

부산항 인접해역에 서식하는 동물플랑크톤의 군집분석과 체내에 농축된 중금속 함량 분석

김 창 섭¹⁾, 노 일²⁾
한국해양대학교 이공대학 해양공학과

Analyses of Community structure and Heavy Metal Concentrations in
Zooplankton occurred in the vicinity of Pusan Harbor, KOREA

Chang-sob Kim, Il Noh

Abstract

Quantitative zooplankton samples were collected by NORPAC-net with mesh aperture 333 μ m in order to analyze community structure and the concentrations of heavy metals in zooplankton in Pusan Harbor and Suyoung Bay in August, September, November of 1998. A total of 20 taxa (31 species) were identified from the 8 stations in the study area in September and 18 taxa (28 species) in November.

Zooplankton samples were carefully divided into a group (copepoda) and others (excluding copepoda), under dissecting microscope and then, analyzed for Cu, Cd, Zn and Pb concentrations by atomic absorption spectrophotometer (Varian SpectraAA 250).

Heavy metal concentrations in copepoda and others (excluding copepoda) were not significantly different from each other and concentration of Zn was the highest among the heavy metals in zooplankton samples.

The concentrations of Cu, Cd, Pb showed no distinct seasonal variation, however, concentration of Zn decreased from September to November, seemingly according to the life cycles of zooplankton community in the study area.

This study showed no significant heavy metal pollution in zooplankton occurred in the study area in comparison with the studies of other countries and no significant relationships between the metal concentrations and environmental factors.

1) 한국해양대학교 해양공학과 석사과정 해양공학 전공
2) 한국해양대학교 환경공학과 교수

I. 서론

해수 중에는 거의 모든 원소가 용존해 있다. 이 중에서 주성분을 포함하여 $50\mu\text{mol}/\ell$ 이상인 원소를 주원소(major element)라 하고, $50\mu\text{mol}/\ell$ 미만의 농도로 존재하는 원소를 소량원소(minor element)라 하는데, 총 용존화합성분(≒염분)의 0.01% 이하를 차지한다. 한편, $0.05\mu\text{mol}/\ell$ 이하의 농도를 갖는 성분을 미량원소(trace element)라고 분류하는데(이와양, 1998), 이 중에서 비중 6이상의 금속성분들을 총칭하여 중금속이라 한다. 중금속의 주요 유입원으로는 인간의 활동에 따른 연안유입, 연안에서의 자연활동(강으로부터의 유입, 침식 등)에 기인한 유입과 대기를 통한 유입, 심해의 화산활동으로 인한 유입 등이 있고, 극 지방의 빙하가 해빙되면서 그 속에 농축되어 있던 중금속이 해양환경으로 유입되기도 한다. 일단 유입된 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 아연(Zn), 납(Pb) 등의 중금속들은 확산과 농축의 원리에 의해 빠르게 해양 환경중으로 확산되고, 침전, 흡착, 해양생물체들에 의한 흡수 등에 의해 농도가 조절된다(Johnston, 1976).

환경 중에 존재하는 중금속들의 농도를 밝혀내는 방법에는 크게 ICP-MS, ICP-AES, INAA, PIXE 그리고 AAS 등의 방법들이 있다. 원자흡광광도법(AAS)은 시료를 적당한 방법으로 해리시켜 중성원자로 증기화시켜 생긴 바닥상태(Ground State)의 원자가 이 원자 증기층을 투과하는 특유 파장의 빛을 흡수하는 현상을 이용하여 광전측광과 같은 개개의 특유 파장에 대한 흡광도를 측정하여 시료중의 원소 농도를 정량하는 방법으로 시료중의 유해 금속 및 기타 원소의 분석에 적용한다(환경부, 1995).

최근 들어 국내에서도 해수와 퇴적물 그리고 굴과 진주담치와 같은 생물체를 이용,

중금속의 농도를 분석하거나, 혹은 중금속 오염 지표종으로서 이용하려는 연구가 대다수의 해역에서 활발히 진행되고 있다. 그러나, 우리가 섭취하는 어류의 먹이원이고 동시에 먹이사슬에서 2차 소비자 역할을 하고 있는 동물플랑크톤 체내의 미량금속들의 농도에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다. 하지만 어류의 먹이원으로서 섭이활동에 의해 어류의 간 또는 근육 등에 농축이 되는 중금속의 성질(Kiceniuk *et al.*, 1994)을 감안해 볼 때 동물플랑크톤 체내에 축적된 중금속 함량 분석에 대한 연구는 필수 불가결하다고 할 수 있다. 본 연구는 부산항 인접 해역에서 채집한 동물플랑크톤 군집을 분석하고 동시에 체내의 중금속 함량을 측정하여 국내에 서식하는 동물플랑크톤 군집의 중금속 오염에 대한 기초 자료를 제공하고 중금속 오염의 database를 확립하는 첫 단계로서의 의미가 있다.

II. 조사시기 및 조사해역

II-1. 조사시기

부산항 남항과 북항 그리고 광안리 앞바다의 8개 정점에서 채집한 동물플랑크톤에 대해 종조성 및 중금속 함량에 대한 분석을 하였다.

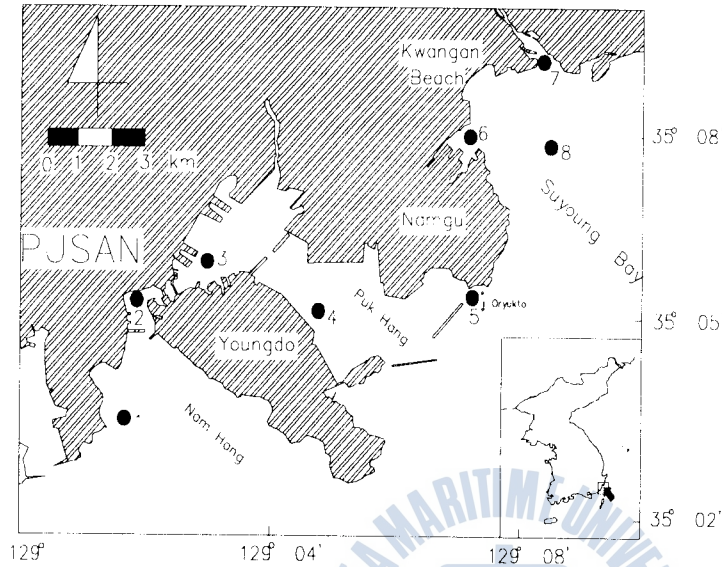
(1) '98년 8월 18일, 9월 15일, 11월 13일(해황 자료 수집)

(2) '98년 9월 15일, 11월 3일(동물플랑크톤 채집 및 중금속 분석)

II-2. 조사해역

연구 지역의 위도 및 경도는 GPS (Samyoung. Co., GPS-Plotter SGF-3000)를 이용하여 측정하였으며, 정점의 위치에 따라 부산항 남항에 위치한 정점1을 권역 I, 부산항 내항에 위치한 정점 2, 3을 권역 II, 부산항 북항에 위치한 정점 4, 5를 권역 III, 수영만에 위치한 정점 6, 7, 8을

Fig. 1. Map Showing the sampling sites in the study area.



권역 IV로 나누었다.

III. 분석방법

III-1. 환경요인

수온, 염분, pH, DO, 투명도는 CTD (SBE-19, Seabird Co.)를 사용해서 측정하였고(downcast 이용), 투명도는 Secchi disc를, 부유물질·COD는 van Dorn 채수기를 이용하여 해수를 채수한 후, 수질오염 공정시험방법(환경부, 1995)에 따라 측정하였다.

III-2. 동물플랑크톤의 종조성

동물플랑크톤은 NORPAC Net(구경 45 cm, 망목 333 μ m)를 사용하여 저층에서 표층까지 경사채집하였고, 채집된 동물플랑크톤 시료는 선상에서 Folsom splitter를 사용하여 종조성을 분석하기 위한 시료와 개체군내의 중금속 농도 분석을 위한 시료로 반분하였다. 종조성을 분석하기 위한 시료는 폴리에틸렌 병으로 옮겨 담은 후, 5% 중성 포르말린으로 고정하고 실험실에서

Bogorov 계수판으로 옮겨 광학현미경 및 해부현미경을 사용하여 동정 및 분류하되, 요각류와 지각류, 모악류, 미충류는 종까지 분류하고 그 외 동물플랑크톤들은 대분류하여 각 분류군별로 단위체적당 개체수(individual/m³)로 환산하였다.

동물플랑크톤을 분류한 자료들은 SAS 통계 Package를 이용하여 Euclidean distance를 구한 다음 비가중평균결합법으로 군집분석을 하였다. 군집분석결과와

타난 해역별로 환경요인의 평균값과 동물플랑크톤의 출현을 및 밀도를 구하였다.

III-3. 동물플랑크톤의 중금속 함량

시료채취용기는 해양환경공정시험방법(해양수산부, 1998)에 따라 세척하여 사용하였으며 세척 후, 보관일자와 사용일자와의 간격은 3일을 초과하지 않게 하였다.

III-3.1. 시료의 전처리·분석

동물플랑크톤 시료를 미리 산으로 세척된 HDPE병에 담은 후, 여섯 시간동안 탈장을 수행한 후, 탈장 후에는 즉시 해양환경공정시험방법(해양수산부, 1998)에 따라 세척된 Bogorov 계수판에서 마이크로 피펫과 마이크로 핀셋을 이용하여 초순수를 담아 놓은 Teflon 비이커로 요각류와 기타의 분류군으로 대분류하며 옮긴 후, 분류가 끝나면 산으로 세척한 Whatman GF/C(pore size=0.45 μ m) 필터와 Hand Operated Vacuum Pumps (NALGENE™,

Cat. No. 6130-0020; with gauge)를 사용하여 여과하였다. 여과 후 미세저울(Chyo co. MODEL JL 180)을 이용하여 습중량을 측정 후, 해양환경공정시험방법(해양수산부, 1998)에 따라 전처리하였다. 전처리 후, 주사기와 주사기 필터(Pore size = 0.45 μm)를 이용하여 0.2N 질산 용액에 녹지 않은 찌꺼기를 제거하고 30ml 폴리에틸렌 병에 걸러진 시료 용액을 담은 후, 이 용액을 원자흡광광도계(AAS, Varian SpectraAA 250)로 각각의 램프(예, 구리, 납, 아연, 카드뮴중공음극램프)와 파장, 슬릿너비(Cu : 324.8nm, Pb : 217.0nm, Zn : 213.9nm, Cd : 228.8nm, 슬릿 너비 : 각 1.0nm)에 따라 측정하였다.

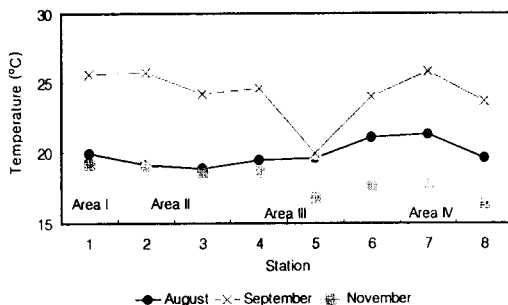
IV. 결과 및 고찰

IV-1. 환경요인

1. 수온(Temperature)

부산항 내항에 위치한 권역들(정점 1~정점 4)에서는 8월과 11월의 평균 수온이 비교적 유사한 값이 관측되었고, “한국근해 30년 평균 수온 및 변동범위(수산진흥원, 1997)”과 비교해볼 때, 8월의 수온이 예년 평균 수온보다 비교적 낮은 것을 볼 수 있었는데, 이는 빈번히 관측되고 있는 냉수역의 확장과 관련이 있다.

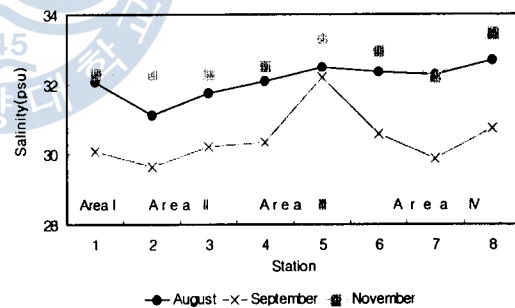
Fig. 2. Seasonal variation of mean temperature at each station in the study area from August to November, 1998.



한편, 8월과 11월의 내항 권역(정점 1~정점 4)에서는 정점간의 표·저층 수온 차이가 거의 없고 외항 권역에서는 3~4°C의 수온 차이가 나타나고 있는데 이는 표·저층 해수순환이 부산항 내항보다 외항에서 더욱 활발하다는 것을 보여준다 할 수 있다(Fig. 2).

2. 염분(Salinity)

본 연구결과에서 나타난 염분의 분포 상황 및 농도는 전반적으로 표층보다 저층의 염분 농도가 미소하나 높았고 부산항 내항에서 외항으로 나아갈수록 증가하는 현상을 나타냈다. 이와 같은 현상은 부산항과 수영만에서 수행된 이전의 보고(부산직할시, 1993; 장, 1996)에서, 남항을 통하여 유입되는 고염·저온상을 띄는 외양수의 영향에 의한 것으로 고찰된 바 있어 본 Fig. 3. Seasonal variation of salinity at each station in the study area from August to November, 1998.



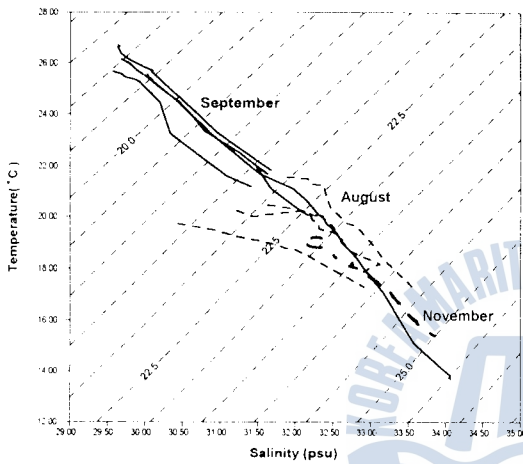
조사기간에 나타난 결과와 일치함을 나타내고 있다(Fig. 3).

3. T-S Diagram.

본 조사 기간동안 측정된 $\sigma_t((\rho-1) \times 1000)$ 는 '98년 8월과 11월에 조사된 정점 7을 제외하고는 수심이 증가함에 따라 σ_t 가 증가하는 현상을 나타냈다. 모든 정점에서 압력보다는 수온에 따라 좌우되는 경향을 나타냈는데, 9월 조사 시기에 내린 강우의 영향으로 8월보다 높은 수온·낮은 염분 분포를 나타냈다. 또한, 수영천 입구에 위

치한 정점 7에서는 다른 정점들과는 달리 수영천으로부터의 많은 생활하수 및 담수 유입과 다른 정점보다 상대적으로 얇은 수심의 영향으로 해수의 수직혼합이 비효율적이었던 것이 다른 정점과는 상이한 T-S분포를 나타낸 것으로 사료된다(Fig. 4).

Fig. 4. T-S diagram at each station in the study area during three months, 1998.



4. 수소이온농도(pH)

본 조사시기의 pH분포는 부산항 외항에서 내항으로 갈수록 농도가 감소하는 경향을 나타냈는데 이것은 일조량, 수온 등과 연계하여 식물플랑크톤의 광합성 작용이 표층에서 왕성하게 일어났기 때문일 것으로 사료되며 이와 같은 현상은 pH의 변화 양상에도 영향을 미칠 수 있다는 장(1996)의 결과와도 유사한 것으로 판단된다.

5. 용존산소(Dissolved Oxygen)

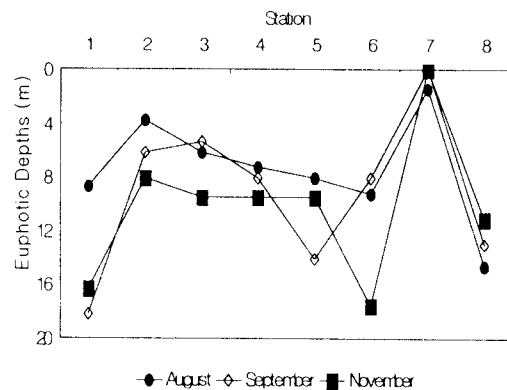
전체적인 용존산소의 분포상황을 보면, 자갈치 시장에 위치한 부산항 내항에 위치한 권역 II의 정점 2에서 전체적으로 농도가 낮게 나타났고, 외항으로 갈수록 농도가 증가하는 양상을 보였으며 또한 표층에서 저층으로 갈수록 용존산소량이 감소하는 것으로 나타났다. 이런 결과는 수온 상승으로 인한 성층 형성과 담수유입이 많아 밀도약층이 형성되고, 해수의 수직혼합이

억제되어 저층으로의 산소공급이 차단되며, 표층에서는 식물플랑크톤이 대량번식을 일으켜 이들이 저층으로 가라앉아 분해되면서 저층의 산소소비가 크게 증가됨에 따라 수층간의 변화의 폭이 크게 나타난 것으로 판단된다.

6. 유광대(Euphotic zone) · 투명도(T-ransparency) 및 부유물질(SS)

본 연구지역의 투명도는 부산항 내항에 위치한 권역들에서보다 수영천에 위치한 권역에서 높았고, 부산항 내항에 위치한 권역보다는 부산항 외항에 위치한 권역에서의 투명도가 더 높은 것으로 나타났다. 그러나, 수영천에 위치한 정점 7에서는 생활하수의 대량 유입으로 인한 오염물질의 유입, 얇은 수심으로 인한 퇴적물질의 부상, 광안대로 공사로 인한 것으로 추측되는 여러 물질들이 혼재해 있어 아주 낮은 투명도가 나타났고, 하계에서 동계로 계절이 지날수록 유광대가 증가하는 경향을 보였

Fig. 5. Euphotic depths at each stations in the study area in August, September, November, 1998



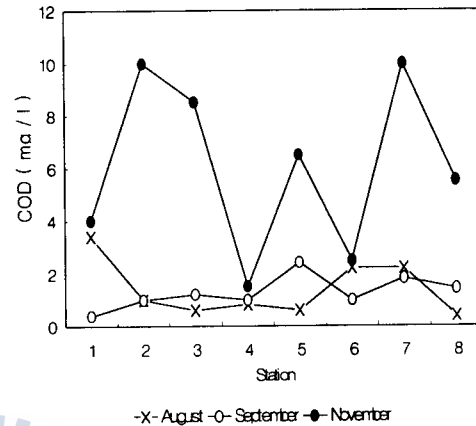
는데 이는 춘·하계에 영향을 미치던 외해수가 동계로 들어서면서 영향이 감소되며 해수의 수직교환이 이전 계절보다 감소, 저층 퇴적물을 교란하지 않은 결과로 판단된다(Fig. 5).

부유물질은 하수유입, 수심과 해황, 그리고 선박 통행으로 인한 해저 저층의 부상 등이 부유물질 함량을 좌우하는 요소였던 것으로 판단된다. 조사 기간 내내 정점 2가 위치한 자갈치 시장 앞의 선박 정선소의 준설작업이 수행되고 있어서, 이 준설작업이 투명도와 부유물질 함량에 지대한 영향을 미친 것으로 판단된다. 전반적으로 선박의 통행이 많고 수심이 얇은 정점 2와 정점 7에서 낮은 투명도와 높은 부유물질 함량이 나타났다.

7. 화학적 산소 요구량(COD)

본 조사해역의 전반적인 COD농도는 수영만에 위치한 정점들이 부산항 남항·북항에 위치한 정점들보다 상대적으로 높았으며, 하계보다 동계에 전반적인 COD농도의 상승이 일어났다(Fig. 6). 양(1996)은 수영만에서의 COD농도가 수영천이나 용호부두에서 흘러들어오는 하천수의 유입량에 따라 농도가 결정되는 것으로 고찰한 바 있으며, 장(1996)은 부산항에서의 COD농도가 춘계에 비해서 동계에 높은 것으로 보고한 바 있는데, 이는 춘계에 만내로 유입되어 COD의 값을 하향 조정시켰던 외양수의 영향이 동계로 들어서면서 점차 감소했던 것으로 보고된 바 있어(홍 등, 1994; 국, 1989), 본 조사시기에도 하계에 비교적 활발하게 만내로 유입되었던 외양수가 동계로 들어서면서 감소했음을 나타내고 있다.

Fig. 6. Spatial variation of chemical oxygen demand(COD) at each station in the study area from August to November, 1998.



IV-2. 동물플랑크톤의 종조성

(1) 종조성

1998년 9월 조사해역에서 채집된 동물플랑크톤은 총 20개 분류군 31개 종이 출현하였다. 조사해역에 출현한 동물플랑크톤 분류군 및 요각류의 조성율은 Table 1과 Table 2에 수록하였다. 본 조사기간 중 원생동물(Protozoa) 1종(*Noctiluca scintillans*), 강장동물 2종(Hydroida, Siphonophora), 요각류 13종과 지각류(Cladocera) 2종(*Evadne nordmanni*, *Podon leuckarti*), 모약동물(Chatognath) 2종(*Sagitta enflata*, *Sagitta crassa*)이 출현하였다. 그 외의 종으로는 미충류(Appendicularia), Salpida, 복족류(Gastropoda), 패충류(Ostracoda)와 기타 다섯 가지 종류의 유생군(larvae) 그리고 Fish larvae와 Fish egg 등이 조사 해역에 출현했다.

11월 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤은 총 18개 분류군 28개종이었으며, 분류군 및 요각류의 조성율은 Table 3과 Table 4에 나타났다. 원생동물 1종(N.

scintillans), 강장동물 1종(Hydroida), 요각류 11종과 지각류 2종(*E. nordmanni*, *P. leuckarti*), 모악동물 2종(*S. enflata*, *S. crassa*)이 출현하였다. 그 외의 종으로는 미충류, Salpida, 목족류, 패충류와 기타 다섯 가지 종류의 유생군 그리고 Fish egg 등이 조사 해역에 출현하여 9월의 종조성과 유사한 양상을 보였다.

동물플랑크톤의 종조성율은 '98년 9월과 11월 모두 야광충(*N. scintillans*)이 4~60%(평균 37.1%), 50.2~87.5%(평균 64.1%)의 조성율을 각각 나타내며 최우점종으로 출현하였다. 본 종은 부영양화된 해역에 다량 출현하는 것으로 알려진 종으로 특히, 생활폐수 및 하천수들이 해양으로 유입되는 권역 II와 권역 IV에서 다량 출현하였는데 이 사실은 야광충의 생태적 특성을 다시 한 번 확인할 수 있는 좋은 반증 자료가 된다.

두 번의 조사 기간('98. 9월, 11월) 동안, 요각류는 평균 21.2%(11.8~35.5%, 9월) 및 평균 23.4%(4.9~33.6%, 11월)의 조성율을 나타내며 제 2의 우점 분류군을 형성했다(Table 2, 4).

9월과 11월 모두 일본 근해역의 수질이 정체되고 부영양화가 진행되는 내만지역의 유기오염지표종으로 가치가 있다고 보고되고 있으며(Yamazaki, 1956), 부산항 및 진해만, 광양만 내만의 부영양화된 지역에서 다량 출현하는 것으로 보고된(홍 등, 1994; 장, 1996; 윤, 1998), *Acartia omorii* 종이, 9월에 28.6~42.6%(평균 34.4%)의 조성율을 보이며 정점 1, 2, 3에서 그리고, 11월에 21.4~57.1%(평균 40.5%)의 조성율을 보이며 우점종으로 출현했는데, 자갈치 시장 부근과 수영천 등의 하천으로부터 유입된 유기물질들이 폐쇄적인 부산항의 해수유동으로 인해 본 종이 서식하기 좋은 환경을 형성한 것으로 판단되고, 비록이 본 종의 지

속적인 우점종으로의 출현은 부산항 지역의 부영양화를 간접적으로 시사해 주는 사항이다.

지각류(Cladocera)는 이전의 연구(Onbe, 1968, 1974; Hirato, 1968; Yoo and Kim, 1987; 윤, 1997)에서 대체적으로 10~28℃ 정도의 수온에 서식하는 종류로서, *Podon leuckarti*는 4월에서 5월에, *Evdadne nordmanni*는 3월에서 5월에 분포 특성을 나타내며, 겨울철에는 거의 찾아볼 수 없는 것으로 보고된 바 있다. 본 조사기간에는 난수성 종인 상기 두 종들이, 9월에 평균 9.7%, 11월에 평균 2.91%의 조성율을 나타내며 고르게 출현하였고 '98년 9월에 비해 11월에 지각류의 출현 개체수가 대폭 감소하여 이전의 연구들과 유사한 양상을 나타냈다.

(2) 개체수

조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 정점별 출현 개체수를 보면 '98년 9월에는 평균 5,783 inds./m³(1,940~10,578 inds./m³)로, 동국제강 앞의 정점 6에서 적은 출현량을, 자갈치 시장 앞의 정점 2에서 최대 출현량을 나타냈다.

11월의 플랑크톤 개체수는 평균 9,203 inds./m³(2,905~20,407 inds./m³)의 범위를 나타냈으며 수영만 외곽의 정점 8에서 낮은 개체수를 보인 반면, 부산항 북항의 정점 4에서 높은 개체수를 나타냈다.

(3) 군집분석

군집분석 결과, 3개 해역으로 나뉘어졌으며 이중 특징적인 사항을 살펴보면, '98년 9월에는 Euclidean distance 0.6에서 전 정점에서 우점종으로 출현한 *N. scintillans*가 해역구성을 지배한 주요요인으로 작용하였다.

1998년 11월 조사해역에서 채집된 동물플랑크톤의 출현량을 근거로 조사한 군집

Table 3. Percentage(%) of zooplankton taxa in the study area in September, 1998.

Taxa \ Area	I	II	III	IV
<i>Noctiluca scintillans</i>	3.09	53.3	34.4	57.5
Chaetognath	2.5	0.55	1.65	1.97
Cladocera	11.6	8.45	12	6.6
Copepoda	35.5	16.1	21.25	11.77
Appendicularia	18.6	10.3	6.1	7.1
Salpida	12.2	6.45	19.1	11.5

Table 4. Percentage(%) of copepod species in the study area in September, 1998.

Species / Area	I	II	III	IV
<i>Acartia omorii</i>	42.6	30.25	24.4	21.3
<i>Calanus sinicus</i>	4.1	3.8	4.4	4.03
<i>Corycaeus affinis</i>	2.1	4.25	5.2	3.83
<i>Oithona plumifera</i>	0.4	3.5	2.15	2.57
<i>Paracalanus parvus</i>	34.7	15.75	32.75	30.57
Copepod nauplius	5.4	19.9	19.55	19.83

Table 5. Percentage(%) of zooplankton taxa in the study area in November, 1998.

Taxa \ Area	I	II	III	IV
<i>Noctiluca scintillans</i>	87.5	50.2	56.9	61.8
Chaetognath	0.2	0.5	0.95	1.37
Cladocera	5.6	2.27	1.95	1.83
Copepoda	4.9	23.9	33.6	31
Appendicularia	3.4	5.25	3.55	1.6

Table 6. Percentage(%) of copepod species in the study area in November, 1998.

Species \ Area	I	II	III	IV
<i>Acartia omorii</i>	21.4	42.2	46.6	41.57
<i>Calanus sinicus</i>	0.9	0.4	0.7	1
<i>Corycaeus affinis</i>	22.2	1.75	3.75	8.97
<i>Oithona plumifera</i>	6.8	9.45	4.35	4.13
<i>Paracalanus parvus</i>	14.6	34	34.3	32.97
Copepod nauplius	14.6	7.3	5.05	6.2

: Dominant Species and/or taxa. - : non

분석 결과, Euclidean distance 0.7에서 정점 1, 4가 I 해역을 형성하였으며, II 해역은 정점 2, 5, 8로 구별되었고 정점 3, 6, 7이 III 해역으로 대별되었다.

IV-3. 동물플랑크톤의 중금속함량

중금속 농도 측정은 대부분의 해역에서 동물플랑크톤 총개체수의 80%가 넘게 출현하는 요각류(심과, 김, Table 7. Areal distribution of mean concentration of heavy metals in zooplankton occurred in the study area in September, 98. Parsons, 1984) 개체군들만으로 구성된 시료와 요각류를 제외시킨 그룹의 개체군들을 다른 하나의 그룹으로 설정하여 분석했고, 11월의 분석결과에서는 정점 6, 7, 8이 분석에서 제외되었다.

IV-3.1 구리(Cu)

본 조사 해역에서 9월에 검출된 구리 농도를 보면, 요각류로 이루어진 시료는 부산항 남항에 위치한 권역 I에서 0.5369mg/kg의 농도로 가장 높게 검출되었고, 내항에 위치한 권역 II에서 0.0157mg/kg(평균 0.1325mg/kg)의 농도로서 최소 농도가 검출되었다. 요각류를 제외한 시료는 수영만에 위치한 권역 IV에서 0.7170mg/kg으로 가장 높게 검출되었고, 남항의 권역 I에서 0.0131mg/kg(평균 0.1561mg/kg)의 가장 낮은 농도가 검출되었다(Table 7).

11월에는 두 그룹의 전체적인 농도가 9월의 절반 이하로 감소하는 현상을 나타냈으며, 부산항 내항지역의 내항과 북항에 위치한 각각의 권역 II, III에서는 이전의 결

과와 마찬가지로 두 그룹의 농도가 비슷한 양상을 보였다. 정점 2를 제외한 네 개의 정점(정점 1, 3, 4, 5)에서, 요각류를 제외한 시료에서 검출된 농도가 요각류로 구성된 시료에서 검출된 농도보다 높은 현상을 볼 수 있었다(Table 8, Fig. 7, 8).

IV-3.2. 카드뮴(Cd)

'98년 9월에 검출된 카드뮴 농도중에서 요각류 시료는 수영천 입구에 위치한 정점

Ele.	Cu		Cd		Zn		Pb	
	Cope.	Other	Cope.	Other	Cope.	Other	Cope.	Other
I	0.5369	0.0131	0.0083	0.0017	1.4848	1.5863	0.0021	0.0640
II	0.0414	0.0423	0.0128	0.0023	1.6188	1.8538	-	0.0635
III	0.0424	0.0476	0.0035	0.0018	2.0221	1.9703	0.003	-
IV	0.2017	0.3520	0.0078	0.0020	1.3541	1.7922	-	-

Table 8. Areal distribution of mean concentration of heavy metals in zooplankton occurred in the study area in November, 98.

Ele.	Cu		Cd		Zn		Pb	
	Cope.	Other	Cope.	Other	Cope.	Other	Cope.	Other
I	0.2100	0.2286	0.0050	0.0029	0.2305	0.5846	-	0.0009
II	0.1130	0.0288	0.0037	0.0017	0.8458	1.1553	-	0.028
III	0.0224	0.0288	0.0034	0.02	0.4925	1.0214	0.0138	0.0075

- : Not Detected. Cope: Copepods Other: Others

7에서 0.02mg/kg로 가장 높은 농도가 검출되었고, 수영만 외해역에 위치한 정점 8에서 가장 낮은 0.0006mg/kg의 농도(평균 0.0147mg/kg)가 검출되었다. 요각류를 제외한 시료는 동국재장 앞에 위치한 정점 6에서 0.0048mg/kg의 농도가 검출되었고, 정점 8에서 0.0005mg/kg로 낮은 농도(평균 0.0020mg/kg)가 검출되었다(Table 7).

11월에 분석된 요각류 시료는 차갈치 시장 부근에 위치한 정점 2에서 0.0071mg/kg의 높은 농도가 검출되었고, 정점 3에서

Fig. 7. Areal distribution of concentration of Cu in sample A(copepods) in the study area, 1998.

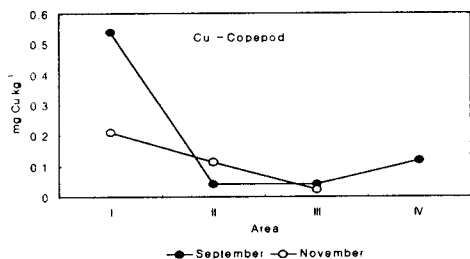


Fig. 8. Areal distribution of concentration of Cu in sample B(excluding copepods) in the study area, 1998.

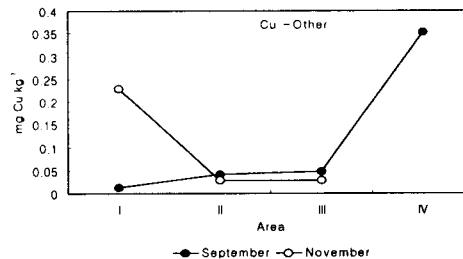


Fig. 9. Areal distribution of concentration of Cd in sample A(copepods) in the study area, 1998.

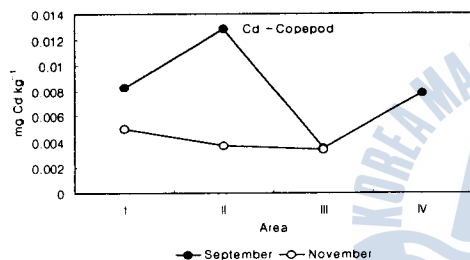


Fig. 10. Areal distribution of concentration of Cd in sample B(excluding copepods) in the study area, 1998.

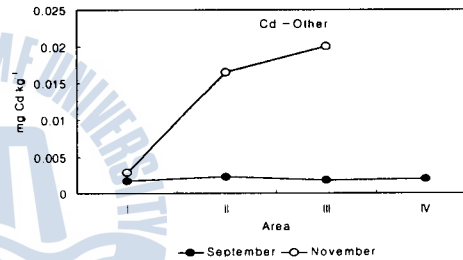


Fig. 11. Areal distribution of concentration of Zn in sample A(copepods) in the study area, 1998.

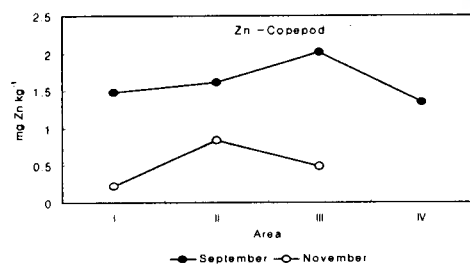


Fig. 12. Areal distribution of concentration of Zn in sample B(excluding copepods) in the study area, 1998.

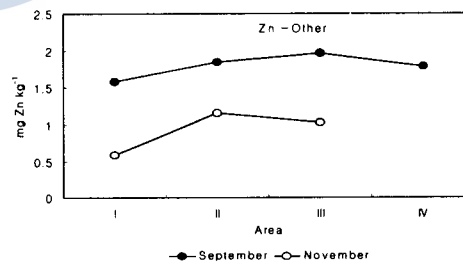


Fig. 13. Areal distribution of concentration of Pb in sample A(copepods) in the study area, 1998.

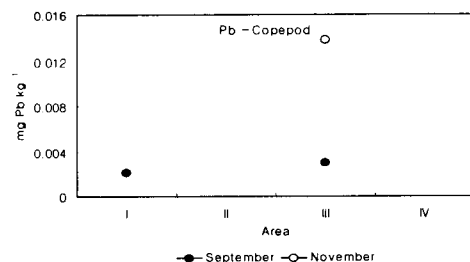
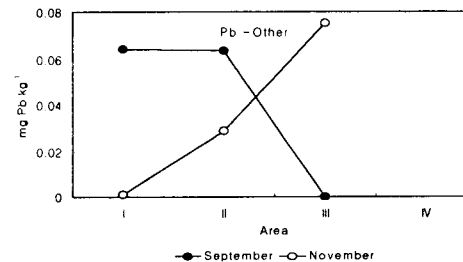


Fig. 14. Areal distribution of concentration of Pb in sample B(excluding copepods) in the study area, 1998.



0.0003mg/kg(평균 0.0038mg/kg)의 낮은 농도가 검출되었다. 요각류를 제외한 시료는 정점 4, 5에서 0.02mg/kg의 농도로 높게 검출되었으며, 한진 중공업과 연안 여객 부두의 중간 위치에 자리한 정점 3에서 0.0005mg/kg(평균 0.0092mg/kg)의 낮은 농도가 검출되었다(Table 8, Fig. 9, 10).

IV-3.3. 아연(Zn)

9월에 분석된 요각류 시료는 오륙도에 위치한 정점 5에서 2.6570mg/kg의 농도를 나타냈고, 정점 8에서 가장 낮은 0.7487mg/kg의 농도(평균 1.6036mg/kg)가 나타났다. 요각류를 제외한 시료는 정점 6에서 4.2549mg/kg의 높은 농도가, 수영만 외해역인 정점 8에서 0.5331mg/kg의 낮은 농도(평균 1.8264mg/kg)가 검출되었다(Table 7).

11월의 요각류 시료는 정점 2에서 1.6404mg/kg로 높은 농도가, 정점 3에서 0.0512mg/kg의 낮은 농도가 검출되었는데(평균 0.5814mg/kg), 이전('98. 9) 농도보다 0.5~3배 이상 감소한 농도가 검출되었다. 요각류를 제외한 시료는 정점 3에서 2.0547mg/kg로 가장 높은 농도의 아연이 검출되었고, 정점 2에서 0.2558mg/kg(평균 0.9876mg/kg)으로 낮은 아연 농도가 검출되었다(Table 8, Fig. 11, 12).

IV-3.4. 납(Pb)

'98년 9월에 분석된 요각류 시료의 경우는 정점 1, 4, 5에서 각각 0.0021, 0.0060, 0.00mg/kg(평균 0.0010mg/kg)이 검출되었을 뿐, 그 외의 정점들에서는 검출되지 않았다. 요각류를 제외한 시료 역시, 정점 1, 2에서만 각각 0.0640, 0.1270mg/kg(평균 0.0239mg/kg)의 농도가 검출되었고 나머지 정점에서는 전혀 검출되지 않았다(Table 7).

11월에 분석된 요각류 시료에서는 정점 4, 5에서만 각각 0.0183, 0.0092mg/kg(평균 0.0055mg/kg)가 검출되었고, 요각류를 제외

한 시료에서는 정점 1, 3, 5에서만 각각 0.0009, 0.0575, 0.0150mg/kg(평균 0.0147mg/kg)이 검출되었다(Table 8, Fig. 13, 14).

IV-3.5. 종합 토의

1950년대의 일본 Minamata Bay 인근 주민에게서 발생한 수은 중독 사고와 이라크에서 곡식의 지장을 위하여 수은으로 처리해 두었던 곡식을 빵으로 만들어 섭취함으로써 6,500명의 사상자를 낸 중독사고 등이 있다. 그러나, 중금속은 이들의 높은 독성에도 불구하고 우리의 생활과 밀접한 분야에서 다량으로 사용되고 있다. 예를 들어 금속의 도금, 각종 긴진지와 축진지, 전자제품, 살충제뿐만 아니라 심지어는 일부의 약품에까지도 사용되고 있다.

본 연구에서 검출된 네 가지 중금속 농도는 동물플랑크톤중 납극대륙에 서식하는 *Eusirus propepedentatus*의 단일 종을 이용하여 본 연구와 동일한 중금속의 농도를 검출한 Petri and Zauke(1993)에서 검출된 농도와 비교해 볼 때, Cu금속의 농도는 100배 이상, 북태평양에서 *Euphausia superba* 종을 이용하여 수행한 Hamanaka and Tsujita (1981)의 연구에서 검출된 Zn금속의 농도보다 150배 이상이 낮은 농도였으며 또한, Buenos Aires에서 동물플랑크톤 전체를 이용하여 수행한 Scarlato *et al.*(1997) 등의 결과와 비교하면(Table 11) Cu, Zn금속 농도는 수백 배, Pb 금속 농도는 수천 배 이상이 낮은 농도이다. 채집된 동물플랑크톤 전체를 이용하여 중금속 농도를 검출한 연구 중 Yamamoto *et al.*(1987)의 결과가 본 연구 결과와 비교적 근접한 결과를 나타내고 있지만 이 농도 역시 본 조사해역의 농도보다 상당히 높은 수준의 농도를 나타내고 있어, 본 조사해역에 서식하는 동물플랑크톤 체내의 중금속 농도 분포를 가늠하게 한다.

본 조사 결과, 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 아

연(Zn), 납(Pb) 농도는, 납(Pb)을 제외한 다른 중금속들에서는 요각류로 구성된 시료와 그 밖의 개체군들로 구성된 시료 사이의 뚜렷한 농도 차이가 나타나지 않았다. 또한, 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 납(Pb)에서는 하계에서 동계로 계절이 바뀌면서 뚜렷한 농도의 변화를 볼 수 없었으나, 아연(Zn)은 계절이 바뀌에 따라 뚜렷한 농도 감소현상을 보였다. 이와 같은 감소현상은 이전의 연구(Swalleh and Adelung, 1995)에서도 보고된 바 있으며, 아연(Zn) 농도의 감소는 동물플랑크톤 개체들의 생활사에 기인한 것으로 사료된다.

V. 결론

1. 모든 권역에서 검출된 요각류 시료와 그 밖의 개체군으로 구성된 시료간의 뚜렷한 농도 차이는 보이지 않았고, 중금속 오염에 대한 뚜렷한 indicator species는 나타나지 않았다.
2. 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 납(Pb)의 농도는 계절적인 변화양상이 뚜렷하지 않았다. 그러나 아연(Zn) 농도는 9월에서 11월에 걸쳐 약간의 감소현상을 나타냈는데 이는 동물플랑크톤의 생활사에 기인한 것으로 생각된다.
3. 생활하수의 대량 배출이 있는 수영천에 위치한 정점 7에서 채집된 요각류(copepoda) 시료에서 비교적 높은 Cu, Cd 농도가 검출되었다. 그렇지만, 본 연구에서는 점원오염(point source contamination)의 흔적은 찾아볼 수 없었다.
4. 국외에서 수행된 동물플랑크톤 체내에 농축된 중금속 농도와 비교는 본 연구에서 검출된 농도가 수배~수천 배 이상 낮은 것으로 검출되어, 부산항과 인접해역(수영만)에 서식하는 동물플랑크톤들이 중금속 오염의 영향을 받지 않은 것을 나타내고 있다.

VI. 참고문헌

- 국립수산진흥원. 1997. 한국근해 30년 평균수온 및 변동범위(1966~1995). p.211-219.
- 국립환경연구원. 1989. 해양환경 조사 연보. p.236-237.
- 부산직할시. 1993. 광안대로 건설사업 환경영향평가서. p. 116-123.
- 심재형, 김용서. 1996. 동물플랑크톤 생태연구법, 제 2 장. 채집, 2, 제 7 장. 섭식. 東和技術, p. 41.
- 양대영. 1996. 해양수질 평가를 위한 식물플랑크톤 오염지표종 및 유기 오염도 지수 개발에 대한 연구. 한국해양대학교 대학원 석사 논문.
- 윤성진. 1998. 광양만 주변 해역의 동물플랑크톤 분포 : 수괴지표종을 중심으로. 한국해양대학교 대학원 석사 논문.
- 이광우·양한섭. 1998. 화학해양학. 淸文閣. 8장.
- 장민철. 1996. 부산 및 진해 연근해에 출현하는 동물플랑크톤 오염지표종 개발에 관한 연구. 한국해양대학교 대학원 석사 논문.
- 해양수산부. 1998. 해양환경공정시험방법. III. 해양생물편. 제 4 항, 제 5 항, 제 6 항, 제 8 항, 제 9 항. 1998.
- 홍성운·마채우·강영실. 1994. 부산항 해역의 지표성 요각류 분포 및 동물플랑크톤 군집. *The Journal of the Korean Society of Oceanography* Vol. 29, No. 2, pp. 132-144
- 환경부. 1995. 공정시험방법. 수질오염공정시험방법. II. 해수편. 제 2 장 제 4 항, 제 24 항, 제 25 항, 제 28 항, 제 22 항, 제 23 항. 환경부 告示 第 95-91號.
- Hamanaka, T. and Ogi, H. 1981. Cadmium and zinc in zooplankton in the subarctic region of the North Pacific. *J. Oceanogr. Soc. Jpn.* 37, 160-172.
- Hirota, R., 1968. Zooplankton investigation in the Setonaikai(inland Sea of Japan), I. Occurrence of

- zooplankton in the western half of the Setonaikai in June, 1963. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 24: 203-211.
- Johnston., R. 1976. Marine pollution, Ch. 3. Academic Press, p. 187~188, 214~215, 217~218, 225~227, 282.
- Kiceniuk. J. W. and S. Ray, 1994. Analysis of contaminants in edible aquatic resources. VCH Publisher., P. 118.
- Onbe, T., 1968. Studies on the marine cladocerans I. A biological note on *Penilia*. J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ., 7: 269-279(in Japanese with English abstract).
- Onbe, T., 1974. Studies on the ecology of marine cladocerans. *ibid.*, 13: 83-179(in Japanese with English abstract).
- Parsons, T. R., M. Takahashi and B. Hargrave, 1984. Biological oceanographic processes. 3rd. ed. Pergamon Press, Oxford. p.1~330.
- Petri, G. and Zauke, G. -p. 1993. Trace metals in crustaceans in the Antarctic Ocean. *Ambio* 22. 529-536.
- Raymont, J. E. G., 1983. Plankton and productivity in the oceans. Ed. by pergamon Press Ltd : pp. 729~782.
- Scarlato., N. A, J. E. Marcovecchio and A. E. Pucci, 1997. Heavy metal distribution in zooplankton from Buenos Aires coastal waters(Argentina). *Chemical Speciation and Bioavailability*, 9(1).
- Swalleh., K. M. and Adelung.,D. 1995. Effect of body size and season on the concentrations of Cu, Cd, Pb, Zn in *Diastylis rathkei* (Kroyer) (crustacea : cumacea) from the Kiel Bay, Western Baltic. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 31, Nos 1-3, pp. 103-107.
- Yamazi. I., 1956. Plankton investigation a inlet waters along the coast of Japan. XIX. Regional characteristics and classification of inlet waters based on the plankton communities. Publ. Seto Mar. Biol Lab., V(2), 157~196, pls. 1 6~23.
- Yoo. K. I. and S. W. Kim, 1987. Seasonal distribution of marine cladocerans in Chinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea* 22:80-86.
- Yamamoto, Y., Honda, K. and Tatsukawa, R. 1987. Heavy metal accumulation in antarctic krill *Euphausia superba*. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, 1, 198-204.

