-82-507, pp. 101-167.
- Shim, J.H. and T.S. Lee, 1986. Studies of the plankton in the south western waters of the East Sea (Sea of Japan) III, Zooplankton-standing stock, composition and distribution. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **21**: 146-155.
- 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.
- Yang, H.S., S.J. Oh, H.P. Lee, C.H. Moon, M.S. Han, B.K. Kim, 1998. Distribution of particulate organic matter in the Gampo upwelling area of the southwestern East Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **33**: 157-167.

2003년 10월 16일 원고접수

2004년 2월 26일 수정본 채택

담당편집위원: 서해립