

월성원자력발전소 주변 해역 동물플랑크톤의 군집 특성

김미향* · 문형태¹ · 신상희 · 손명백 · 변주영¹ · 최휴창¹ · 손민호

해양생태기술연구소, ¹한국수력원자력

Characteristics of Zooplankton Community in the Coastal Waters of Wolseong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea

Mi Hyang Kim*, Hyung Tae Moon¹, Sang Hee Shin, Myung Baek Shon, Ju Young Byun¹, Hue Chang Choi¹ and Min Ho Son

Marine Eco-Technology Institute Co., Ltd., 485-1 Yongdang, Namgu, Busan 608-830, Korea

¹Korea Hydro and Nuclear Power Co., Ltd., 411 Yeong Dongdae-ro, Gangnam-gu, Seoul 135-781, Korea

Abstract – A total of 63 taxa was identified with a mean abundance of total zooplankton ranging from 85~28,087 indiv. m⁻³. Cluster and nMDS analysis showed that the study sites could be divided into two regions: North and East part of the sampling area (group A) and South part of the sampling area (group B). The number of taxa and species varied significantly among the two regions (ANOVA, p<0.05). The pattern of the spatio-temporal distribution of the zooplankton community in the coastal waters around the Wolseong Nuclear Power Plant is affected by the variations of seasonal water temperature. However, zooplankton community were no significant between the water temperature and heated discharge.

Key words : zooplankton community, spatio-temporal distribution, power plant

서 론

원자력발전소의 가동을 위해서는 필연적으로 많은 양의 냉각수를 필요로 하게 되며, 발전소 운용의 산물로 필수불가결하게 온배수를 주변 해역으로 방출하게 된다. 일반적으로 온대 해역에서는 발전소 냉각기 가동에 따른 주변 해역의 수온 상승은 8~12°C로 보고되고 있으며 (Bamber and Seaby 2004; Hoffmeyer *et al.* 2005), 이는 주변 해역에 분포하는 해양생물들에게 직·간접적으로 영향을 미치게 된다 (Wolff 1990; Chou *et al.* 1981; Melton and Serviss 2000). 그러나, 현재까지 원자력발전소 주변의 해

양생물에 대한 연구로는 해조류 식생 및 식물플랑크톤에 대한 연구가 일부 수행되고 있을 뿐, 동물플랑크톤에 대한 연구는 미비한 실정이다 (심과 여 1992; 김과 최 1998; 엄과 강 1998).

본 조사가 이루어진 월성원자력발전소의 경우, 1983년 1호기 가동 이후 현재 2, 3, 4호기가 가동 중에 있으며, 신월성 1, 2호기가 추가 준공할 계획에 있다. 따라서, 원자력발전소 가동으로 인하여 주변 해양생태계에 지속적인 영향을 미쳤을 것으로 예측되나, 월성원자력발전소 인근 해양생태계에 대한 연구는 미비한 실정이다.

특히 동물플랑크톤의 경우, 해양생태계에서 에너지 및 영양염의 순환에 있어서 일차생산자와 상위단계 소비자를 연결하는 중요한 중간자의 역할을 하고 있지만 (De-Young *et al.* 2004), 월성원자력발전소 주변 해역에 서식하

* Corresponding author: Mi Hyang Kim, Tel. 051-611-6200, Fax. 051-611-0588, E-mail. mhkim@marine-eco.co.kr

는 동물플랑크톤에 대한 연구는 현재까지 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 월성원자력발전소 주변해역 동물플랑크톤의 종 조성, 출현 개체수 및 군집 구조를 파악하고, 원자력발전소의 지속적인 가동이 동물플랑크톤 군집에 미치는 영향 유무를 파악하고자 한다.

재료 및 방법

동물플랑크톤 채집은 경상북도 나아리에 위치한 월성원자력발전소 주변 해역에서 2007년 10월부터 2008년 7월까지 계절별로 총 4회에 걸쳐 15개 조사 정점을 대상으로 실시하였다(Fig. 1). 생물채집과 동시에 동물플랑크톤 출현양상에 중요한 영향을 미칠 것으로 판단되는 수온과 염분을 다기능수질측정기(YSI-3300)를 이용하여 측정하였다. 동물플랑크톤 채집은 NORPAC 넷(망목 200 μm , 구경 45 cm)로 저층에서 표층까지 수직으로 채집하였으며, 정량분석을 위하여 넷 입구에 유속계(Hydro-Bios)를 장착하였다. 채집된 시료는 즉시 선상에서 중성포르말린을 사용하여 최종농도 7%로 고정하였다. 시료 분석시 분할이 필요할 경우, 동물플랑크톤 분할기(Folsom plankton splitter)로 우점종의 밀도가 약 100개체 이상 계수될 정도로 분할한 후, 해부현미경(OLYMPUS SZ-51) 하에서 대분류하였다. 또한, 종이나 개체 크기에 따라 필요할 경우 고배율 광학현미경(OLYMPUS CX-31)을 이용하여 가능한 중 수준까지 동정 및 분석하였다(UNESCO 1979). 자료는 단위 체적당 개체수(indiv. m^{-3})로 환산하였다.

동물플랑크톤의 각 정점별 생태환경 분석을 위한 지표로서 종 다양성 지수 H' (Shannon and Weaver 1949), 종 풍부도 지수 R (Margalef 1958)와 균등도 지수 J (Pielou, 1977)를 구하였다. 계절에 따른 정점별 종 조성과 그에 따른 해역별 유사도 측정을 위해 Bray and Curtis(1957)의 지수를 이용하였다. 유사도 지수 행렬로부터 각 조사 정점과 출현 종을 연결하는 방법으로는 group-average를 이용하였다. 군집분석은 PRIMER (Plymouth Routines Multivariate Ecological Research) computer package를 이용하여 수지도(dendrogram)와 다차원배열법(nMDS)으로 나타내었다(Clarke 1993). 분석에서는 소수 출현종에 의한 유사도지수의 과대평가를 낮추기 위해 출현빈도가 0.5% 이상인 우점종을 선정하였고, 자료는 sqrt-root로 변환하였다. 또한, 각 해역에 출현하는 종수, 개체수 및 환경요인과의 유의한 차이를 파악하기 위하여 변이(variance)의 동질성을 판단한 후, 일원일차분산분석(one-Way ANOVA

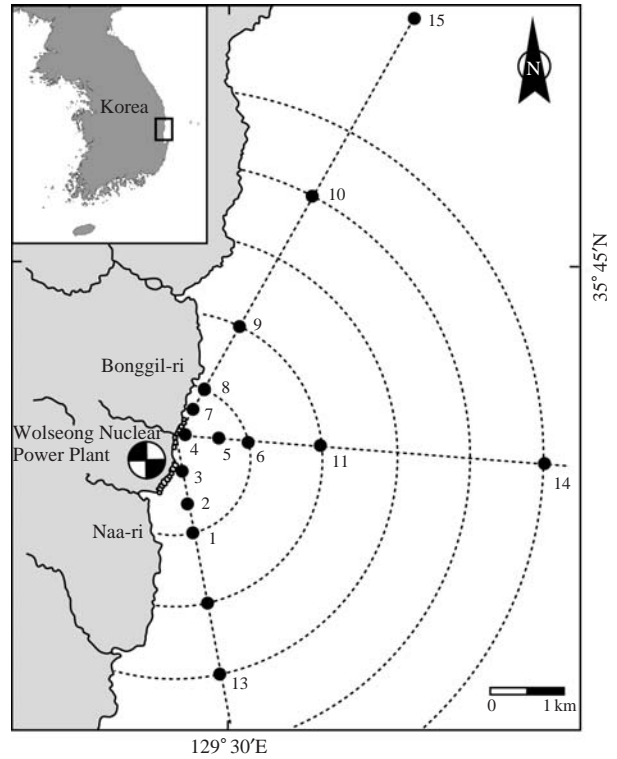


Fig. 1. Map showing the sampling sites around the Wolseong Nuclear Power Plant, Korea from October 2007 to August 2008.

test)을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 환경요인

연구 해역의 계절별 수온 분포는 12.8~30.0°C의 범위로 월 평균 수온은 1월에 가장 낮았고, 8월에 가장 높았다(Fig. 2a). 월성원자력발전소에서 배출되는 온배수의 직접적인 영향을 받을 것으로 예상되는 반경 1 km 내의 정점들과 1 km 외곽 정점들의 수온 변화 양상을 살펴보면, 2007년 10월, 2008년 1월과 5월은 발전소 인근해역 정점들에서 수온이 약간 높았으며, 2008년 8월은 오히려 외곽 정점들에서 수온이 상대적으로 높게 나타났다. 그러나, 수온은 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($P > 0.05$). 일반적으로 온대해역에서 원자력발전소 주변의 수온은 평균 8~12°C 정도 증가한다고 보고되고 있으며(Bamber 1995; 노 등 1997; Hoffmeyer *et al.* 2005), 본 해역에서 측정된 결과에서도 2008년도의 경우, 계절별로 차이는 있었으나, 취수구와 배수구의 수온 차이가 4.7~5.5°C의 차이가 있는 것으로 보고되었다(한국전력

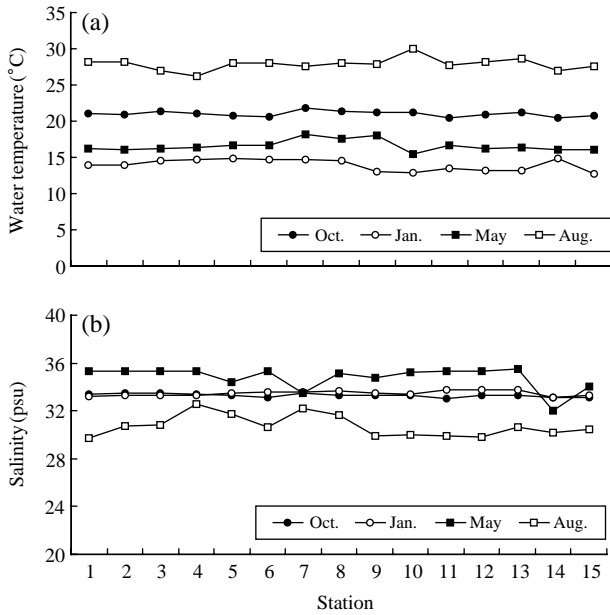


Fig. 2. Spatio-temporal variations of water temperature (a) and salinity (b) around the Wolsong Nuclear Power Plant.

공사 2009). 그러나, 이러한 결과는 취수구와 배수구에서 직접 배출되는 해수의 수온을 측정된 값들로, 발전소 냉각기 계통을 통과하고 나온 해수는 배수구로부터 일정 거리가 떨어질 경우 주변 해수와 섞이면서 급속도로 수온이 감소하게 된다. 2008년 월성원자력발전소 인근해역에서 발전소 온배수 배출로 인하여 주변 자연해수의 수온이 1°C 이상 상승한 해역은 계절별로 차이는 있었으나, 공간적으로 발전소 반경 1.0~3.0 km 범위로 제한되었다(한국전력공사 2009).

한편 계절별 평균 염분 농도 분포는 29.8~33.9 psu의 범위였으며 하계인 8월에 집중 호우에 따른 담수의 유입으로 평균 30.7±0.9 psu의 낮은 염분 구배를 형성하였으나, 그 외 시기에는 33.4±0.4 psu를 유지하였다(Fig. 2b).

2. 동물플랑크톤 종 구성과 출현 개체수

연구 해역에서 출현한 동물플랑크톤의 출현종은 종수준까지 동정이 가능한 32종을 포함하여 총 63종이 출현하였다. 이 중 요각류가 32종이 출현하여 전체의 50.8%를 차지하는 최우점 분류군으로 나타났다(Table 1). 출현 개체수는 85~28,087개체 m⁻³의 범위로 출현하였으며, 평균 개체수는 8,517개체 m⁻³였다. 1월에 1,670개체 m⁻³로 가장 적었고, 5월에 14,968개체 m⁻³로 가장 많았다.

계절별 출현양상을 보면, 10월에 평균 5,631개체 m⁻³가 출현하였으며, 이 중 요각류가 평균 3,845개체 m⁻³가 출현하여 전체 출현빈도의 68.3%를 차지하였다. 다음으로

Table 1. List of zooplankton occurred in the study area

<i>Noctiluca scintillans</i>	<i>Corycaeus longistylis</i>
	<i>Corycaeus</i> spp.
Ctenophora	<i>Oithona</i> spp.
Siphonophora	<i>Oncaea</i> spp.
Hydromedusa	<i>Euterpina acutifrons</i>
	<i>Clytemnestra scutellata</i>
<i>Evadne nordmanni</i>	
<i>Evadne tergestina</i>	Hyperiidea
<i>Penilia avirostris</i>	Gammaridea
<i>Podon</i> spp.	
	Euphausiacea egg
Ostracoda	
	Mysidacea
<i>Acartia omorii</i>	
<i>Acartia negligens</i>	<i>Sagitta enflata</i>
<i>Acartia pacifica</i>	<i>Sagitta</i> spp.
<i>Acartia erythrea</i>	
<i>Acrocalanus gibber</i>	<i>Oikopleura</i> spp.
<i>Candacia longimana</i>	Doliolidae spp.
<i>Canthocalanus pauper</i>	Salpidae spp.
<i>Calanus sinicus</i>	
<i>Centropages furcatus</i>	Fish egg
<i>Centropages tenuiremis</i>	
<i>Clausocalanus</i> sp.	Polychaeta larvae
<i>Ctenocalanus vanus</i>	Polychaeta trochophores
<i>Eucalanus crassus</i>	Bivalvia larvae
<i>Eucalanus subcrassus</i>	Gastropoda larvae
<i>Eucalanus subtenius</i>	
<i>Labidocera rotunda</i>	Cirriped nauplii and cypris
<i>Paraeuchaeta plana</i>	
<i>Paracalanus aculeatus</i>	Anomura larvae
<i>Paracalanus</i> sp.	Brachyura larvae
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Macrura larvae
<i>Undinula vulgaris</i>	Euphausiacea larvae
<i>Temora discaudata</i>	
<i>Hemicyclops japonicus</i>	Echinodermata larvae
<i>Microsetella norvegica</i>	
<i>Mecynocera clausi</i>	Tadpole larvae
<i>Corycaeus affinis</i>	Fish larvae

Oikopleura spp.를 포함하는 척삭동물문(phylum Chordata)이 평균 1,275개체 m⁻³ 출현하여 전체 출현밀도의 22.6%를 차지하는 차우점 분류군이었다(Fig. 3a). 1월에는 평균 1,670개체 m⁻³가 출현하였고, 10월과 동일하게 요각류가 평균 1,445개체 m⁻³의 밀도를 나타내어 전체의 86.5%를 차지하는 최우점 분류군으로 나타났다(Fig. 3b). 우점종에 있어서는 요각류인 *Paracalanus* sp.와 *Oithona* spp.가 각각 평균 669개체 m⁻³와 344개체 m⁻³가 출현하여 40.0%와 20.5%를 차지하는 우점 분류군으로 나타났다. 5월에는 평균 14,968개체 m⁻³가 출현하였고, 이 가운데 요각류가 평균 10,766개체 m⁻³ 출현하여 전체 71.9%를 차지하는 최우점 분류군이었다(Fig. 3c). 우점종은 1월 조사 결과와 동일하게 *Paracalanus* sp.와 *Oithona* spp.가 각각 평균 4,088개체 m⁻³와 2,173개체 m⁻³의 밀도를 나타내어 27.3%와 14.5%의 높은 점유율을 나타내었다. 8월에는 평

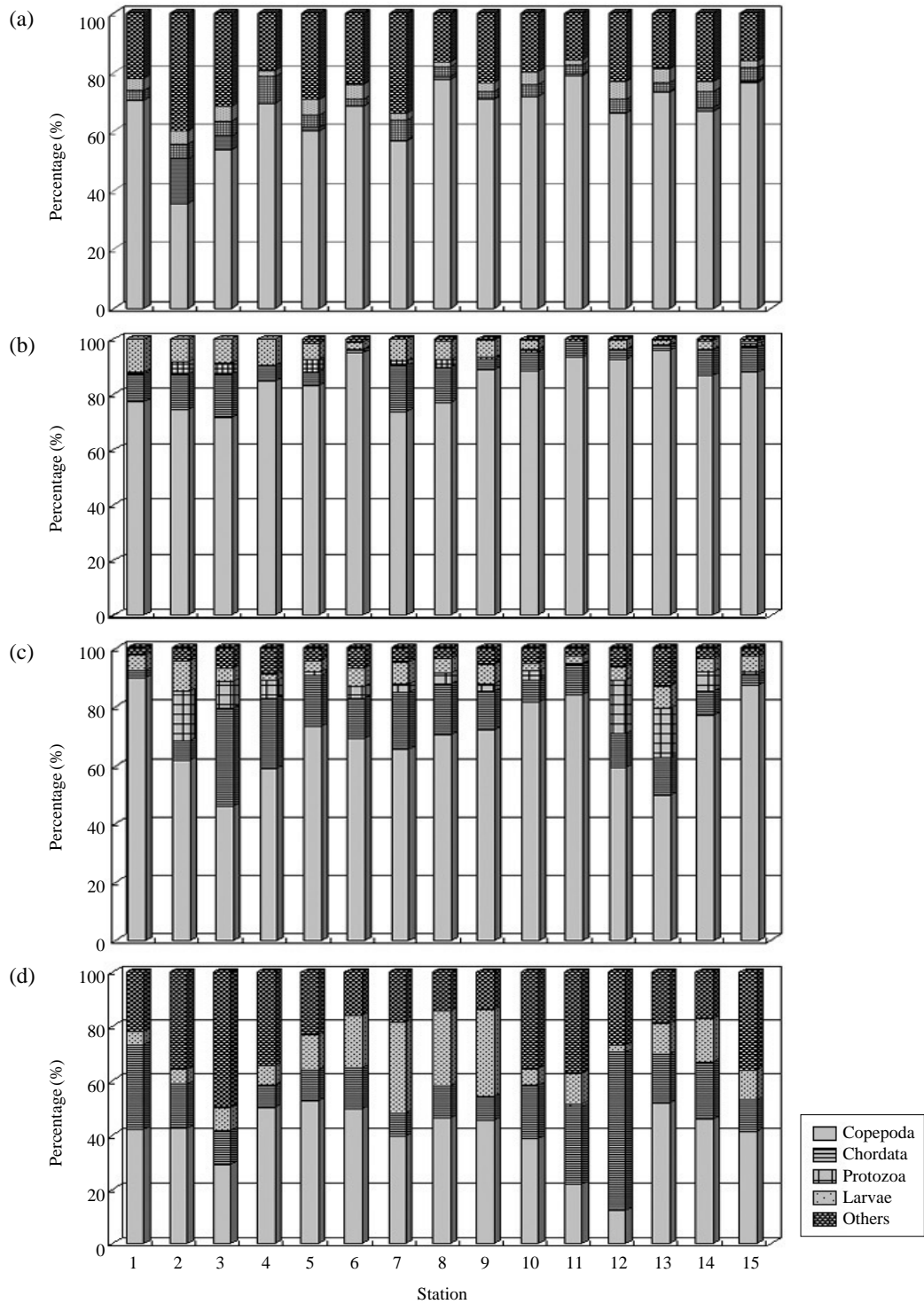


Fig. 3. Seasonal composition (%) of major zooplankton groups around the Wolsong Nuclear Power Plant from October 2007 to August 2008: (a): October, 2007; (b): January, 2008; (c): May, 2008; (d): August, 2008.

군 11,799개체 m^{-3} 가 출현하였으며, 다른 시기와 동일하게 요각류가 평균 5,344개체 m^{-3} 가 출현하여 45.3%를 차지하는 최우점 분류군으로 나타났다(Fig. 3d). 그러나, 우

점중에 있어서는 *Paracalanus* sp.의 출현비율이 3,041개체 m^{-3} 의 밀도로 비교적 많았고, 이 외에 지각류인 *Podon* sp.와 *Evadne tergestina*가 2,115개체 m^{-3} 출현하여 차우점

분류군으로 나타났다.

이상에서와 같이 본 연구기간 동안 출현한 동물플랑크톤은 총 63종, 평균 8,517개체 m⁻³였다. 이러한 결과는 인근 해역에서 수행된 이 등(2004)의 195종, 204개체 m⁻³, Shim and Lee(1986)의 123종, 538개체 m⁻³와 비교해 출현 종 수는 상대적으로 적었으나, 출현 개체수에 있어서는 월등히 많아 차이가 있었다. 그러나, 앞선 연구들이 본 조사지역을 포함하여 비교적 외해쪽으로 조사 범위가 확대되어 있는 점을 감안할 때, 이와 같은 결과의 차이는 월성원자력발전소 가동에 따른 영향이라기보다는 개별 연구 수행 당시의 채집방법 차이 혹은 범위의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 또한, 이러한 결과는 온대 연안 수역의 동물플랑크톤 군집은 낮은 종 다양도와 높은 개체수가 출현하는 특징을 보인다는 결과와도 일치하고 있다(Kimmerer 1993).

한편 본 연구에서 높은 밀도로 출현하는 동물플랑크톤은 우리나라 동해안에서 전형적으로 채집되는 동물플랑크톤의 출현양상과 일치하고 있다. 본 연구해역의 전 조사 기간을 통해 우점적으로 출현하고 있는 *Paracalanus* sp.는 범세계 난수종으로 알려져 있으며, 본 종의 최적 수온은 15°C 이상으로 여겨지고 있으나 우리나라에서는 년중 분포하며, 생물·생태학적으로 비교적 넓은 수온 범위에 걸쳐 분포함이 알려져 있어(박 등 1998; 이 등 2004), 본 조사 결과와도 일치하고 있다. 또한, 10월에 모든 정점에서 30.0% 이상을 차지하는 *Oikopleura* sp.는 계절적으로 고수온기에 외해에서 유입되어 대량 증가를 보이다가 저수온기가 되면 다른 장소로 이동하는 것으로 알려져 있다(윤과 최 2003). 본 연구에서도 수온이 상승하는 5월, 8월 및 10월에 개체수가 증가하다가 수온이 하강하는 1월에는 그 개체수가 감소하는 경향을 나타내었다. 이 외에 지각류 *Podon* spp.와 *Evadne tergestina*는 주로 수온이 따뜻한 시기에 연안에서 처너생식을 통해 급격히 개체수가 증가한다고 알려져 있는 종으로 본 연구에서도 8월에 밀도가 가장 높아 결과가 일치하였다(Longhurst and Seilbert 1972; 이 등 2004).

3. 군집분석

동물플랑크톤의 각 정점별 생태환경을 분석하기 위해서, 동물플랑크톤의 출현 개체수 자료를 기초로 하여 종 풍부도, 종 다양도 및 균등도 지수를 산출하였다(Fig. 4). 분석 결과, 종 풍부도는 조사 기간 동안 평균 2.8±0.7의 수치를 나타내었고, 종 다양도와 균등도는 각각 평균 2.4±0.2와 0.7±0.1로 본 해역에서 출현한 동물플랑크톤 군집의 생태학적 제 지수는 전반적으로 계절 및 정점에 따

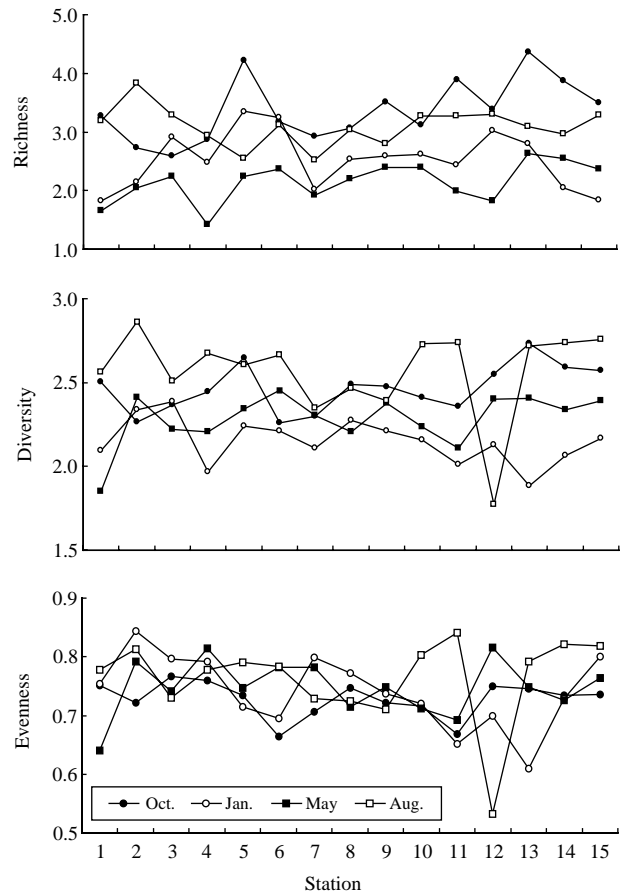


Fig. 4. Spatio-temporal variation of ecological indices (richness, diversity and evenness) of zooplankton assemblages around the Wolsong Nuclear Power Plant.

라 시·공간적으로 차이가 크지 않았다. 계절에 따라 10월에 종 풍부도가 3.4±0.2로 가장 높았으며, 취수구 인근에 위치한 정점 3에서 2.6으로 가장 낮아 특징적이었다. 종 다양도는 비교적 월성원자력발전소 인근의 정점 2, 6, 7에서 2.3의 값을 나타내 낮았다. 1월에는 종 풍부도가 2.5±0.5로 남쪽에 위치한 정점 1과 2에서 1.8~2.1 범위로 비교적 낮았다. 종 다양도는 2.1±0.1로 가장 낮았으며, 비교적 외곽 정점인 정점 13에서 1.9가 산출되어 비교적 낮았다. 5월에 종 풍부도와 종 다양도는 각각 2.1±0.3과 2.3±0.2의 값을 보였다. 이 중, 종 풍부도는 배수구 인근의 정점 4에서 1.4로 가장 낮았고, 종 다양도는 정점 1에서 1.9로 비교적 낮게 나타났다. 8월에는 조사기간 중 종 다양도가 가장 높았던 시기로 종 다양도는 2.6±0.2, 종 풍부도 3.1±0.3의 수치를 보였다. 정점별로 종 다양도는 비교적 외곽 정점인 정점 12에서 1.8로 가장 낮았고, 배수구 정점으로부터 북쪽에 위치한 정점 7에서 종 풍부도가 2.5로 가장 높았다.

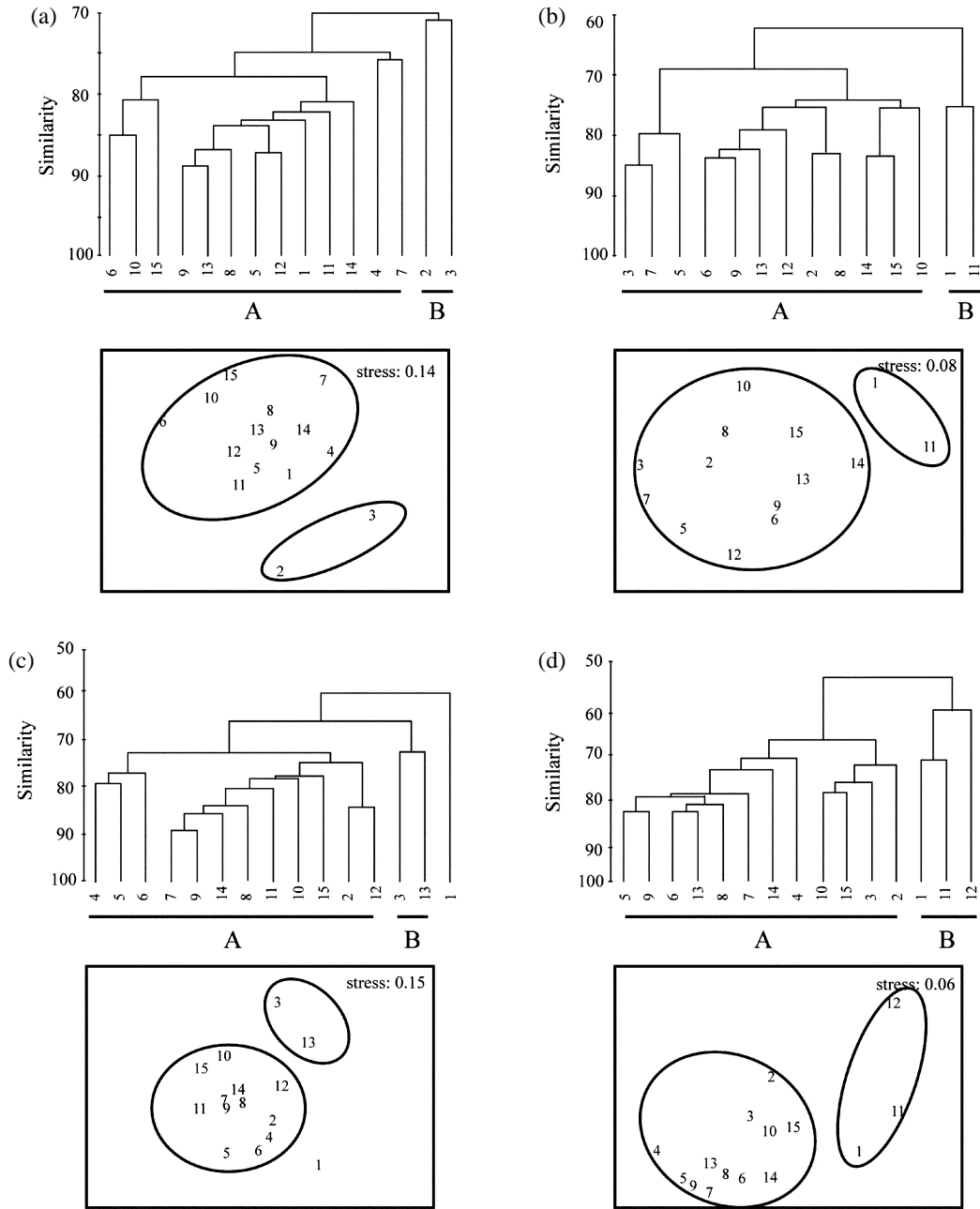


Fig. 5. Dendrogram for hierarchical clustering and 2-dimensional nMDS configuration, using group-average linkage by Bray-Curtis similarities calculated on quart-root transformed abundance data (a): October, 2007; (b): January, 2008; (c): May, 2008; (d): August, 2008.

종 다양도는 주변 해역 생태계의 물리적 환경이 안정되고 생물요인에 의해 조절되는 군집에서 일반적으로 높으며, 반대로 환경이 불안정하고 물리적 요인에 의해 조절되는 군집에서 낮은 경향이 있다(Sanders 1968; 홍 등 1994). 이것으로 유추해 볼 때, 본 연구해역은 수온이 상승하는 여름철에 수온 등의 물리적 환경이 다른 시기와 비교해 안정되고, 특히 수온이 상승하는 시기에 우점하는 생물군집의 생태적 특성 등에 의해 군집도 유지되었

을 것으로 추정된다. 그러나, 수온이 하강하는 겨울철에는 생물군집의 생태적 특성보다는 수괴의 계절변동 특성이나 동해안의 특징인 강한 바람과 파랑 등의 여러 가지 수리·물리적인 요인에 의해 생물군집이 유지되었을 것으로 볼 수 있다.

연구해역에 서식하는 동물플랑크톤 군집의 구조를 분석한 결과, 조사 시기별로 다소 차이는 있었으나 크게 2개의 정점군으로 구분되었다(Fig. 5). 즉, 월성원자력발전

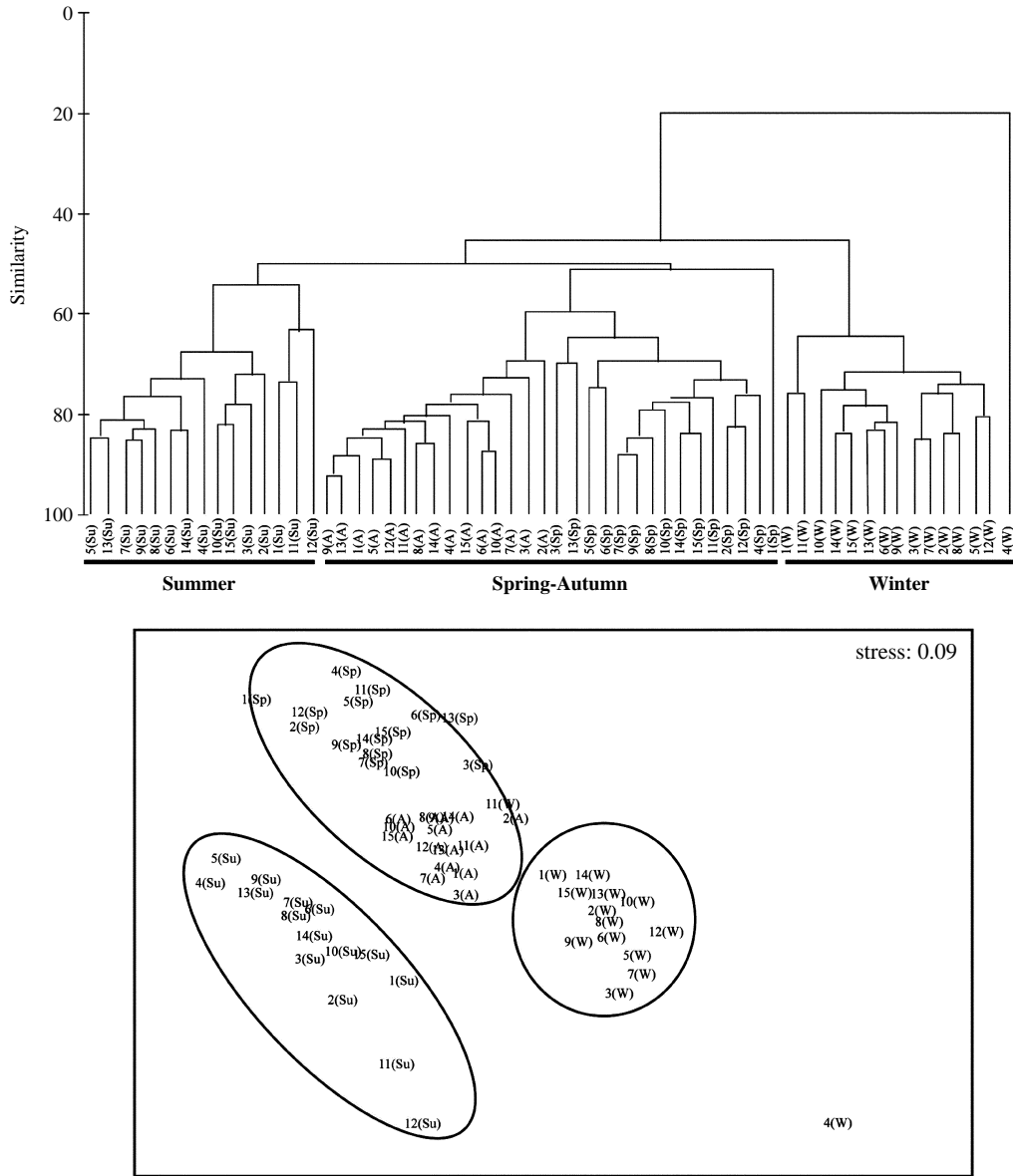


Fig. 6. Dendrogram for hierarchical clustering and 2-dimensional nMDS configuration, using group-average linkage by Bray-Curtis similarities calculated on sqrt-root transformed abundance data from October, 2007 to August, 2008.

소 배수구를 중심으로 북쪽과 동쪽에 위치한 정점 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 15가 하나의 정점군(그룹 A)으로, 취수구를 중심으로 남쪽에 위치한 정점 1, 2, 3, 11, 12, 13이 또 다른 하나의 정점군(그룹 B)으로 나뉘어졌다. 일원일차분산분석을 통해서 그룹분리의 차이를 검정한 결과, 계절에 따라서는 10월은 출현 종수가, 그 밖의 시기인 1월, 5월과 8월은 개체수가 영향을 미친 것으로 파악되었다($p < 0.05$). 반면, 출현 종수 및 개체수를 제외한 환경요인(수온, 염분)과는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 노 등(1997)은 고리원자력발전소 주변 해

역 동물플랑크톤의 현존량과 수온이 배수역을 포함하여 반경 1km 이내의 정점에서 비교적 높은 음의 상관관계를 보였고, 이것은 온배수 배출이 동물플랑크톤 군집에 생태·생리적 압박을 가한 것으로 판단하였다. 그러나, 월성원자력발전소 인근 해역의 분포양상은 취수구로부터 남쪽에 위치한 정점들이 출현 개체수에 따라 일부 그룹이 나뉘어지나, 수온이나 염분 등 환경 요인과는 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 한편, 이 등(2004)은 냉수 출현과 동물플랑크톤 분포 연구에서 냉수대 출현으로 인하여 조사해역에 큰 수온 변동이 발생하였음에도

불구하고 수온과 동물플랑크톤 분포와의 관계가 없었으며, 이것은 결국 수온과 같은 물리적 환경요인보다는 먹이 조건이 동물플랑크톤 분포를 결정짓는 주요 요인임을 보고한 바 있다. 이와 같이 본 연구에서도 월성원자력발전소 주변 해역에 분포하는 동물플랑크톤은 발전소에서 배출되는 온배수에 영향을 받기 보다는 주변 해역에 존재하고 있는 기타 다른 요인(영양염, 먹이원 등)이 분포에 영향을 미쳤을 것으로 추정된다.

그러나, 본 연구 결과에서 동물플랑크톤 군집은 계절별 온도변화에 일정 부분 영향을 받고 있어, 12.8~14.9°C인 겨울군집, 15.5~21.9°C의 봄-가을 군집 및 26.3~30.0°C인 여름 군집의 3개의 군집으로 구분되었다(Fig. 6). 따라서, 향후 수온 등을 포함하여 다양한 물리적 환경요인의 정밀한 조사와 함께 생물간 상호작용에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

적 요

월성원자력발전소 주변해역에서 출현한 동물플랑크톤은 중 수준까지 동정이 가능한 32종을 포함하여, 총 63종과 85~28,087개체 m⁻³ 범위였다. 연구해역에 분포하는 동물플랑크톤 군집의 구조를 분석한 결과, 전반적으로 배수구를 중심으로 북쪽과 동쪽에 위치한 정점군(그룹 A)과 취수구 아래쪽 정점군(그룹 B)의 두 개의 그룹으로 구분되었다. 동물플랑크톤 군집의 분리는 10월에 출현 중수가, 그 밖의 시기인 1월, 5월 및 8월에는 개체수가 영향을 미친 것으로 파악되었다(p<0.05). 또한, 월성원자력발전소 주변해역에 서식하는 동물플랑크톤의 분포와 군집 구조는 전형적인 온대 해역에서 출현하는 동물플랑크톤의 출현양상과 유사하여, 계절적 수온에 영향을 받고 있었고, 군집구조도 이를 반영하여 크게 3개의 군집(겨울, 봄-가을, 여름)으로 구분되었다. 그러나, 일원일차분석 결과에서 동물플랑크톤 군집은 수온과 온배수에 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

사 사

본 연구는 한국수력원자력(주) 지원(과제번호 H07-S095-000호)에 의해 이루어졌음을 밝힌다.

참 고 문 헌

김영환, 최상일. 1998. 발전소 냉각계통이 해조식생에 미치는

영향. 한국조류학회지. 10:121-141.
 노 일, 윤성진, 허성희. 1997. 고리원자력발전소 온배수가 주변해역의 동물플랑크톤 분포에 미치는 영향. 한국환경과학회 학술발표회 초록집. 9-10.
 박 철, 이창래, 김정창. 1998. 동해 전선역 동물플랑크톤 군집: 2. 수온과 분포의 관계. 한수지. 5:749-759.
 심재형, 여환구. 1992. 한국 연안해역에 있어서 온배수 배출의 생태학적 영향. 2. 고리원자력발전소 냉각계통 통과에 따른 식물플랑크톤의 변화. 환경생물. 10:1-8.
 엄희문, 강영식. 1998. 한국산 내열종 해조류의 정성 정량적 분석. 1. 고리원자력발전소. 한국조류학회지. 13:213-226.
 윤석현, 최중기. 2003. 경기만 동물플랑크톤 군집의 시, 공간적 분포. 한국해양학회지. 8:243-250.
 이창래, 박 철, 문창호. 2004. 울산-감포 해역의 냉수 출현과 동물플랑크톤 분포. 한국해양학회지. 9:51-63.
 한국전력공사 전력연구원. 2009. 월성원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서(2008년보). 09전력연-단0151. 331pp.
 홍성윤, 마채우, 강영실. 1994. 부산항 해역의 지표성 요각류 분포 및 동물플랑크톤 군집. 한국해양학회지. 29:132-144.
 Bamber RN. 1995. The influence of rising background temperature on the effects of marine thermal effluents. J. Therm. Biol. 20:105-110.
 Bamber RN and RMH Seaby. 2004. The effects of power station entrainment passage on three marine thermal effluents. J. Therm. Biol. 20:105-110.
 Bray JR and JT Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. Ecol. Monogr. 27:325-349.
 Chou W, IP Murarka and RW Brocksen. 1981. Entrainment and impingement in power plant cooling systems. J. Water Pollution Cont. Fed. 53:965-973.
 Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Ausst. J. Ecol. 18:117-143.
 De-Young B, M Heath, F Werner, B Megrey and P Monfray. 2004. Challenges of medelingocean basin ecosystems. Science. 304:1, 463-1, 466.
 Hoffmeyer MS, F Biancalana and A Berasategui. 2005. Impact of a power plant cooling system on copepod and meroplankton survival (Bahía Blanca estuary, Argentina). Iheringia, Sér. Zool. 95:311-318.
 Kimmerer WJ. 1993. Distribution patterns of zooplankton in Tomales Bay, California. Estuaries. 16:254-272.
 Longhurst AR and DLR Seilbert. 1972. Oceanic distribution of *Evadne* in the eastern Pacific (Cladocera). Crustaceana. 22: 239-248.
 Margalef R. 1958. Diversidad de especies en las comunidades naturales. Publnes Inst. Biol. apl. Barcelona. 9:5-27.
 Melton BR and GM Serviss. 2000. Florida power Coporation-Anclote power plant entrainment survival of zooplankton.

- Environ. Sci. Policy. 3:233-248.
- Pielou EC. 1977. *Mathematical Ecology*. Wiley Company, New York. 164pp.
- Sanders HL. 1968. Marine benthic diversity: a comparative study. *Ame. Natural.* 102:243-282.
- Shannon CE and W Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. Illinois Press, Urbana. 125pp.
- Shim JH and TS 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.
- UNESCO. 1979. *Zooplankton sampling*. UNESCO Press, Paris. 174pp.
- Wolff WJ. 1990. Anthropogenic influences and management of estuaries. *Limnologica.* 20:153-156.

Manuscript Received: May 29, 2009
Revision Accepted: February 25, 2010
Responsible Editor: Ho Young Soh