J. Korean Fish. Soc. 31(3), 330~342, 1998 한수지, 31(3), 330~342, 1998

영산강 하구역의 연성저질에 서식하는 저서동물 군집
1. 저서환경

임현식 · 박경양
목포대학교 해양자원학과

Community Structure of the Macrobenthos in the Soft Bottom of Youngsan River Estuary, Korea
1. Benthic Environment

Hyun-Sig LIM and Kyung-Yang PARK
Department of Marine Resources, Mokpo National University, Muan, Chonnam 534-729, Korea

Benthic environmental parameters were analysed at 40 stations during the period from April 1995 to February 1996, such as water temperature, salinity, and dissolved oxygen (DO) concentration in the surface and bottom water layers, grain size, chemical oxygen demand (COD), ignition loss, particulate organic carbon (POC) in the sediment of Youngsan River estuary.

The water temperature ranged from 4.1 to 29.8℃ in the surface and 4.0 to 27.0℃ in the bottom layers. Salinity ranged from 15.1 to 33.6‰ in the surface and 21.5 to 33.2‰ in the bottom layer. The salinity in the outer part of the study area was higher than that of inner area from autumn to spring, whereas they remained lower in summer. Dissolved oxygen concentration ranged from 5.1 to 11.2 mg/ℓ in the surface, and 0.79 to 10.2 mg/ℓ in the bottom layers. Hypoxic condition (≤2.0 mg/ℓ) was developed in the bottom water layer from Youngsan dike to Mokpo Harhour in summer due to the summer stratification. The surface sediment type was silty clay with a mean grain size of 9.12 ± 0.45 ϕ. The range of COD was from 6.15 to 15.49 mgO_2/g with a mean of 10.59 ± 12.64 mgO_2/g. The COD in the inner stations was relatively higher than that of outer stations, and decreased toward the outer part of the study area. Ignition loss (IL) ranged from 3.35 to 15.45% with a mean of 6.96 ± 1.91%.

Principal component analysis was carried out from the following five environmental parameters: water temperature, dissolved oxygen in the bottom layer and mean grain size, clay content and COD in the sediment. The forty stations in the study area were classified into three stational groups. Group I was located in the inner part of the estuary characterised by relatively low surface salinity and bottom water temperature, fine sedimemt texture, high organic matter and low dissolved oxygen concentration during the summer. Meanwhile, Group III showing relatively high bottom salinity and water temperature was located in the outer part of the estuary characterising coarse sediment and low organic content in sediment. Group II was between Group I and Group III. The division of the areal groups had high correlations to the DO in the bottom layer and clay content in the sediment.

Key words: benthos, community, benthic environment, hypoxia, Youngsan River estuary

서 론

영산강은 우리나라 5대 강 중의 하나로서 하구역은 목포구 수로를 통해 외해와 연결되어 있으며, 외해수와의 해수 교환은 주로 이 수로를 통해 일어난다. 그러나 1981년에 완공된 2,458 m의 영산강 하구둑과 1995년에 완공된 금호방조제로 인하여 이 일대의 조류 유속이 감소하여 외해수와의 조류 소통이 원활하지 못한 실정이다. 이로 인해 하구역은 해수가 정체되어 내만과 같은 성격을 띠게 되었으며, 하구역 내의 오염 물질의 확산은 제한받고 있다 (Kim, 1997). 이러한 영산강 하구역에는 목포항을 비롯하여 현재 건설중인 대불 국가공단, 하당 신도시 등이 위치해 있어 이들로부터 오염물질의 유입이 증가되고 있다. 또한 이 일대 주변 해역에서는 현재 영암공단, 산정 농공단지, 삽진 공업단지 등이 조성되고 있어, 향후 공장의 입주와 이와 관련된 인구의 증가로 인한 각종 오염물질 및 하수의 유입이 늘어날 전망이다.

하구역에는 조석의 영향에 의해 수괴가 주기적으로 이동되므로, 부유사의 이동 등이 일어나 입도는 대체로 조립한 편이다. 그러나 하구역에 하구둑이 건설되어 두 수괴의 혼합을 차단할 경우 하구역 내에는 유속 감소가 특징적으로 나타나고, 하구역내 수괴유동이 둔화되어

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비 (신진교수연구과제)에 의하여 연구되었으며, 교육부 11차 IBRD 교육차관 신진교수 연구기자재 지원을 받았슴.

육상으로부터 또는 바다쪽으로부터 공급, 운반되는 세립질 부유 퇴적물의 지속적인 퇴적작용이 일어나 입도는 세립해지게 된다(Choi et al., 1995). 이러한 입도의 세립화는 퇴적물 내에 서식하고 있는 저서동물의 우점종 조성과 분포에 영향을 미치게 되어 궁극적으로는 저서동물 군집의 변화를 가져오게 된다.

인근 육상으로부터 해양으로 유입되는 각종 영양염 및 유기물은, 유입해역의 조류 소통이 원활하여 확산을 통해 적절한 유기물량이 유지될 경우에는 저서동물의 밀도와 생물량 증가에 기여하게 된다(Beukema, 1991; Ansari et al., 1986; McIntyre, 1978). 그러나 유입된 유기물량이 과다하여 해역의 자정작용을 초과하거나, 반폐쇄적인 내만에서 해수 유동이 원활하지 못하여 외해역으로 확산되지 못하고 축적되면 저서환경의 변화를 초래할 수 있다(Friligos and Zenetos, 1988). 특히 여름철에 표 저층수 사이에 성층이 형성된 상태에서 퇴적된 입자성 유기물 분해로 용존산소가 소모될 경우, 저층에는 빈산소 혹은 무산소 수괴가 출현하여 착저된 유생 및 대형 저서동물의 폐사를 초래하여 저서 생태계는 치명적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Fabricant, 1984; Llanso, 1991; Yang and Hong, 1988). 따라서 영산강 하구역 일대에서는 입도의 세립화 및 유기물 유입과 관련하여 장기적인 생태계의 변화가 예상된다.

영산강 하구에서는 지금까지 하구둑 공사와 관련하여 주로 연구가 수행되었지만, 물리, 화학분야의 조사이거나 플랑크톤 조성 등에 관한 연구가 대부분이다(Park, 1984, 1985; 여수수대, 1992). 또한 하구둑 건설 전과 후의 해양환경 비교 연구가 있으나 주로 수괴 환경만을 다루고 있다(Park, 1987). 이 일대 해역에서 저서동물 군집에 대한 연구는 조간대의 경우, 해남반도의 조간대에서 Shin (1992)과 Lim et al. (1997)에 의해 수행되었으며, 조하대의 경우 Shin (1985)에 의해 현재는 금호방조제에 의해 차단된 해남만에서, KORDI (1995)에 의해 영산강 하구역의 일부 정점이 포함되어 조사된 것이 전부이다.

따라서, 영산강 유역 개발사업으로 방조제가 건설됨에 따라 조류 소통이 변화됨으로써 퇴적물의 입도가 세립화되고, 유기오염을 포함한 각종 오염의 가능성이 높은 영산강 하구역에 대해 향후 생태계 모니터링의 측면에서 현재의 저서생태계는 어떠한 상태에 있는지를 파악할 필요가 있다. 본 연구는 이러한 생태계 변화 파악을 목적으로 저서동물 군집과 환경요소들을 조사하였으며, 일차적으로 영산강 하구역의 저서생태계는 주로 어떠한 환경 요인에 의해 지배를 받고 있는지 파악하고, 이 자료를 저서동물 군집 해석의 기초자료로 사용하고자 하였다.

조사해역의 개황

영산강 하구역은 영산강 하구둑에서부터 목포항을 거쳐 고하도 외측까지 이르는 해역으로서, 고하도 및 허사도를 포함하여 영암반도 및 화원반도에 의해 둘러싸여 있으며 외해수와의 해수교환은 목포구 수로를 통해 주로 일어나고 있다. 수심은 약 30 m 이하로서 주수로인 목포구의 수심은 25 m이상을 나타내지만 영산강 하구둑에서 고하도 인근까지는 주로 20 m이하의 수심을 나타낸다(Fig. 1). 한편 하구둑에서 목포항에 이르는 해역에는 광주여 및 마당여라는 암반이 있어 각종 부착생물이 부착서식하고 있다. 이 일대의 조석주기는 반일주조형으로서 조차는 약 3 m이다. 만조시 평균 수위는 469 cm, 간조수위는 −99 cm이며, 수온은 2.5~29.1℃ 범위를 나타내는데, 겨울의 경우 내만보다 외양쪽의 수온이 더 높으며 여름철의 경우 내만의 수온이 외측보다 높은 양상이다. 영산강 하구둑의 수문개방으로 담수가 방류되면 표층염분은 급격히 하강하는 특성이 있으나, 대체로 13.34~33.88‰ 범위를 나타내고 있다. 겨울철의 경우 염분 변화폭이 적고, 여름철에는 강우로 인한 담수 유입으로 염분 변화폭이 상대적으로 큰 것으로 알려져 있다(Park, 1987).

이 해역 주변에는 목포항 및 목포시가 위치하고 있으며, 최근에는 하당 신도시 건설을 위한 지반 조성 작업의 일환으로서 하구둑 인접 해역에서는 1994년부터 1996년 초에 걸쳐 매립 및 준설작업이 수행되었다. 또한 대불국가공단이 조성되고 있으며 공단 내에는 산업폐수의 처리를 위한 하수처리 시설이 현재 가동중에 있다. 그러나 목포시에서 배출하는 도시하수는 하수처리 과정을 거치지 않고 영산강 하구둑과 목포항 사이의 해역으로 그대로 흘러들고 있다. 따라서 이러한 주변 여건으로 인해 이 일대 해역에는 유기물에 의한 오염의 가능성이 상존하고 있다. 또한 영산강 하구역 일대에는 영암반도의 황산도에서 달도 및 금호도를 거쳐 화원반도까지를 연결하는 금호방조제가 완공되어 상대적으로 조류의 소통이 완만하게 되어 더욱 반폐쇄적인 특성을 띄게 되었다. 따라서 조류의 약화로 인한 2차적인 퇴적상의

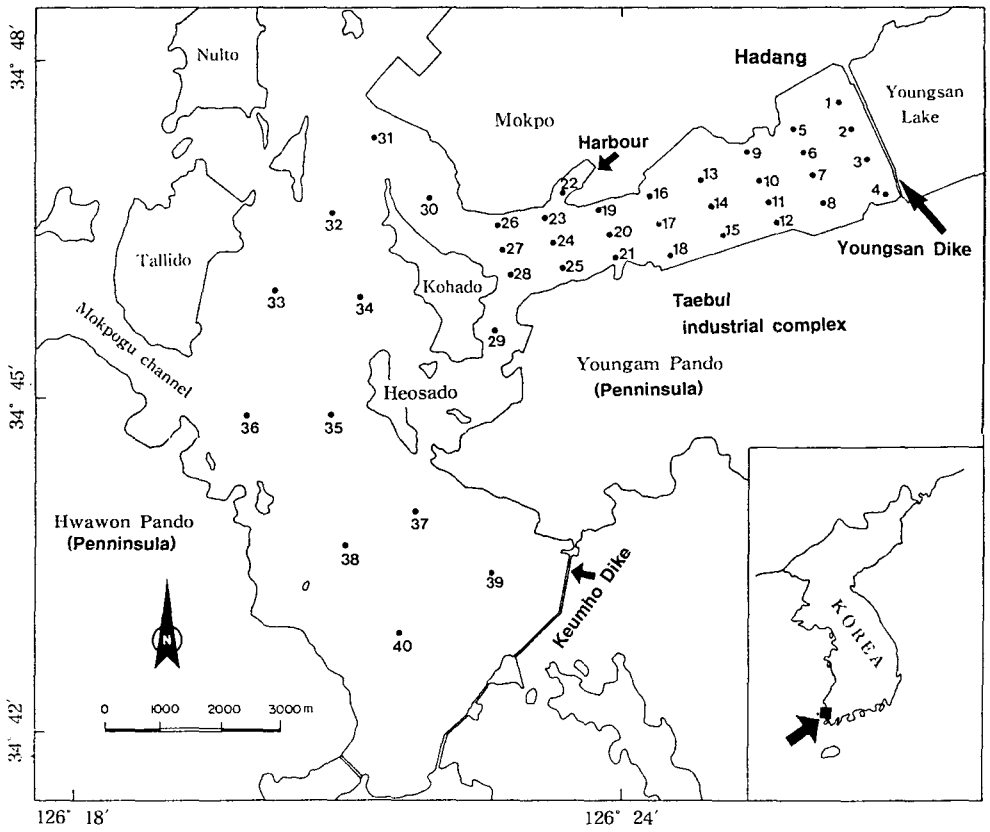

Fig. 1. Map showing the sampling stations in Yongsan River estuary, Korea.

변화가 발생할 가능성이 있는 해역이다. 이러한 조류소통의 불량은 하구역에서 발생하는 유기오염 물질의 외해 확산을 저해하여 오염물질이 해역 내에서 축적되는 결과를 초래한다. 결국 이 해역은 지형학적 특성상 퇴적상의 변화 및 유기오염으로 인한 저서생태계의 변화가 예상되는 해역이다.

재료 및 방법

영산강 하구둑에서부터 화원반도와 허사도 및 고하도 등으로 둘러싸인 조사지역에 저서동물의 채집 및 환경요인 조사를 위해 40개의 조사정점을 설정하였다 (Fig. 1). 조사정점 수괴의 물리, 화학적 환경요인과 퇴적물의 환경 요인의 측정은 1995년 4월, 8월, 11월 및 1996년 2월에 계절별로 저서동물의 채집과 동시에 수행되었다. 수온, 염분은 수온-염분계 (SCT meter, YSI-32)를, 용존산소량은 DO meter (YSI-58)를 사용하여 표층에서부터 저층까지 5 m 간격으로 측정하였으며, 저층의 경우 바닥에서 약 30 cm 위를 측정하였다. 표층퇴적물에 대하여는 입도분석을 실시하였으며, 강열감량, COD 및 POC를 측정하였다. 퇴적물 시료의 채집은 저서동물을 채집하기 위하여 인양되었던 퇴적물로부터 약 200 g을 시료병에 담고 얼음을 채운 아이스박스에 담아 실험실로 운반한 다음, 퇴적물 시료의 일부를 건조기에 넣고 80℃에서 약 72시간 이상 건조하였다. 건조된 시료는 막자사발에 곱게 간 다음 체로 쳐서 분말을 만들었다. 이 시료를 이용하여 강열감량은 전기로에서 550℃에서 2시간 동안 태워 그 무게의 손실량을 백분율로 표시하였으며, COD는 荒川 (1980)의 분석법에 따라, POC는 Strickland and Parsons (1972)의 분석법에 따라 분석하였다. 한편 입도분석을 위하여 퇴적물속의 유기물과 탄산염을 제거한 후 건조시켜 무게를 측정하고 습식 체질 (wet sieving)하여 pipette 방법에 의해 분석하였다. 퇴적물 입도에 의한 퇴적상 분류는 Shepard (1954)의 방법에 따랐다.

각 정점에 영향을 주는 환경요소를 분석하기 위하여 주성분 분석을 실시하였는데, MVSP (Ver. 2.1) 통계 package를 이용하였다. 본 연구에서는 저서동물 군집에 영향을 미친다고 판단되는 저층수온, 저층 용존산소량과 퇴적물의 평균입도 (ϕ) 및 점토 함량 및 COD 등 5개

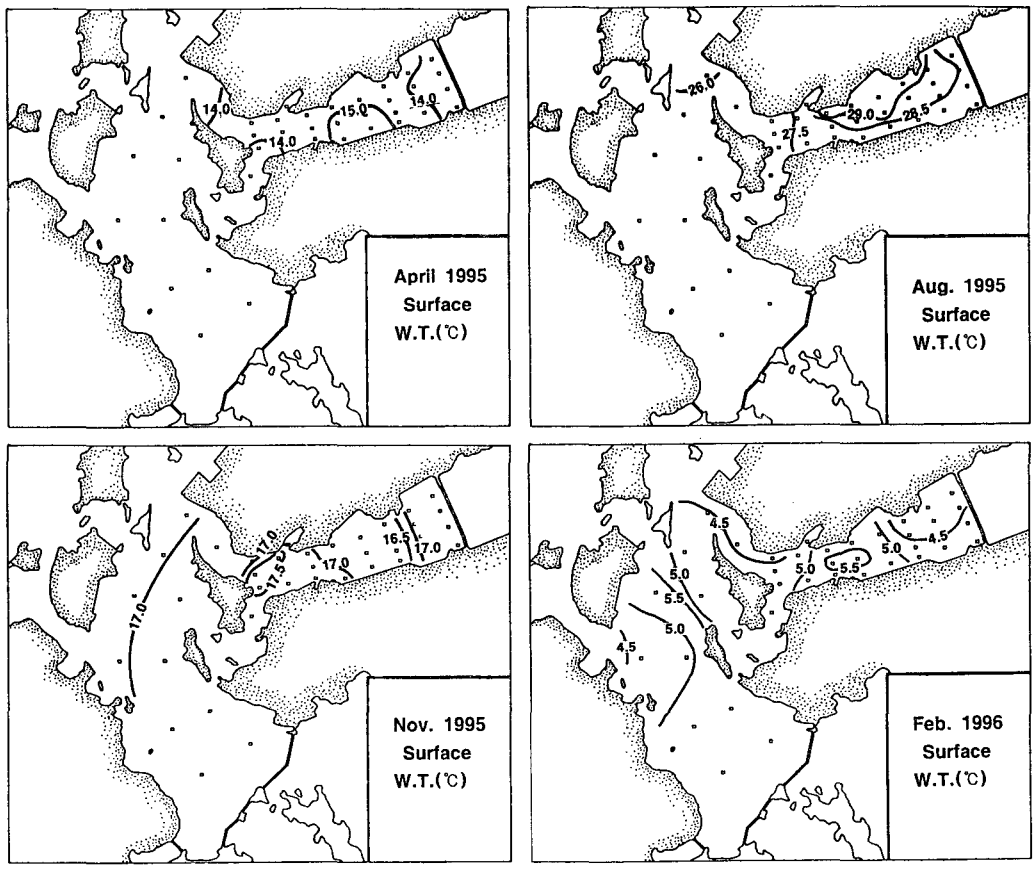

Fig. 2. Spatial distribution of surface water temperature of Youngsan River estuary, Korea.

환경요인에 대한 주성분분석을 실시하였다. 이 때 사용된 5개 환경요소 자료는 편중을 피하기 위하여 대수변환 [log (x+1)] 하였다 (Hughes et al., 1972).

결 과

1. 수온 및 염분의 계절별 수평 분포

영산강 하구역의 계절별 표층 수온 변동은 전 계절을 통하여 4.1~29.8℃ 범위였다. 봄철인 4월에는 13.1~15.9 ℃ 범위였으며, 평균 14.4 ± 0.9℃였다. 공간 분포를 보면 영산강 하구둑 인근에 위치한 정점들에서는 14.0℃ 이하의 분포를 나타냈으며, 하구역 중간에 위치한 정점들에서는 15.0℃ 이상의 상대적으로 높은 수온 분포를 나타내었다. 또한 목포항을 포함하여 외해역으로 갈수록 내만에 비해 수온이 증가하여 14.0℃ 이상의 분포를 나타내었다 (Fig. 2). 여름철인 8월의 표층 수온은 25.5~29.8℃ 범위로서 평균 27.8 ± 1.0℃였다. 외해역의 경우 27.5℃ 이하의 분포를 나타내었으며, 내만으로 들어올수록 수온이 상승하여 목포항에서 영산강 하구둑에 이르는 해역은 28.5℃의 분포를, 그리고 연안쪽으로 29.0℃ 이상의 수온 분포를 나타내었다. 가을철인 11월에는 16.0~18.0℃의 범위로서 평균 16.3 ± 0.35℃였다. 달리도와 고하도 사이 해역에서 목포항 인근까지는 17.0℃ 이상의 분포를 나타내지만 고하도와 목포항 사이에서는 17.5℃ 이상의 분포를 나타내었다. 영산강 하구둑의 내만역으로 들어가면서 점차 수온이 감소하는 양상을 나타내다가 하구둑 인접정점에서는 17.0℃의 분포를 나타내었다. 겨울철인 2월에는 4.1℃~6.1℃ 범위였으며 평균 4.9 ± 0.5℃였다. 외해수가 유입되는 목포구 수로 인근에는 5.0℃ 이하의 분포를 나타내었으며, 고하도를 포함하여 금호 방조제 주변해역은 5.0℃ 이상의 분포였다. 내만으로 들어오면서 수온은 점차 감소하여 목포항 주변에는 4.5℃ 정도의 수온을 나타내었으며 영산강 하구둑 주변 정점에서도 4.5℃ 이하의 수온 분포를 나타내었다. 그러나 하구역 중앙부 정점들에서는 5.5℃ 이상의 상대적으로 높은 수온 분포였다.

저층 수온의 경우 전계절을 통하여 4.0~27.0℃ 범위였다 (Fig. 3). 봄철인 4월의 저층수온은 전 정점이 12.0~

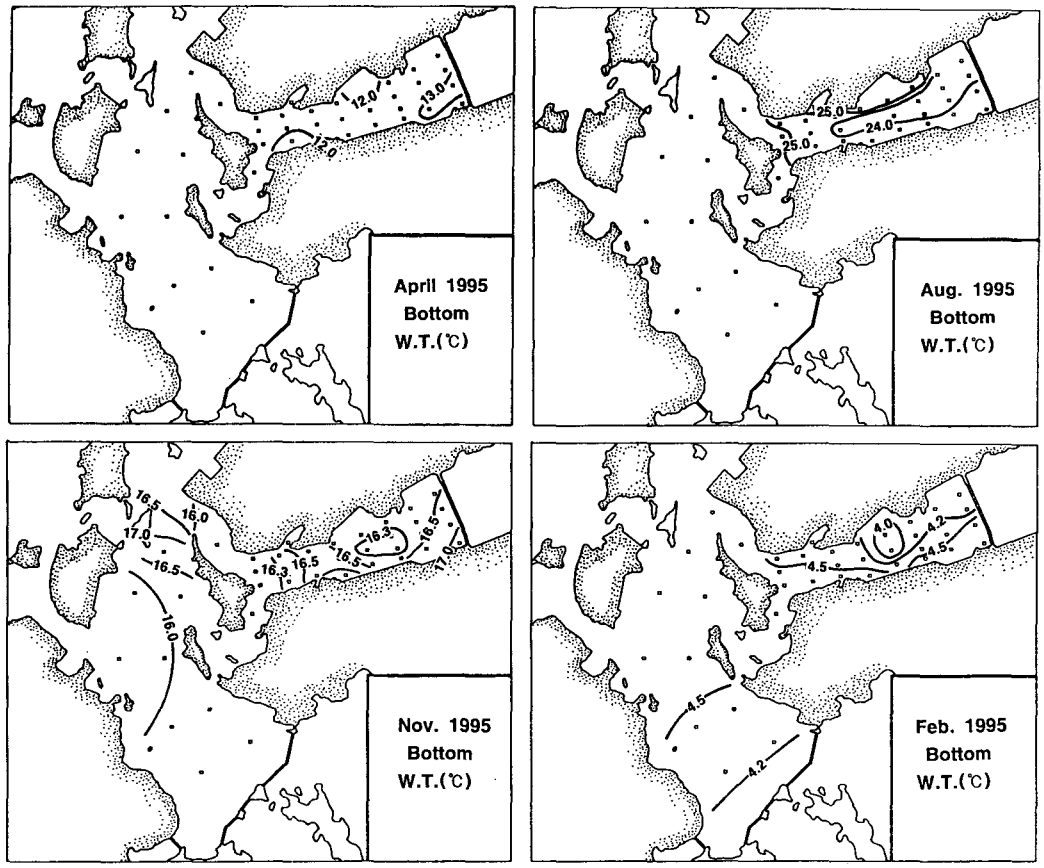

Fig. 3. Spatial distribution of bottom water temperature of Youngsan River estuary, Korea.

13.0℃ 범위로서 평균 12.6 ± 0.4℃였다. 전반적으로 보아 영산강 하구둑 앞 정점에서 13.0℃ 이상의 분포를 나타내었으나 정점간의 차이는 거의 없었다. 표층 수온과는 정점에 따라 약 1.0~3.0℃의 차이를 나타내었는데, 수심이 20 m 이상으로 비교적 깊은 하구역 중간에 위치한 정점들에서 상대적으로 차이가 큰 편이었다. 여름철인 8월에는 23.2~27.0℃ 범위였으며 평균 24.7 ± 0.97℃였다. 고하도와 목포구 사이의 정점들에서는 대체로 25.0~26.0℃의 범위로서 상대적으로 내만에 비해서 높은 양상이었다. 내만으로 들어올수록 저층수온은 점차 감소하여 영산강 하구둑 부근 정점에서부터 하구역 중앙부에 이르는 정점까지는 24.0℃ 이하의 낮은 수온분포를 나타내었다. 표층 수온과의 차이는 외해역에는 약 2.0℃였으나 내만에는 약 5.0℃ 이상의 차이를 나타냄으로서 여름철 표 · 저층사이에 수온약층이 형성된 것을 알 수 있다. 가을철인 11월에는 15.8~17.5℃의 범위였으며 평균 16.4 ± 0.34℃였다. 대부분의 정점들이 16.0~17.0℃ 범위였으며, 외해역에서 내만에 이르기까지의 수온차는 크지 않았다. 표층 수온과의 차이는 1.0℃ 내외로서 여름철에 형성되었던 수온약층이 사라졌음을 알 수 있다. 겨울철인 2월에는 4.0~4.8℃ 범위를 나타내어 정점별로 평균 4.5 ± 0.38℃였는데, 전 정점에 걸쳐 균일한 양상을 나타내었다. 표층 수온과의 차이는 정점에 따라 거의 없거나 1.0℃ 미만으로서 표층수와의 혼합이 잘 일어나고 있음을 알 수 있다.

표층 염분의 경우 전 계절에 걸쳐 봄철의 15.1‰~겨울철의 33.6‰ 범위였다 (Fig. 4). 봄철인 4월에는 15.1~26.0‰의 범위였으며 평균 20.6 ± 3.2‰였다. 영산강 하구둑 인근에서는 담수의 유입으로 인해 18.0‰ 이하의 낮은 염분을 나타내었으며, 담수 방류구 가까이 위치한 정점 3과 4에서는 16.0‰ 정도의 낮은 값을 나타내었다. 하구역에서 외양쪽으로 나가면서 염분이 증가하는 경향을 나타내어, 목포항 주변의 경우 20.0‰ 이상을, 바깥쪽은 22.0‰ 이상의 염분을 나타내었다. 여름철인 8월에는 18.5~26.5‰의 범위였으며 평균 23.6 ± 1.4‰ 였 다 . 외해수와의 교환이 원활한 목포구와 고하도 주변해역은 25.0‰ 이상을 나타내었으며, 영산강 하구둑이 있는

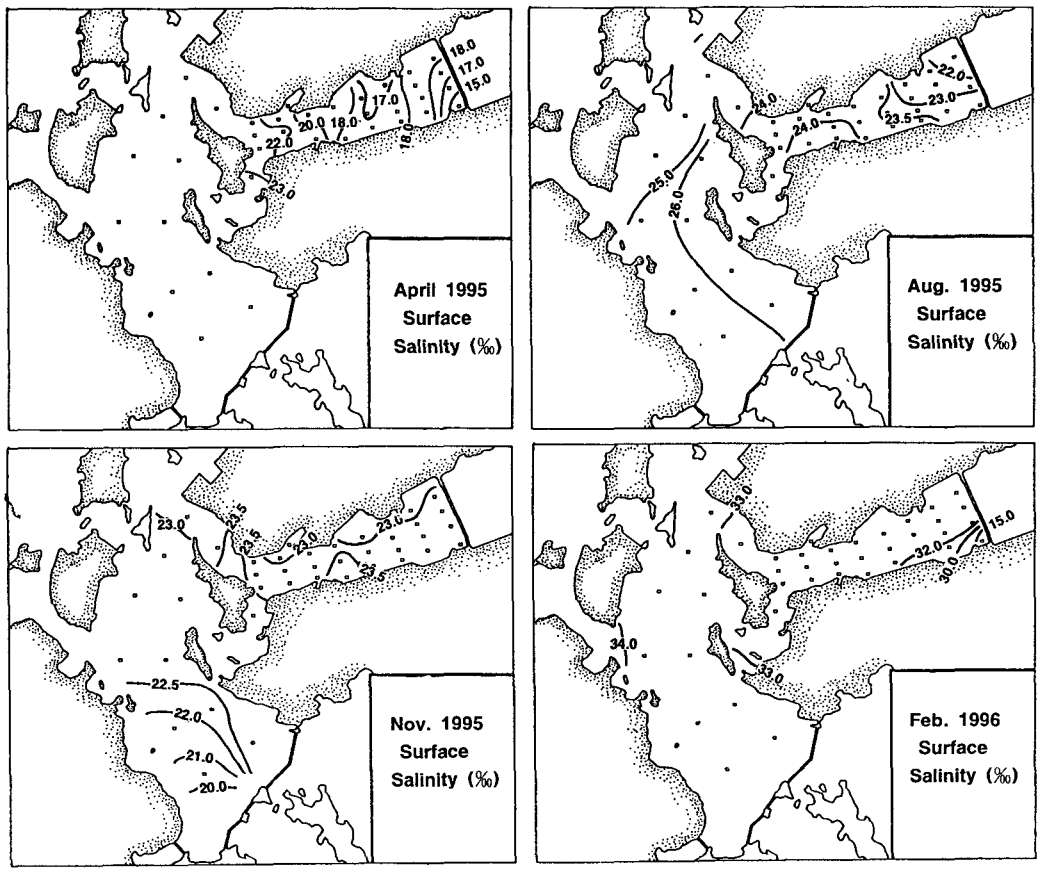

Fig. 4. Spatial distribution of surface salinity of Youngsan River estuary, Korea.

내만으로 들어오면서 염분은 점차 낮아져서 하구둑 인접 정점들에서는 23.0‰ 이하를 나타내었다. 정점 1과 2에서는 20.0‰ 이하로 상대적으로 가장 낮은 염분도를 나타내었다. 가을철인 11월에는 20.9~23.9‰ 범위로서 평균 22.9 ± 0.5‰였다. 화원반도와 영암반도 사이 해역에서는 22.5‰ 이하의 범위였으며, 영산강 하구역인 내만으로 들어오면서 점차 염분이 증가하여 23.0‰ 이상의 분포를 나타내었다. 따라서 전반적으로 고하도 외측해역은 상대적으로 저염분을, 고하도에서 영산강 하구역에 이르는 해역은 상대적으로 고염분을 나타내었으나 염분차는 크지 않았다. 다만 금호방조제 인근에 위치한 정점 40에서는 가장 낮은 20.9‰를 나타내었다. 겨울철인 2월의 경우 13.7~33.6‰ 범위였으며, 평균 32.5 ± 1.6‰ 였다. 영산강 하구둑의 수문 인근에 위치한 정점 4에서 13.7‰로서 상대적으로 가장 낮은 값을 나타낸 것을 제외하면 32.0~34.0‰의 범위를 나타내었다. 외해수와의 교환이 원활한 고하도와 목포구 사이 해역은 33.0‰ 이상을, 내만역으로 갈수록 염분도가 감소하여 32.0‰ 이상을 나타내었다.

저층 염분의 경우 봄철의 21.5‰~겨울철의 33.2‰ 범위였다(Fig. 5). 봄철인 4월의 경우, 외해측은 28.0‰ 이상을 나타내었으나, 내만역으로 들어가면서 염분이 감소하여 목포항 주변은 27.0‰ 이상을 나타내었다. 또한 영산강 하구둑 근처의 정점들에서는 25.0‰ 이하로서 상대적으로 낮은 염분도를 나타내었다. 특히 수문근처에 위치한 정점 3과 4에서는 각각 21.5‰를 나타내어 상대적으로 가장 낮은 값이었다. 표층 염분과의 차이는 4.2~8.5‰ 범위였으며, 하구역 중앙부에서의 염분차가 외해역에 비해 상대적으로 큰 양상이었다. 여름철인 8월에는 21.8 ± 27.5‰ 범위였으며 평균 24.2 ± 0.9‰였다. 외해역에서 목포항에 이르는 해역은 내만에 비해 상대적으로 염분이 높아 24.0‰ 이상의 값을 나타낸 반면, 목포항에서 영산강 하구둑이 위치한 정점들은 24.0‰ 이하의 값을 나타내었다. 그리고 고하도 주변 정점들에서는 27.0‰ 이상으로 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 표층 염분과는 0.1~5.5‰ 범위의 격차가 있었으나 봄철보다는 크지 않았다. 영산강 하구둑 인근에 위치한 정점에서는 염분차가 큰 반면 외해쪽으로 나올수록 표층 염분과의

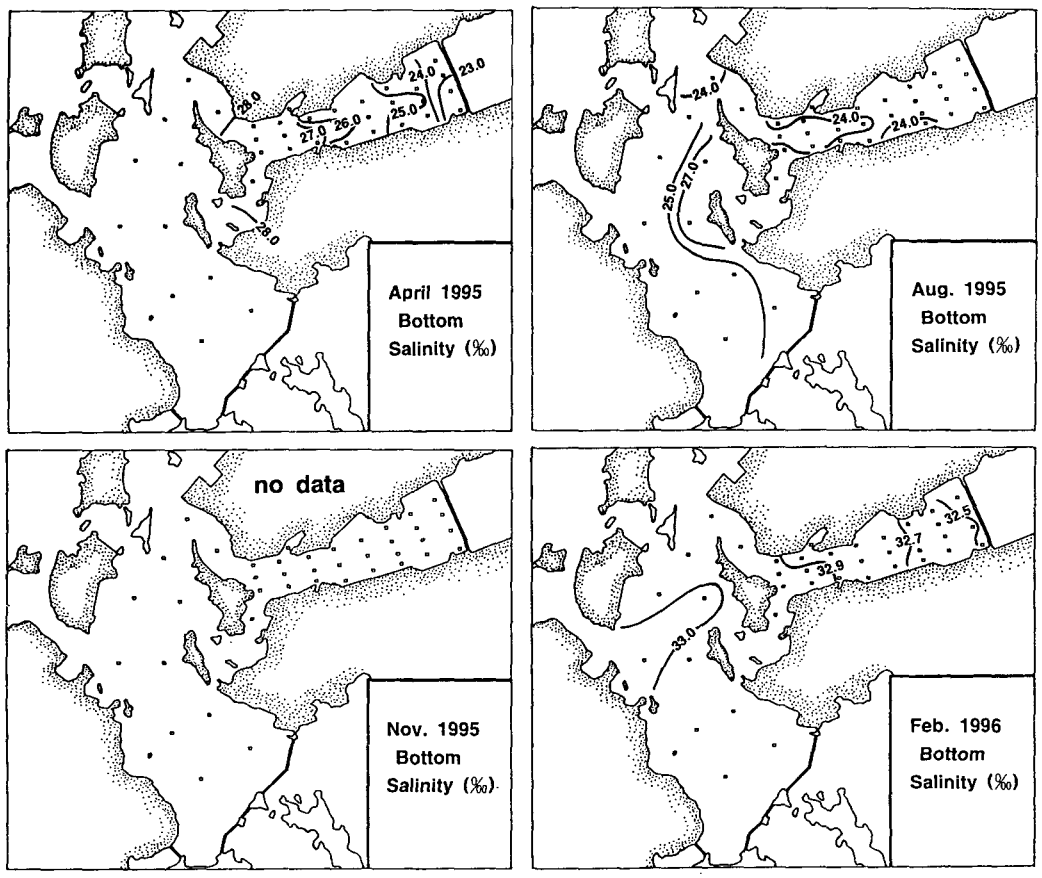

Fig. 5. Spatial distribution of bottom salinity of Youngsan River estuary, Korea.

차이는 감소하였다. 가을철인 11월에는 염분을 측정하지 못하였기 때문에 공간 분포 자료를 나타내지 못하였다. 겨울철인 2월의 경우, 30.0~33.2‰의 범위였으며 평균 32.5 ± 1.6‰였다. 외해수와의 교환이 일어나는 목포구 인근에 위치한 정점에서는 33.0‰ 이상의 값을 나타내었다. 표층염분과의 차이는 하구둑 수문이 위치한 정점 4에서 18.8‰로서 상대적으로 가장 크게 나타났는데, 그 외의 정점들에서는 1.0‰ 내외로서 표·저층수의 염분이 유사하였다.

2. 용존 산소량의 계절별 수평 분포

표층 용존산소량의 경우 여름철인 8월과 겨울철인 2월의 자료만을 사용하여 나타내었는데, 겨울철에 정점 29에서 5.1 mg/ℓ로 가장 낮았으며, 여름철에 정점 13에서 9.47 mg/ℓ으로 상대적으로 가장 높았다 (Fig. 6). 여름철인 8월에는 6.43~9.47 mg/ℓ 범위였으며 평균 7.93 ± 0.85 mg/ℓ였다. 표층 용존산소의 경우 외해수와의 교환이 비교적 활발한 고하도와 목포구 주변 해역에서는 7.0 mg/ℓ 이하의 값을 나타내었으나 내만으로 들어오면서 용존산소량이 증가하여 목포항 주변 정점들에서는 7.0 mg/ℓ 이상의 분포를 나타내었다. 그리고 영산강 하구둑과 목포항 사이의 해역은 8.0 mg/ℓ 이상의 값을 나타내었다. 따라서 외해역에서는 표층 용존산소량이 상대적으로 낮고 내만역에서는 상대적으로 높은 양상을 나타내었다. 겨울철인 2월에는 5.10~9.21 mg/ℓ 범위로서 평균 6.94 ± 0.54 mg/ℓ였다. 외해수와의 교환이 일어나는 고하도 바깥 해역에서는 7.0 mg/ℓ 이하의 분포를 나타내었으며, 내만으로 가면서 증가하는 양상을 보여 목포항을 중심으로 한 해역에서는 7.0 mg/ℓ 이상의 분포를 나타내었다. 영산강 하구둑이 있는 내만에서는 다시 감소하여 7.0 mg/ℓ 이하의 분포를 나타내었으며, 하구둑 수문 근처의 정점 4에서는 9.21 mg/ℓ 로 가장 높은 값을 나타내었다. 전반적으로 보아 내만역과 외해역은 낮은 양상이었으며, 목포항을 중심으로한 중앙부의 용존산소 값이 높았다.

저층 용존산소량을 보면 여름철의 정점 1과 5에서 0.79 mg/ℓ로서 상대적으로 가장 낮았으며, 겨울철의 정점 4에서 7.30 mg/ℓ으로 상대적으로 가장 높았다 (Fig. 6). 여름철인 8월에는 저층수의 정체가 심한 하구역 내만 해역

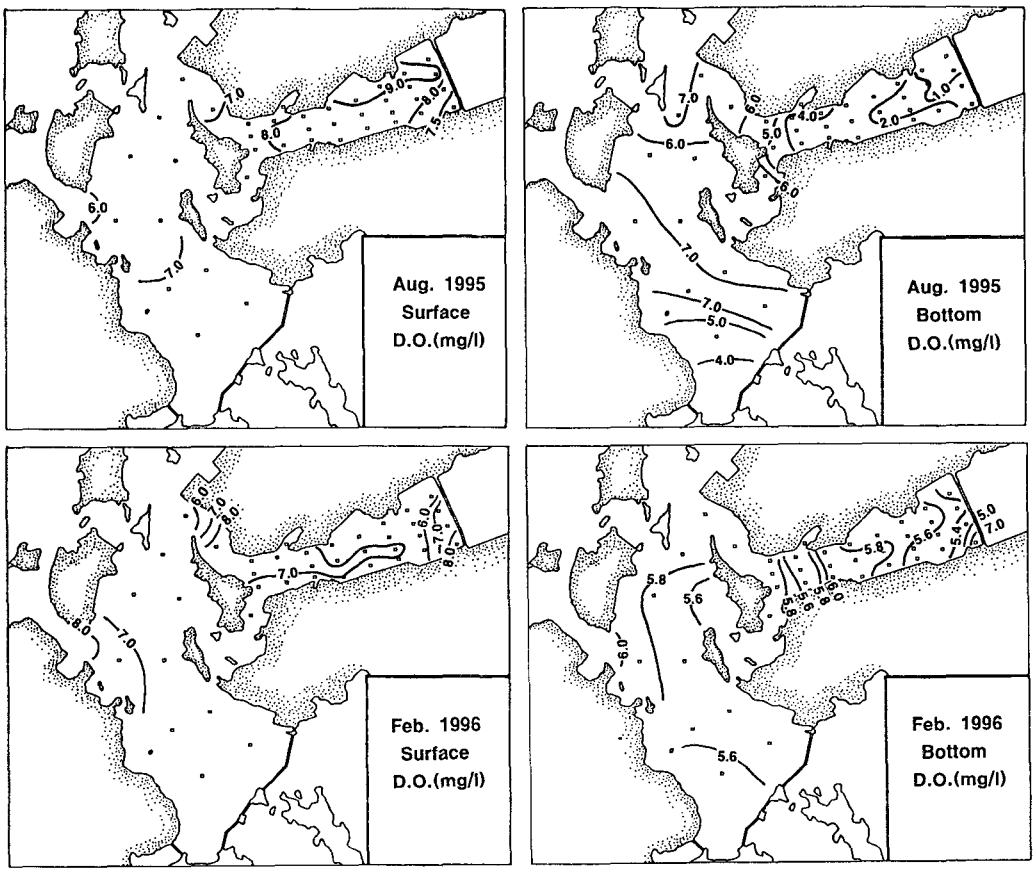

Fig. 6. Spatial distribution of dissolved oxygen concentration of surface and bottom water layer of Youngsan River estuary.

에서 2.0 mg/ℓ 이하의 값을 나타내어 저서동물의 생존에 영향을 미치는 빈산소층이 형성되었다. 그러나 외해역으로 나오면서 저층 용존산소량은 점차 증가하여 목포항 주변에는 4.0 mg/ℓ 이상의 분포를, 외해역에는 6.0 mg/ℓ 이상의 분포를 나타내었다. 내만 정점들에서는 표층 용존산소량과 7.0 mg/ℓ 정도의 큰 차이를 나타냈으며, 외해역으로 나올수록 그 차가 줄어들어 고하도와 목포구 사이 해역에서는 1.0 mg/ℓ 이하로서 거의 차이가 없었다. 겨울철인 2월의 경우, 5.13~7.30 mg/ℓ 범위로서 평균 5.76 ± 0.32 mg/ℓ이었다. 영산강 하구둑 수문 근처에 위치한 정점 4에서 7.30 mg/ℓ로 상대적으로 높은 값을 나타낸 것을 제외하고는, 전반적으로 5.0~6.0 mg/ℓ의 범위였으며 정점간에는 격차가 거의 없었다. 표층 용존산소량과의 차이도 크지 않아 2.0 mg/ℓ 이하였다. 가을철에 비해 용존산소량은 감소하였으나 정점간 차이가 거의 없이 균일한 양상을 나타내는 것이 특징이다.

3. 퇴적물의 입도조성, COD, 강열감량 및 POC의 공간분포

영산강 하구역의 퇴적상은 전반적으로 실트성 점토질로 구성되어 있다. 모래질의 함량은 정점 5에서 0.4%로 가장 적었으며 정점 36에서 23.4%로 상대적으로 높은 양상이었다. 퇴적물의 평균 입도는 7.89~9.91φ 범위로서 전정점 평균 9.12 ± 0.45φ였다. 전 정점에 걸쳐 평균 입도는 유사한 값을 나타내었으나, 고하도와 목포, 달리도 사이의 수로에 위치한 정점 30, 31, 32에서는 8.62~8.98φ 범위로서 상대적으로 조립한 입도 조성을 나타내었다. 그리고 내만으로 들어올수록 외해역에 비해 상대적으로 세립한 퇴적상을 나타내고 있다. 점토질의 함량은 31.6~86.1% 범위로서 평균 58.0%였다. 영산강 하구둑에서 목포항에 이르는 내만해역에서 점토질의 함량이 높게 나타났다 (Fig. 7).

퇴적물의 COD는 봄철인 4월과 여름철인 8월에 측정

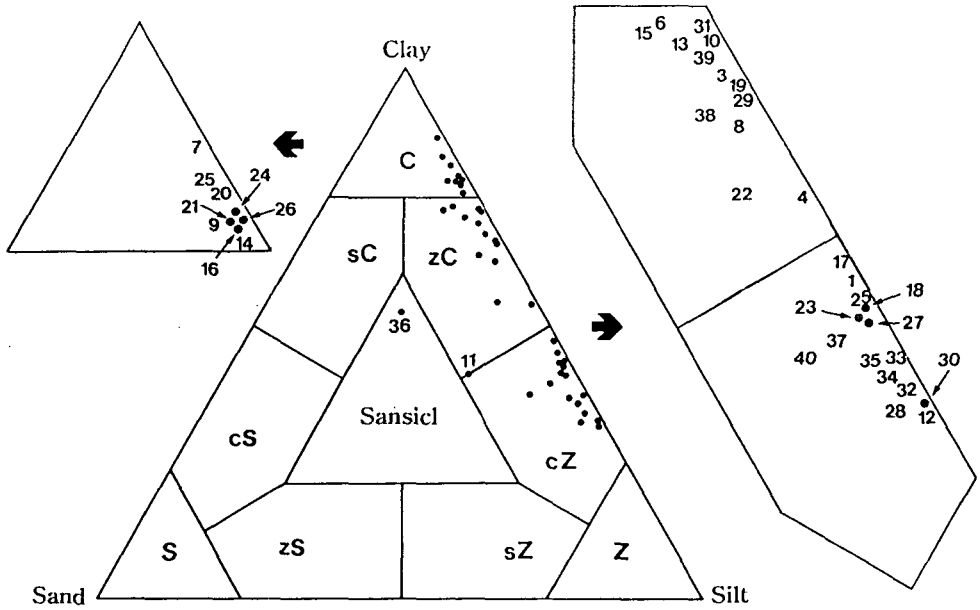

Fig. 7. Ternary diagram of the sediment type in Youngsan River estuary.
C: clay, sC: sandy clay, cS: clayey sand, S: sand, zS: slity sand, sZ: sandy silt, Z: silt, cZ: clayey silt, zC: slity clay

한 자료를 평균하여 나타내었는데, 6.15~15.49 mgO_2/g의 범위로서 평균 10.59 ± 2.64 mgO_2/g이었다. 각 정점별 공간 분포를 보면 (Fig. 8), 영산강 하구둑에서부터 고하도에 이르는 내만역에는 10.0 mgO_2/g 이상의 상대적으로 높은 함량을 나타내었으며, 화원반도와 금호 방조제에 이르는 해역에서도 10.0 mgO_2/g 이상의 높은 함량을 나타내었다. 외해역과 연결되는 수로인 목포구에서 달리도 외측에 이르는 해역에서는 8.0 mgO_2/g 이상의 분포를 나타내었으나, 내만으로 들어갈수록 약간 감소하여 7.0 mgO_2/g 이하의 값을 나타내다가 다시 증가하는 양상이었다. 내만에서도 목포와 영암반도의 육지측에 위치한 정점들에서는 10.0 mgO_2/g 이하로 상대적으로 낮은 양상이었다. 목포항내에 위치한 정점 22에서는 7.05 mgO_2/g, 영산강 하구둑 수문 근처에 위치한 정점 4에서는 6.92 mgO_2/g, 그리고 고하도 앞에 위치한 정점 33에서는 6.48 mgO_2/g, 정점 39에서는 6.12 mgO_2/g로서 상대적으로 낮은 값이었다. 내만에 위치한 정점 6에서는 15.49 mgO_2/g, 정점 7에서는 14.75 mgO_2/g로서 상대적으로 가장 높은 값을 나타내었다.

퇴적물의 강열감량은 봄철인 4월과 여름철인 8월에 측정한 값을 평균하여 나타내었는데, 3.35~15.45% 범위로서 평균 6.96 ± 1.91%였다 (Fig. 9). 내만의 경우에는 COD 분포양상과 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 금호 방조제 인근에 위치한 정점 39와 40에서는 각각 10.6% 및 15.5%로서 상대적으로 가장 높은 값을 나타내었다. 수로인 목포구 근처에서는 상대적으로 낮은 값을 나타내었으나, 내만으로 들어오면서 점차 증가하여 하구역에 폭넓게 7.0% 이상의 값을 나타내었다. 그러나 영산강 하구둑 수문근처에 위치한 정점 4에서는 3.9%로서 가장 낮은 값이었다.

퇴적물의 입자성 유기탄소량 (POC)은 겨울철인 2월의 경우 0.61 ± 1.39%로서 평균 1.07 ± 0.16%였다 (Fig. 10). 공간 분포 양상을 보면 수로인 목포구에서 고하도에 이르는 외측해역은 1.0% 이하의 값을 나타내었으며, 금호

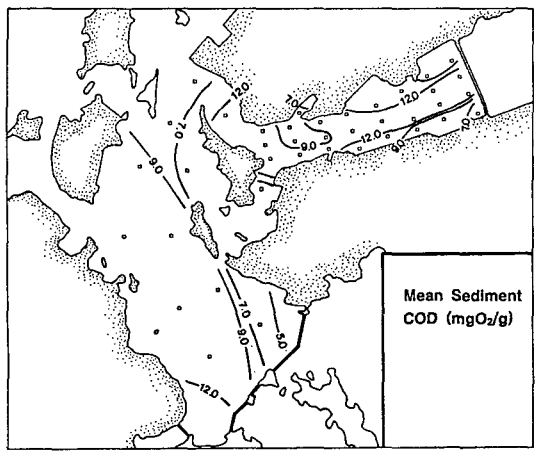

Fig. 8. Spatial distribution of COD in sediment of Youngsan River estuary.

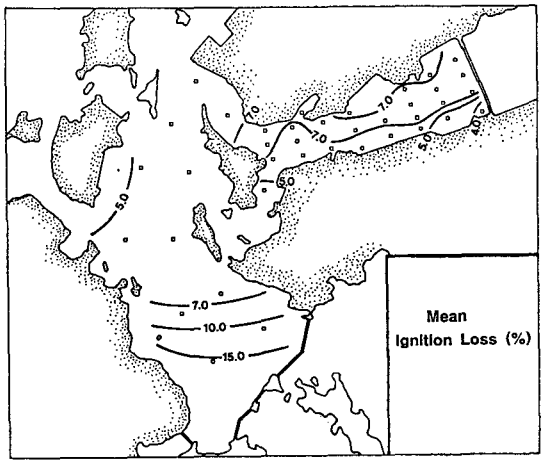

Fig. 9. Spatial distribution of ignition loss in sediment of Youngsan River estuary.

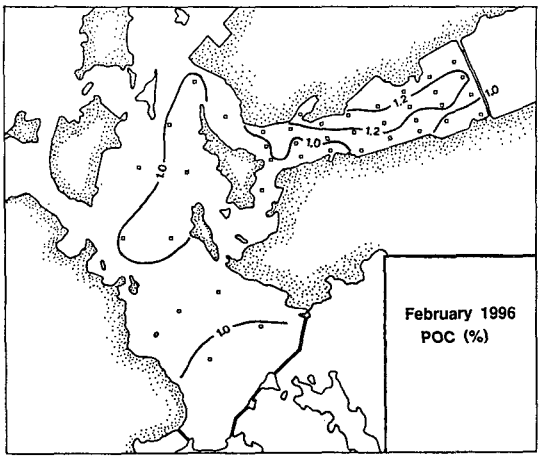

Fig. 10. Spatial distribution of POC in sediment of Youngsan River estuary.

방조제 근처와 고하도 앞 해역 그리고 목포항 인근에서 영산강 하구둑에 이르는 내만역은 1.0% 이상의 값을 나타내었다. 특히 목포항을 포함하여 내만의 중심부에 해당되는 해역에서는 1.2% 이상으로 상대적으로 높은 값을 나타내었다.

이상과 같이 퇴적 환경은 외해역에서 내만역으로 들어올수록 입도가 세립해지고 퇴적물 내의 유기물 함량이 증가하는 전형적인 반폐쇄적인 내만환경의 특징을 잘 보여주고 있다.

4. 환경요인의 분석

영산강 하구역에서 측정된 여러가지 환경요인 가운데 저서동물 분포에 영향을 미칠 것으로 판단되는 저층수의 수온, 용존산소, 퇴적물의 평균 입도, 점토 함량, COD 등 5개의 환경 요인을 사용하여 주성분 분석을 실시하였다. 퇴적물의 유기물을 나타내는 환경요인으로는 COD 자료만을 사용하였다.

그 결과 정점군은 제 1축을 중심으로 3개 정점군으로 나누어졌다. 제 1축과 2축은 주어진 환경요소를 각각 36 % 및 20%를 설명하고 있으며, 전체 환경 요소의 56%를 설명하고 있다. 제 1축의 경우에는 양의 방향에 저층 용존산소량이 적재되어 있으며, 2축의 경우 양의 방향에 점토 함량이 적재되어 있다. 따라서 영산강 하구역의 경우 저층 용존산소량의 함량에 따라 내만과 외해역으로 구분되고, 다시 이질 함량에 따라 정점군이 구분되는 것으로 나타났다. 주성분 분석결과 구분된 정점군을 도시하면 Fig. 11과 같다.

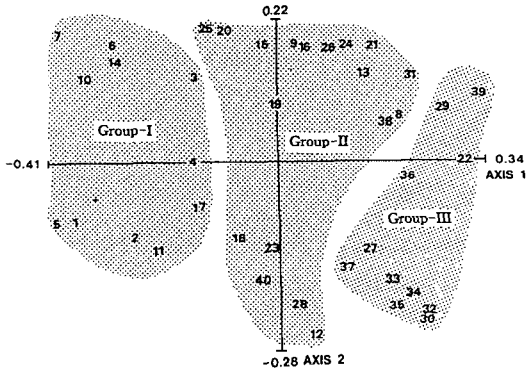

Fig. 11. PCA plot in each station of Youngsan River estuary.

고 찰

1. 영산강 하구역의 무기 환경 요인의 시·공간 분포

영산강 하구역의 표층수온 분포는 봄철, 가을철 및 겨울철의 경우 하구둑 인근의 내만역이 외해역에 비해 낮은 양상이었으며, 이와는 반대로 여름철에는 하구둑 근처인 내만역의 표층수온이 높았다. 이러한 현상은 육지로 둘러싸인 반폐쇄적인 내만역의 전형적인 특징으로서, 기온의 계절적 변화에 의한 연안수의 가열과 냉각, 그리고 해수 온도보다 높거나 혹은 낮은 담수의 유입 때문이다. 그러나 저층수의 수온이 여름철에는 외해역보다 내만역이 낮은 양상을 나타내고 있는데, 이는 고온의 표층수로 인한 수온 약층의 형성으로 표, 저층수의 혼합이 제한되고 있음을 나타낸다. 즉, 영산강 하구역에서 여름철 표, 저층 수온의 차이는 외해역의 경우 약 2℃였으나, 하구둑에 인접한 내만역에는 최대 약 7℃의 차이를 나타내고

있다. 그러나 여름철을 제외한 다른 계절에는 표,저층수온의 차이는 약 1℃ 내외로서 거의 차이가 없었다. 따라서 여름철의 고온의 표층수로 인한 상하층 수괴의 혼합 제한으로 상대적으로 낮은 수온의 저층수가 존재하게 된다.

한편, 하구역에서 담수호의 수위조절을 위한 비정기적인 담수의 방출은 하구역의 표층 염분 변화에 영향을 미칠 수 있다. 즉, 영산강 하구역에는 계절에 관계 없이 하구역으로 담수가 유입되는 경우에는 표층염분이 저하되는 현상을 나타내었다. 특히 풍수기에 대량으로 유입되는 담수는 광범위하게 표층염분의 저하를 초래한다. 그러나 표층수의 염분 저하는 저층수괴에 직접적인 영향은 미치지 않는 것으로 나타났다. 일반적으로 담수가 바다로 직접 유입되는 하구역은 염분의 구배가 하구역의 저서동물 군집을 결정하는 하나의 요인으로 알려져 있다. 한강이 유입되는 경기만 해역의 경우 하구역 인접해역인 염하수로 상부해역까지도 담수에 의해 군집이 조절되는 것으로 지적되었다 (Hong and Yoo, 1996). 그러나 하구둑이 담수와 해수를 차단함으로서 정기적인 유입 담수량이 그다지 많지 않은 영산강 하구역은 저층 염분의 구배가 크지 않아 저서동물 군집의 공간 분포에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

그러나 여름철의 고온 저염의 표층수는 밀도 약층을 형성하여 표 · 저층 수괴의 혼합을 제한하게 되고 저층빈산소 수괴의 형성을 촉진할 수 있다. 따라서 영산강 하구역에서 비정기적인 하구둑 수문을 통한 담수의 방류시기가 여름철 고수온에 의한 성층 형성시기와 일치할 경우에는 성층형성이 더욱 가속화 되고 빈산소 수괴형성이 촉진될 수 있다.

영산강 하구역의 환경 요인 가운데 특징적인 것은 여름철 저층수괴의 산소결핍 현상을 들 수 있다. 빈산소 수괴는 용존산소량이 2.0 mg/ℓ이하인 수괴를 지칭하는데 (Pearson and Rosenberg, 1978), 우리나라의 경우 진해만에서 여름철 광범위하게 형성되는 것으로 보고되어 있다 (Hong, 1987; Lim, 1993). 이와 같은 빈산소수괴의 형성은 하구역을 포함한 내만의 경우 여름철 표층수와 저층수의 수온차이 및 강우로 인한 염분 차이로 인해 형성되는 성층현상이 주된 원인이다. Phil et al. (1991)은 Chesapeake Bay의 York River 하구역에서 표층염분의 저하와 표층수온의 증가로 인한 성층이 빈산소수괴 형성의 원인이라고 지적하였다. 영산강 하구역의 경우에도 여름철에는 외해역의 저층수온이 25.0~26.0℃ 범위로서 표층수온과 약 2.0℃의 차이를 나타내었으나, 내만에서의 저층수온은 24.0℃ 이하의 분포를 나타냄으로서, 표층수온과는 최대 약 7.0℃ 이상의 차이가 관찰되었다. 따라서 해수교환의 부족, 표층수온 상승 및 담수의 유입에 따른 표층염분의 감소로 인해 성층이 형성되어 표층용존산소의 저층으로의 공급이 제한을 받게 된다. 이와 같은 성층형성이 입도가 세립하고 유입 유기물이 풍부한 지역에서 발생할 경우 호기성 박테리아에 의한 유기물의 분해로 인해 용존산소가 소모됨으로써 산소결핍 현상은 더욱 가속화된다 (Hong, 1987; Lim, 1993).

영산강 하구역 퇴적물의 강열감량은 3.35~15.45%로서 평균 6.96%였다. 이러한 값은 Yoo et al. (1993)이 목포 인근에 위치한 임자도와 낙월도 사이의 해역에서 보고한 0.14~5.12%에 비하면 대단히 높은 값이며, 대표적인 유기오염 해역인 진해만에서 Cho et al. (1982)에 의해 보고된 8.1~14.2%와 유사한 값이었다. 특히 진해만에서는 최고치가 14.2%였으나, 본 조사 해역의 정점 40에서는 15.45%로 나타났다. 입도가 상대적으로 세립한 내만해역에서 높고 외해역으로 나갈수록 낮은 값을 나타내었는데, 금호 방조제 인근에 위치한 정점 40에서 최고치를 나타낸 것은 이 주변으로부터의 하수 방류가 그 원인으로 추정된다.

한편 퇴적물의 COD는 6.15~15.49 mg O_2/g으로서 진해만의 9.7~38.5 mg O_2/g (Cho et al., 1982)에 비해서는 상대적으로 낮은 값이었으나, 가막만 어류양식장 주변 저질의 COD 수치인 3.0~14.5 mg O_2/g 등과 비슷한 양상이었다 (이 등, 1997). 영산강 하구역의 퇴적물 POC 함량은 0.61~1.39%로서 우리나라의 대표적인 유기오염 해역인 진해만 입구해역이 3.0%인 것을 감안한다면 (Lim, 1993) 높지 않은 양상이다. 그러나 영산강 하구역 주변의 해수교환이 원활하지 못할 뿐 아니라, 주변에서 가동중이거나 건설되고 있는 공장 및 신도시로부터의 유기 오염물의 유입, 목포시 및 항으로부터 미처리 유기오염물의 유입 등을 고려한다면 향후 퇴적물의 POC 및 COD는 더 증가할 것으로 보인다. 특히 영산강으로부터 주기적인 담수 방류로 인해 강으로부터의 질소 및 인 유입량이 증가될 경우, 반폐쇄적인 만에서의 부영양화로 인한 적조 발생이 예상되고 있다. 이러한 부영양화는 궁극적으로 입자성 물질의 농도를 증가시켜, 퇴적물의 유기물 증가에 기여하게 되고, 저서생태계에 영향을 미칠 수 있다 (Hong et al., 1997).

2. 저서환경 요소들에 의한 저서환경의 구분

영산강 하구역의 저서환경 요소들을 이용하여 주성분 분석한 결과 40개 조사 정점들은 3개 정점군으로 나누어졌는데, 구분된 정점군은 용존 산소량 및 퇴적물의 점토 함량과 상관 관계가 높았다. 이와 같이 구분된 각 정점

군들에 대한 특징을 요약하면 Table 1과 같다. 표층 수온의 경우 각 정점군 간에는 큰 차이가 나타나지 않았으나, 표층 염분은 내만역에 위치한 정점군 I이 다른 정점군에 비해 상대적으로 낮았으며, 외해측에 위치한 정점군 III이 상대적으로 가장 높았다. 표층 용존산소는 내만역이 외해역에 비해 상대적으로 낮은 값을 나타내었다. 한편 저층 수온은 정점군 I에서 가장 낮고 외측인 정점군 III으로 갈수록 증가하는 양상이었다. 저층 염분도 정점군 I에서 정점군 III으로 갈수록 증가하는 양상이었으며, 특히 여름철 저층 용존산소 농도는 정점군 I에서 1.48 mg/ℓ로서 빈산소수괴가 형성되었으며, 정점군 II와 III으로 갈수록 증가하는 양상이 뚜렷하였다. 정점군 I의 경우 퇴적물의 입도도 가장 세립한 양상이었으며, 이와 함께 POC, COD 함량도 가장 높은 값을 나타내었다.

Table 1. Environmental characteristics at each stational group in Youngsan estuary, southwest coast of Korea

Group	I	II	III
Depth range (m)	5.1~22.5	6.0~26.4	5.5~29.9
Surface layer			
Water temperature (℃)	16.1 ± 8.6	16.2 ± 8.2	15.9 ± 7.9
Salinity (‰)	23.43 ± 5.51	25.03 ± 4.79	26.28 ± 4.25
Dissolved oxygen (mg/ℓ) (August)	8.51 ± 0.49	8.18 ± 0.70	6.95 ± 0.44
Bottom layer			
Water temperature (℃)	14.2 ± 7.0	14.6 ± 7.3	15.2 ± 7.7
Salinity (‰)	26.04 ± 3.98	27.12 ± 3.74	27.97 ± 3.82
Dissolved oxygen (mg/ℓ) (August)	1.48 ± 0.57	4.30 ± 1.08	6.80 ± 0.49
Sediment			
Mean ϕ (range)	9.93 ± 0.45 (8.27~9.91)	9.20 ± 0.38 (7.91~9.63)	8.84 ± 0.43 (7.89~9.29)
POC (%) (range)	1.19 ± 0.11 (0.94~1.33)	1.03 ± 0.15 (0.61~1.28)	1.01 ± 0.16 (0.75~1.39)
COD (mg O_2/g) (range)	11.79 ± 2.86 (6.32~15.49)	11.13 ± 1.93 (6.98~13.82)	8.51 ± 1.87 (6.12~12.08)
Ignition Loss (%) (range)	7.05 ± 1.22 (3.35~8.06)	7.15 ± 2.23 (4.28~15.45)	6.56 ± 1.47 (4.63~10.56)

요 약

영산강 하구역의 저서동물 군집구조 연구 일환으로 이 일대 해역의 저서환경을 조사하였다. 조사해역에 40개 정점을 설정하고 1995년 4월부터 1996년 2월까지 계절별로 표층 및 저층수괴의 수온, 염분 및 용존산소, 그리고 표층퇴적물의 입도분석과 함께 강열감량, COD 및 POC를 측정하였다. 수온은 표층의 경우 4.1~29.8℃, 저층의 경우 4.0~27.0℃범위였다. 염분의 경우 표층은 15.1~33.6‰, 저층은 21.5~33.2‰범위였다. 표층 수온은 여름철에는 내만역이 외측에 비해 높은 양상이었으며, 가을부터 봄까지는 내만역과 큰 차이를 나타내지 않았다. 저층수온은 여름철에 내만역에 형성된 성층으로 인해 외해역에 비해 상대적으로 낮은 양상이었다. 표층 및 저층염분은 담수가 간헐적으로 유입되는 내만역이 외해역에 비해 전 계절에 걸쳐 통해 낮은 값을 나타내었다. 용존산소는 표층의 경우 5.1~11.2 mg/ℓ범위였으며 저층의 경우 0.79~10.2 mg/ℓ였다. 특히 여름철에는 하구둑에서 목포항에 이르는 내만역의 광범위한 해역에 2.0 mg/ℓ 이하의 저층빈산소수괴가 형성되었다. 퇴적물의 평균입도는 9.12 ± 0.45 ϕ로서 하구둑에서 외해역으로 나갈수록 입도가 조립해지는 양상이었다. 퇴적상은 내만역에는 실트성 점토질, 외측역에는 점토성 실트질의 퇴적상이었다. 퇴적물의 COD는 6.15~15.49 mg O_2/g범위로서 평균 10.59 ± 12.64 mg O_2/g였으며, 강열감량은 3.35~15.45% 범위로서 평균 6.96 ± 1.91%였다. POC는 0.61~1.39%범위로서 평균 1.07 ± 0.16%였다. 이들 퇴적물 환경요소들의 공간분포 양상은 내만역에서 높고 외해역으로 갈수록 감소하는 양상을 나타내었다.

저층수괴의 수온, 용존산소량, 퇴적물의 평균 입도, 점토 함량, COD 등 5가지 환경 요인을 사용하여 주성분 분석을 실시한 결과 영산강 하구역은 저층수괴의 용존산소량과 퇴적물의 점토 함량에 따라 3개의 정점군으로 구분되었다. 영산강 하구둑에서 목포항 주변까지를 포함하는 내만역에 위치한 정점군은 표층염분과 저층수온이 낮으며, 입도는 상대적으로 세립하며 유기물 함량이 높고 여름철 빈산소 수괴가 형성되는 정점군이다. 고하도와 화원반도로 둘러 싸이고 목포구 수로를 통해 외해역과 면해 있는 정점군에서의 퇴적물 입도는 상대적으로 조립하며 유기물 함량은 낮은 양상이었다. 또한 여름철에도 산소결핍 현상은 발생하지 않았으며, 저층수온과 저층염분도 다른 정점군에 비해 상대적으로 높은 양상이었다. 한편 목포항 주변에서부터 외해역과의 중간에 위치한 정점군에서의 제환경 요소들은 두 정점군의 중간값을 나타내고 있다. 결국, 각 정점군의 점토 함량의 차이 및 세립한 입도와 높은 유기물 함량, 그리고 빈산소 수괴의 출현은 영산강 하구역에서 저서동물의 공간분포 양상에 영향을 미칠 수 있는 특징적인 환경요인이라고 판단된다.

참 고 문 헌

Ansari, Z. A., B. S. Ingole and A. H. Parulekar. 1986. Effect of high organic enrichment of benthic polychaete population in an estuary. Mar. Pollut. Bull. 17 (8), 361~365.

Beukema, J. J. 1991. Changes in composition of bottom

fauna of a tidal-flat area during a period of eutrophication. Mar. Biol. 111, 293~301.

Cho, C. H., H. S. Yang, K. Y. Park and M. K. Youm. 1982. Study on bottom mud of shellfish farms in Jinhae Bay. Bull. Korean Fish. Soc. 15 (1), 35~41.

Choi, J. Y., H. Y. Choi and M. S. Seo. 1995. Physical and sedimentological changes in the Keum estuary after the gate-close of Keum River Weir. J. Korean Soc. Oceanogr. 30 (4), 262~270 (in Korean).

Fabricant, R. 1984. The effect of sewage effluent on the population density and size of the clam *Parvilucina tenuisculpta*. Mar. Pollut. Bull. 15 (7), 249~253.

Friligos, N. and A. Zenetos. 1988. Elefsis Bay anoxia: nutrient conditions and benthic community structure. P.S. Z.N.I. Mar. Ecol. 9 (4), 273~290.

Hong, J. S. 1987. Summer oxygen deficiency and benthic biomass in the Chinhae Bay System. J. Oceanol. Soc. Korea 22 (4), 246~256.

Hong, J. S. and J. W. Yoo. 1996. Salinity and sediment types as sources of variability in the distribution of the benthic macrofauna in Han estuary and Kyonggi Bay, Korea. J. Korean Soc. Oceanogr. 31 (4), 217~231.

Hong, J. S., R. H. Jung, I. S. Seo, K. T. Yoon, B. M. Choi and J. W. Yoo. 1997. How are the spatio-temporal distribution patterns of benthic macrofaunal communities affected by the construction of Shihwa dike in the west coast of Korea ?. Bull. Korean Fish. Soc. 30 (5), 882~895 (in Korean).

Hughes, R. N., D. L. Peer and K. H. Mann. 1972. Use of multivariate analysis to identify funtional components of the benthos in St. Margaret's Bay, Nova Scotia. Limnol. Oceanogr. 17 (1), 111~121.

Kim, G. S. 1997. The characteristics of water quality in Mokpo Harhour (I)-Centering on organic pollution and dissolved oxygen in summer. J. Soc. Maritime Safety 3 (1), 99~109 (in Korean).

KORDI. 1995. Marine environmental assessment based on the benthic faunal communities. KORDI G-7 project technical report. 339 pp. (in Korean).

Lim, H. S. 1993. Ecology on the macrozoobenthos in Chinhae Bay of Korea. Ph. D thesis. Pukyung Univ. 311 pp. (in Korean)

Lim, H. S., K. Y. Park, B. S. Ihm and J. S. Lee. 1997. Macrozoobenthic community on the mud-tidalflat around Mokpo coastal area, Korea. Korean J. Ecology 20 (5), 355~365 (in Korean).

Llanso, R. J. 1991. Tolerance of low dissolved oxygen and hydrogen sulfide by the polychaete *Streblospio benedicti*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 152, 165~178.

McIntyre, A. D. 1978. The benthos of the western North Sea. Rapp. P.-v. R un Cons. int. Explor. Mer. 172, 405~417.

Park, K. Y. 1984. On phytoplankton of the Mokpo Bay in Spring. Bull. Inst. Littoral Biota, Mokpo Nat'l Univ. 1 (1), 57~65 (in Korean).

Park, K. Y. 1985. Seasonal changes of plankton diatoms of the Haenam Bay. Bull. Inst. Littoral Biota, Mokpo Nat' l Univ. 2 (1), 23~32 (in Korean).

Park, Y. J. 1987. Ecological survey on the marine environments in Yeongsan River estuary before and after the enclosure of a dam. M. S. thesis, Chosun Univ. 68 pp. (in Korean)

Pearson, T. H. and R. Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 16, 229~311.

Phil, L., S. P. Baden and R. J. Diaz. 1991. Effects of periodic hypoxia on distribution of demersal fish and crustaceans. Mar. Biol. 108, 349~360.

Shin, S. 1985. A study on the benthic community in Haenam Bay, Korea. Bull. Inst. Littoral Biota, Mokpo Nat'l Univ. 2 (1), 41~55 (in Korean).

Shin, S. 1993. Study on the environment and benthos in the intertidal zone of Haenam peninsula, Korea. Bull. Korean Fish. Soc. 26 (1), 63~75 (in Korean).

Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Board of Canada. 310 pp.

Yang, D. B. and J. S. Hong. 1988. On the biogeochemical characteristics of surface sediments in Chinhae Bay in September 1983. Bull. Korean Fish. Soc. 21 (4), 195~205.

Yoo, H. S., Y. K. Koh and S. O. Yoo. 1993. Sedimentary environments in the coastal areas of Imja to Nakweol Islands. J. Oceanogr. Soc. Korea 28 (3), 241~258 (in Korean).

荒川 清. 1980. 底質調査法. In 水質汚濁調査指針. 日本水産資源保護協會編. 恒省社 厚生閣. pp. 237~270.

여수수대. 1992. 목포신도심 조성 II 단계 매립사업에 따른 어업권피해 영향 조사보고서. 여수수대수산과학연구소. 320 pp.

이필용. 강영실. 박종수. 김형오. 김성수. 최정일. 최우정. 임현식. 1997. 남해 연안어장 환경 오염 및 적조조사. 1996년도 남해수연사업보고서. 417~459.

1997년 11월 18일 접수
1998년 5월 4일 수리