

## 진해만 입구해역의 표층 퇴적물 특성과 저서환경

현상민\* · 최진우 · 최진성 · 이태희  
한국해양연구원 남해연구소

### Surface Sediment Characteristics and Benthic Environments in the Mouth of Jinhae Bay, Korea

Sangmin HYUN\*, Jin-Woo CHOI, Jin-Sung CHOI and Taehee LEE  
South Sea Institute, KORDI, Geoje 656-830, Korea

Surface sediments in the mouth area of Jinhae Bay were investigated to evaluate the benthic environment in terms of geochemical criteria and macrobenthos abundance. Characteristics of the surface sediment distribution exhibited muddy sediments in the most part of study area. Some mixed sediments of coarse sand and mud were distributed along the coastal area of Geoje Island and around the Jeo Islands. Organic matter from ignition loss and total organic carbon from CHNS varied between 8.8-1.7%, and 4.62-0.77%, respectively. The source of organic matter based on the C/N ratio was mixed with *in situ* biogenic and terrigenous organic matter. The C/S ratio of organic matter also suggested both an anoxic bottom condition in several parts of the study area. The content of hydrogen sulfide in surface sediment was extremely variable and showed spatio-temporal variation from site to site. In several locations, the content of hydrogen sulfide as an index of eutrophication was over the critical value (0.2 mg/g), suggesting that several parts of the study area were not favorable for the habitat of macrobenthos. The relationship among the number of individuals of macrobenthos, hydrogen sulfide, and organic matter was not clear, but a potential negative relationship between individuals of macrobenthos and hydrogen sulfide was indicated.

Key words: Geochemical criteria, Sedimentary facies, Organic matter, H<sub>2</sub>S, Macrobenthos

#### 서론

연안해양의 저서환경 변화는 지화학적, 생물학적, 물리학적 제 요인과 밀접하게 관계되고 있으며, 특히 지질학적, 퇴적학적 관점에서 저서환경과 밀접히 관계되는 것은 퇴적물의 조성이라 할 수 있다. 퇴적물의 조성과 더불어 저서환경에 영향을 미치는 것으로는 퇴적물중에 포함된 유기물함량, 황화수소 함량, 퇴적물의 공급과 관계되는 부유물질의 함량 및 부유물질에 포함된 총 탄소함량, 퇴적물중의 중금속 농도 등을 들 수 있다.

이 연구가 수행된 진해만 입구인 거제도-가덕도간 주변 연안역에서는 잠수기 어업으로 개조개 (*Saxidomus purpuratus*)와 함께 왕우럭 (*Tresus keemae*) 등이 어획되는 지역이다 (KORDI, 2001; 2002). 이러한 백합과의 이매패류는 국내 전역에서 발견되고 그 분포는 조간대에서부터 수심 약 40 m까지로 알려지고 있으며, 전 세계적으로는 중국의 산둥, 일본의 혼슈 등 북태평양 연안에 분포하는 것으로 알려지고 있다 (Wei et al., 1982). 최근에는 어패류 자원이 점점 감소하는 것으로 보고되고 있어서 어패류 자원에 대한 관심이 집중되고 있으며 자원의 가입과 유지, 그리고 모패의 보존을 위해 그에 따른 환경관리에 노력이 수행된 지역에서도 연연 감소하는 개조개 생산량에 따라 개

조 집중될 필요성이 제기되었다 (KORDI, 2001; 2002). 연구가 개의 성장을 지배하는 저서환경에 대한 연구 및 개조개의 생산량을 높이기 위한 다양한 연구를 하고 있다 (KORDI, 2001; 2002).

어장이나 연안역에 대한 저서환경을 평가하는 방법으로는 저서동물의 종조성을 이용하는 방법과 지화학적 방법 등을 들 수 있다 (Yokoyama, 1995; Lee et al., 1997; Hyun et al., 2002; Choi et al., 2003). 이 연구에서는 연구대상 지역에 대한 지화학적 지시자와 저서동물에 의한 평가로 저서환경을 평가하였다.

이 연구는 이상과 같은 점을 고려하여 진해만 입구인 거제도-가덕도 사이의 해역에 대한 해양 지질학적 저질 특성과 저질 특성을 지배하는 여러 지화학적 인자를 조사하여 저질의 지화학적, 퇴적학적 환경을 고찰할 뿐만 아니라 저서생물 및 패류의 서식지로서 적합한 저서환경이 유지되고 있는지를 평가할 목적으로 수행하였다.

#### 재료 및 방법

표층퇴적물의 특성을 파악하기 위하여 총 74정점 (2001년에 54정점, 2002년에 20개 정점)에서 반빈그랩을 이용하여 표층퇴적물을 채취하였다 (Fig. 1). 표층퇴적물 채취는 그랩을 해저면에 낙하시켜 선상으로 끌어올린 후 교란이 없다고 판단되는 부분에서 깊이 약 2 cm 이내의 표층 퇴적물만을 채취

\*Corresponding author: smhyun@kordi.re.kr

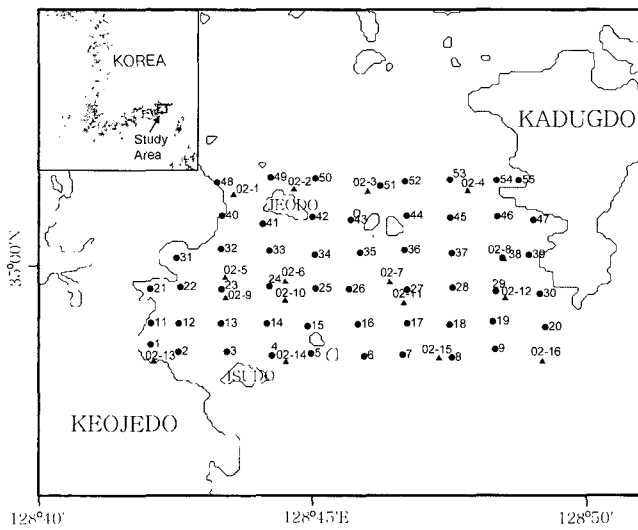


Fig. 1. Study area and sampling points of this study. Solid circles are the collection points in 2001 and solid triangles are the added sampling points in 2002.

하였다. 채취된 시료는 시료봉지에 담아 실험실로 운반하여 분석하였다. 실험실에서는 동일한 시료에 대해 퇴적물의 입도 (grain-size) 특성, 유기물 함량 (organic carbon content), 탄산염 함량 (carbonate content), 황화수소 (H<sub>2</sub>S) 함량 등을 분석하였다.

퇴적물의 지화학적 특성과 퇴적물에 서식하는 대형저서생물과의 관계를 보기 위해 2000년 10월 연구해역의 16개 정점에서 채집된 대형저서동물의 총 출현 개체수와 생물량을 사용하였다. 대형저서동물의 채집에는 반빈그림 (채집면적 0.1 m<sup>2</sup>)으로 각 정점에서 2회씩 인양하여 선상에서 1 mm 체를 사용하여 걸렀고, 채집된 생물시료는 10% 해수로 중화된 포르말린으로 고정하였다 (KORDI, 2001).

**입도분석 (grain-size analysis)**

실험실로 옮긴 퇴적물은 과산화수소 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)와 염산(HCl)으로 유기물과 탄산염을 제거한 후 습식채질 (wet sieving)에 의해 입경 4φ (63 μm)를 기준으로 조립질 (coarse) 퇴적물과 세립질 (fine) 퇴적물 입자를 구분하였다. 4φ 이하의 조립질 입자는 건식채질 (dry sieving)에 의해 무게 백분율을 구하였고, 4φ 이상의 세립질 시료는 전체를 대표하는 2 g 정도를 취해 0.1% 확산제 용액 300 mL을 넣고 균일하게 분산시킨 후 자동 입도 분석기 (Sedigraph 5100)로 분석하였다. 퇴적상 분류는 Folk and Ward (1957)방법에 의해 분류했으며 그 외 각 입도의 특성을 나타내는 조직변수 (textural parameters)인 평균입도 (mean grain size), 분급도 (sorting), 왜도 (skewness), 첨도 (kurtosis)는 통계처리를 하여 그 값을 구했다.

**유기물, 총 유기탄소 및 탄산염 함량**

표층 퇴적물에 대한 총 유기물 함량 (organic matter; OM)은 1차년도 얻어진 퇴적물에 대해서는 강열감량법 (ignition loss;

Dean, 1974)에 의해 수행되었다. 즉, 일정량의 퇴적물을 100°C 정도에서 24시간 건조시켜 건조무게를 천평한 후 다시 550°C 에서 3시간 이상 연소시킨 후 천평하여 함량차이에 의해 유기물의 함량을 측정하는 것이다. 총유기탄소 (total organic carbon; TOC) 및 탄산염 (biogenic carbonate) 함량은 한국해양연구원 남해연구소가 보유하고 있는 CHNS 분석기 (EA1112)를 이용하여 분석하였다. 실험실로 옮겨 잘 건조시킨 퇴적물을 곱게 분말화하여 다시 일정시간 건조시킨 후 수 십 mg을 취해 총 탄소 (total carbon; TC)와 총 질소 (total nitrogen)를 직접 측정하였다. TOC는 동일한 시료에 대해 1N의 약한 염산으로 무기탄소 (inorganic carbon)를 제거한 후 같은 방법에 의해 분석하였다. 생물기원 탄산염 함량은 TOC 분석이 끝난 후 이미 분석한 TC와의 함량차이에 의해 다음과 같은 방법으로 계산하였다.

$$\text{탄산염 함량 (\%)} = [\text{TC (\%)} - \text{TOC (\%)}] \times 8.33$$

동일한 시료에 대해 중복측정한 결과 분석오차는 ±5% 이내로 나타났다.

**황화수소 함량**

퇴적물속에 포함된 황화수소 함량 (H<sub>2</sub>S)은 유기물함량이나 퇴적물중의 화학적 산소요구량 (COD) 등과 더불어 저서환경이나 오염의 정도를 지시하는 것으로 알려져 있다 (Omori et al., 1994; Yokoyama, 1995; 2000). 이 연구에서 퇴적물 중 황화수소 함량은 검지판법을 이용하여 측정하였다 (Hyun et al., 2002).

일정량의 퇴적물을 황화수소 발생기에 넣고 18 N의 황산을 가스발생기에 첨가하여 발생하는 황화수소량을 가스 채취기를 이용하여 직접 측정하였다. 이 연구에서는 건조시료 (dry sample)와 습식시료 (wet sample)에 대해 2번씩 황화수소량을 측정 후, 다음과 같은 보정법으로 계산하였다.

퇴적물중의 황화수소 함량 (ppm or mg/g):

$$S \text{ (mg/g)} = \text{검지판에 검출된 양 (환산값)} \times [S2 / (S1 \times S3)]$$

여기서, S1: H<sub>2</sub>S 발생용 습식값, S2: 건조용 천평값, S3: 중량측정 값으로 주어졌다.

**결과 및 고찰**

**표층퇴적물 입도분석**

조사지역내 표층퇴적물에 대한 입도분석 결과를 퇴적상 (sediment type)별로 정리하여 분포형태를 표시하였다 (Fig. 2). 입도분석 결과 나타난 조사지역 표층퇴적물의 평균입도는 실트질 퇴적물의 입도인 4.2φ에서 점토질 퇴적물의 입도인 9.4φ까지 변화하고 있다. 퇴적상별로 살펴보면 전체 75개의 정점 중에서 니질 (M)과 사니질 (sM)은 전체에서 52개 지점을 차지하고 있어 대부분이 니질 퇴적물로 이루어져 있음을 지시한다. 나머지 부분에 대해서는 이토가 포함된 사질 퇴적물 및 자갈이 다소 포함된 사질 퇴적물로 구성되어 있다. 전체적

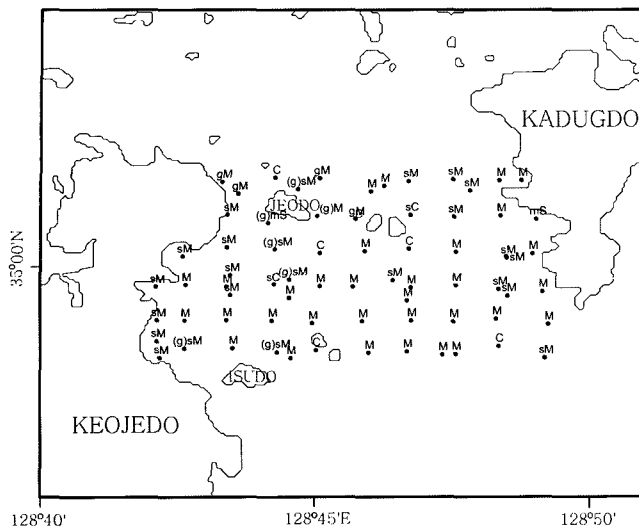


Fig. 2. Surface sediments distributions according to the sediment type. M; mud, gM; gravelly mud, C; clay, sM; sandy mud, (g)sM; gravelly sandy mud and mS; muddy sand.

으로 조립질 퇴적물은 저도 및 이수도와 가까운 쪽이나 거제도 연안을 따라 국부적으로 나타나는 반면 세립질 퇴적물은 본 연구지역 중앙 넓은 부분의 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다 (Fig. 2). 전체 표층퇴적물에 대한 평균입도의 공간적 분포는 이와 같은 퇴적물의 입도별 분포양상을 잘 지시하고 있다. 특히 거제도와 저도 사이와 그 인근부근에서는 5-7 $\phi$ 의 입경을 가지는 퇴적물이 분포하고 있으며 그 외 지역에서는 7-9 $\phi$ 의 입경을 가지는 세립질 퇴적물이 분포하고 있다. 세립질인 니질 퇴적물 (silt+clay)의 분포는 이와 같은 평균입자의 분포를 대변하고 있다. 조립질 퇴적물이 많이 나타나는 저도부근에서는 니질 퇴적물이 차지하는 비율이 50-70%이며 그 외 다른 지역에서는 80% 이상을 보이고 있다 (KORDI, 2002).

입도분석 결과 나타난 각각의 조직변수(분급도, 왜도, 첨도)의 변화를 평균입도와 대비하여 Fig. 3에 표시하였다. 입도의 분포양상(분산)을 지시하는 분급도는 전체적으로 1.5-5 범위에서 변화하고 있으며, 대부분이 2-4 정도에서 분포하고 있다. 이와 같은 분급도의 변화는 극히 좋지 않은 분급 (very poorly sorted)을 가지는 퇴적물임을 지시하는 것으로 다양한 크기의 입도를 가지는 퇴적물이 혼재되어 있음을 지시하고 있다. 분급도의 공간분포를 살펴보면 특히 평균입도가 다소 크게 나타나는 저도 부근에서는 더욱 좋지 않은 분급도 값을 보이고 있고 중앙부분의 니질 퇴적물에서는 2.2-2.6 정도의 분급도 값을 보이고 있다 (KORDI, 2002). 따라서 전체적으로 분급이 좋지 않음을 지시하고 있다. 특히 저도 부근에서 다양한 입도를 가지는 입자가 혼재되어 있으며 중앙부에서는 세립질이 입자를 가지는 퇴적물이 좁은 분산을 이루고 있음을 지시한다.

왜도값은 음의 왜도 (negative skewness)와 양의 왜도 (positive

skewness)값을 동시에 갖는다 (Fig. 3). 왜도값이 +인 것은 조립질 입자쪽으로 분산을 이루고 있으며 -인 것은 세립질 입자쪽으로 분산을 형성하고 있음을 의미한다. 전체적으로는 강한 음의 왜도 (very negative skewness)값을 많이 보이고 있어(-0.3 ~ -1.0) 세립질 퇴적물이 상대적으로 많이 포함되어 있음을 의미하며 이와 같은 사실은 평균입도에 나타난 결과와 잘 일치하고 있다. 첨도는 퇴적물의 분산이 얼마나 좁은 확률범위에 존재하고 있는가를 지시한다. 즉 첨도 값이 크면 클수록 거의 비슷한 입경을 가지는 입자가 집중적으로 분포하고 있음을 지시한다. 이 연구에서는 첨도가 1-4 정도의 범위로 변화하고 있으며 대부분이 1-3 사이로 돌출 (leptokurtic)하거나 상당히 돌출 (very leptokurtic) 한 것으로 나타났다. 즉 대부분이 시료에서는 세립질 퇴적물이 집중적으로 분포하고 있음을 지시한다. 그러나 일부시료에서는 첨도가 14 이상을 보이기도 하고 있어 대부분의 퇴적물이 조립질 퇴적물로 이루어져 있음을 지시하고 있다.

#### 유기물 및 탄산염 함량

기존 54개의 정점에서 얻어진 표층퇴적물에 대한 유기물 함량과 새롭게 추가된 20개 정점에서의 총 유기탄소 함량을

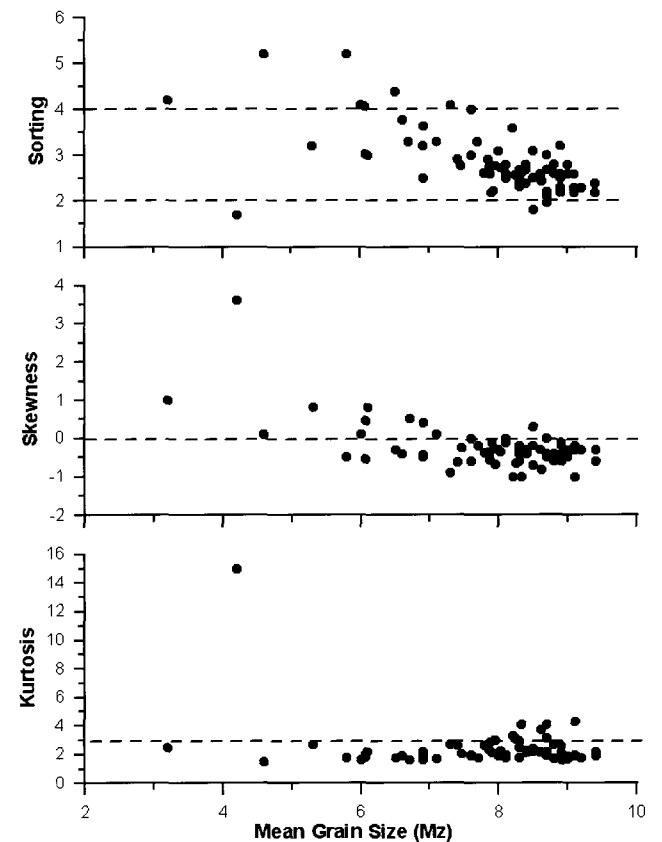


Fig. 3. Relationship between mean grain size and textural parameters; sorting, skewness and kurtosis. Very poorly sorted, very negative skewness and leptokurtic are the main characteristic of the grain size parameters.

총괄하여 평균입도에 대하여 표시하였다 (Fig. 4). 기존의 54개 정점에 대한 자료는 강열감량 (Dean, 1974)법에 의한 결과이며, 새롭게 추가된 결과는 CHNS 분석기를 이용한 것으로 양자간에는 전체적으로 많은 함량차이를 보이고 있다. 강열감량에 의한 방법은 전체 유기물을 지시하는 것으로 550°C에서 일정시간 퇴적물을 데워서 감소한 양을 총 유기물(이 연구에서는 OM 로 표시)로 판단하는 것인 반면, CHNS에 의한 방법은 전체 유기물중 총 유기탄소 (TOC) 함량만을 지시하는 것이다. CHNS에 의해 분석된 시료중에서 가장 높은 TOC 함량은 약 4.62%로 나타났고 가장 낮은 함량은 0.77%로 나타났다. 강열감량에 의해 계산된 유기물 함량변화는 조립질 퇴적물이 존재하는 저도 부근에서는 4-6% 정도이고 세립질 퇴적물이 존재하는 연구해역 중앙부분에서는 6-8%로 존재하고 있어 전체적으로 높게 나타나고 있다. 그러나 CHNS에 의해 측정된 TOC값은 최고 약 4%에서 1% 내외의 정도를 보이고 있다.

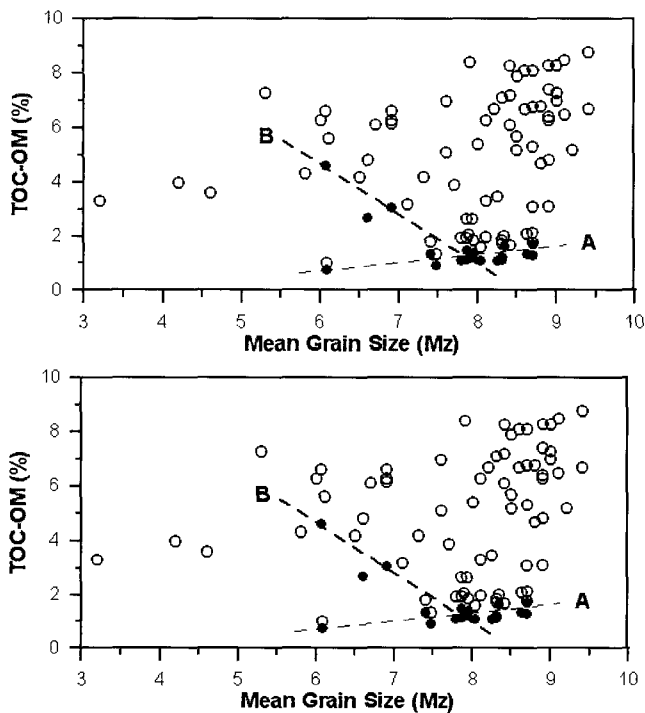


Fig. 4. Distributions of organic matters (OM) and TOC of surface sediments. The content of organic matters are determined by the ignition method (indicated by open circles) and TOC is determined by CHNS (black circles). Note the positive relationship between TOC and mean grain size (line A).

일반적으로 퇴적물중 유기물 함량이나 중금속 농도는 퇴적물의 입도와 좋은 상관관계를 보인다 (Forstner and Wittmann, 1981; Cho et al., 1999). 이와 같은 특성은 전체적으로는 평균입도의 공간적 분포형태와 좋은 상관성과 평균입도의 변화와 양의 상관관계 (positive relationship)를 보임을 의미한다. 그러

나 Fig. 4에서 알 수 있듯이 전체 분석값 (유기물과 총 유기탄소)과 평균입도 사이에는 뚜렷한 경향성이 보이지 않았다. 이와 같은 결과는 이미 설명한 바와 같이 강열감량에 의한 전체 유기물 함량 (OM)과 CHNS에 의해 분석된 유기탄소 (TOC)결과를 합한 결과이기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 CHNS에 의해 측정된 TOC함량과 평균입도 사이에는 양의 상관관계를 보이고 있다 (Fig. 4, A 선). 이러한 경향은 유기탄소와 퇴적물입도간에 나타나는 일반적인 양의 상관관계와 잘 일치하고 있다. 한편 몇 개의 시료에서는 TOC와 입도간에 음의 상관관계 (negative relationship; B in Fig. 4)가 보여진다. 이와 같은 결과는 아마도 인근 육지로부터의 급속한 유기물 공급이 이루어졌거나 퇴적물의 속성작용에 의한 결과로 추정된다 (KORDI, 2002).

해저 퇴적물중에 포함된 유기물의 양을 조절하는 요인으로는 표층에서의 생물생산 정도와 퇴적된 후에 유기물의 보존이 증가 또는 인근 대륙에서부터의 대륙기원 유기물의 공급정도 등으로 설명 할 수 있다. 이 연구에서는 유기물의 특성과 기원을 알아보기 위해 총 유기탄소에 대한 총 질소 (TN)의 비 (C/N ratio)을 이용하였다. 퇴적물 속에 보존된 유기물의 특성을 지시하는 C/N비는 여러 형태의 유기물의 특성을 밝힐 뿐만 아니라 유기물의 기원을 구분하는데 이용된다 (Muller, 1977; Muller and Suess, 1979; Stein, 1990, 1991). 일반적으로 해양환경에서 생물생산에 의해 생성된 유기물은 C/N비가 10 이하를 보이고, 인근 대륙에서 유입된 유기물인 경우에는 C/N비가 10 이상 높게 나타난다. 이 연구결과 나타난 유기물의 특성에서 C/N비는 약 6-31 사이에서 변화하고 있으며, 특히 네 지점에서는 뚜렷하게 C/N비가 10 이상을 보이고 있다 (Fig. 5). 따라서 이 연구결과 나타난 C/N비로 유기물의 특성을 판단한다면 이 연구지역 퇴적물중의 유기물은 해양생물에 의해

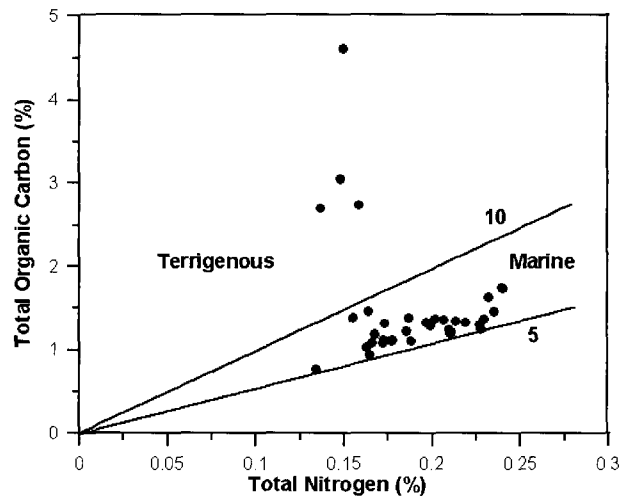


Fig. 5. Total organic carbon (%) vs. total nitrogen. Most sample ranges 5 to 10 in C/N ratio implying in situ oceanic organic matter, but four samples which over 10 in C/N ratio indicate input of terrigenous organic matters.

현장에서 생성된 유기물과 인근 육지에서 유입된 유기물이 혼재된 것으로 해석 할 수 있다.

유기물의 C/N비가 10 이상을 보이는 네 정점은 저도 옆과 저도와 거제도사이에 위치하는 곳으로 이곳에서는 탄산염 함량이 각각 16.6, 17.7, 25.6, 35.3%로 다른 지점에 비해서 상대적으로 높은 탄산염 함량을 보이고 있다. 이들 지점에서는 인근 육지에서 유입된 유기물의 영향으로 생물활동에 의해 탄산염 생산이 증가했을 가능성이 있다. 또한 대륙기원 유기물의 유입을 지시하는 지역은 비교적 수심이 얇고 육지와 인접한 지역이므로 탄산염 폐각을 다량으로 함유하는 퇴적물의 2차적인 재동작용 (reworking)에 의해 탄산염 함량이 높은 퇴적물이 퇴적되었을 가능성도 있다. 총 탄소 (TC)와 총 유기탄소 (TOC)와의 함량 차이에 의해 계산된 탄산염 함량은 최고 35.3%에서 최저 2.04%까지로 채취된 지점에 따라서 10배 이상 차이를 보이고 있다. 일반적으로 유기물의 축적이 많으면 이를 분해하기 위해 다량의 산소가 소모되기 때문에 빈산소 혹은 무산소상태 (anoxic condition)가 되고 이러한 성질은 다시 탄산염의 용해를 촉진시키는 역할을 한다. 지중해와 같이 유기물이 대량으로 축적되는 곳에서는 탄산염이 현저하게 용해되는 현상은 잘 알려진 사실이다. 그러나 이 연구가 수행된 지점은 해수가 흐름이 상대적으로 활발하고 빈산소 수괴를 형성하고 있지는 않은 곳이다 (KORDI, 2001). 이와 같은 상황을 고려한다면, 유기물이 육지에서 공급되는 지역은 빈산소 수괴를 형성하지 않고 오히려 유입된 유기물 증가에 의해 생물생산이 활발하게 되어 패류의 현존량이 증가된 결과 탄산염 함량이 증가한 것으로도 해석 할 수 있다. 그러나 대륙에서 유입된 유기물과 탄산염 함량과의 정량적인 관계를 좀더 세밀히 연구해야 할 필요가 있다. 비록 C/N비에 근거한다면 대륙기원 유기물과 현장에서 형성된 생물기원 유기물이 혼재되어 있는 것으로 확인되었으나 유기물오염 등과 같이 심각하게 오염된 것으로는 판단하기 어렵다. 앞으로 이 지역에서 퇴적물중의 유기물 함량이 어떻게 해양학적 요인에 의해 조절되고 있는지는 좀 더 자세한 조사를 필요로 한다.

일반적으로 총 유기탄소에 대한 총 황량 (C/S ratio)은 퇴적환경을 지시하는 것으로 보고되어 있다. 따라서 C/S 비가 수직적으로 혹은 공간적으로 다르다는 것은 퇴적환경이 서로 다르다는 것을 의미한다. 산화적인 저층환경에서는 유기탄소함량과 총황의 함량은 양의 상관관계를 가지며 거의 일정한 C/S비 (약 2.8)를 보인다 (Leventhal, 1983; Berner and Raiswell, 1983; Berner, 1984). 이 연구에서는 총 황 (total sulfur)량을 측정된 시료가 많지 않아 정량적인 관계를 고찰하기는 다소 어렵지만 시험적으로 수행된 시료에서 C/S비의 변화를 Fig. 6에 표시하였다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 양자간의 관계는 일반적 해양환경에서 볼 수 있는 관계(A)와 극단적으로 높은 탄소함유량을 보이는 2개의 그룹으로 대별할 수 있을 것 같다. 이와 같은 현상은 총 황량에 비해 유기탄소가 선택적으로 유입되었거나 분해되지 않았을 가능성을 지시한다. 또한 전체적으로 조사지

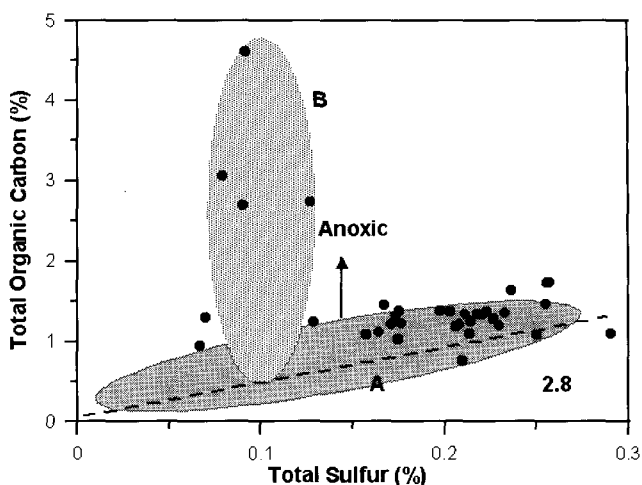


Fig. 6. Total organic carbon vs total sulfur (%). All data is divided into two groups (A and B) according to the correlation pattern. Positive relation (A) indicates normal marine environments. Group B indicate anoxic bottom environment. Broken line indicate 2.8 in C/S ratio which indicate oxygenized normal bottom environment.

역은 일반적 해양환경 (산화적 저층환경)을 지시하는 정점과 일부 유기물이 과다하게 공급되었거나 분해되지 않은 환경으로 대별될 수 있음을 지시한다.

기술한 바와 같이 퇴적물중의 총 황량은 유기물 부하량과 양의 상관관계를 가지며 저층환경을 평가하는 중요한 수단이 되고 있다 (e.g. Yokoyama, 1995; 2000). 따라서 저질환경 상태 등 유기물과 총 황량 등에 의한 저질환경을 평가하는 연구가 더욱 더 심도 있게 이루어져야 할 것이다.

#### 황화수소 함량

퇴적물중의 황화수소 ( $H_2S$ )량은 유기물 함량 및 화학적 산소요구량 (COD) 등과 더불어 퇴적물의 건강상태를 평가할 수 있는 가장 대표적인 요소로서 자주 사용되고 있다 (Yokoyama, 1995). 표층퇴적물에 대해 황화수소량을 측정된 결과 최고값은 장목연안에 인접한 정점에서 446 ppm로 나타났고, 최소값은 정점 11에서 1.7 ppm으로 나타났다. 이와 같은 결과는 퇴적물중 황화수소값이 지역적으로 큰 차이를 보이고 있거나 계절별로 큰 변화를 하고 있다는 것으로 해석이 가능하다. 또한 연구지역은 북북서-남남동 방향의 해저골이 존재하고 있으며 상대적으로 해수순환이 양호한 지역이므로 퇴적물중 황화수소 함량은 이와 같은 해류의 교환도와 밀접하게 관계되고 있을 가능성도 있다. 전체적으로 대부분이 정점에서는 부영양도 기준값(Yokoyama, 1995)인 0.2 mg/g (200 ppm)보다 낮은 값을 보이고 있으나 일부 정점에서는 이보다 높은 값을 보이고 있다. 따라서 퇴적물중 황화수소값이 200 ppm을 초과하는 지역은 최소한 패류의 성장환경에 적합하지 않다고 할 수 있다. 인근외해인 외나로도 주변해역에서 퇴적물중 황화수소 함량은 최대 약 60 ppm을 넘지 않은

것으로 나타났다 (Hyun et al., 2002). 이와 같은 점을 고려해 볼 때 이 연구지역의 황화수소값에 대한 보다 정밀한 연구가 필요한 실정이다. 표층퇴적물이 채취된 지점에서 수층별 용존산소가 과포화 혹은 포화상태에 달해있는지 그 외의 다른 요인도 앞으로 조사해야 할 항목이다. 이와 같은 추가적인 연구는 표층퇴적물이나 표층적하 퇴적물에서 황화수소가 검출되는 자료와 결부시켜 저질의 건강도를 판단하는데 유익한 자료가 될 것이다.

한편, 저서환경을 지시하는 유기탄소함량과의 관계를 Fig. 7에 표시하였다. 일반적으로 TOC와 황화수소와의 정량적 관계는 현재까지 구체적으로 잘 알려지지 않았다. 그러나 일부 연구에서 유기물 부하량과 황화물과의 관계는 일반적으로 양호한 양의상관관계를 보이므로 황화물량을 유기물 부하량의 대용으로 사용하여 산소 소비속도가 최대가 되는 환경하에서의 값을 실질적인 퇴적물 오염의 지표로 하자는 SSC (sediment sulfide concentration)법도 제안된 바 있다 (Omori et al., 1994). 단지, 유기탄소의 농축이나 황화수소가 높게 나타나는 지역은 해수 순환이 정지되거나 유기물 공급이 과다했을 때 일반적인 산화환경과는 다른 혐기성 환경이나 빈산소의 저서환경을 지시한다는 점에서 일치하고 있다. 따라서 양자간에는 양의 상관관계가 기대되기도 한다. 이번 연구결과 2% 이상의 유기탄소를 함유하고 있는 시료를 제외한다면 양자간에는 미약한 양의 상관관계를 보이고 있다 (Fig. 7). 그러나 기술한 바와 같이 인근육지에서 급속하게 유기물이 공급되어 과다한 유기물이 존재하거나 퇴적물의 축적작용이 일어나는 경우는 뚜렷한 상관성을 보이지 않을 가능성이 있다. 이 부분에 대해서도 자세한 연구가 보충되어야 할 것이다.

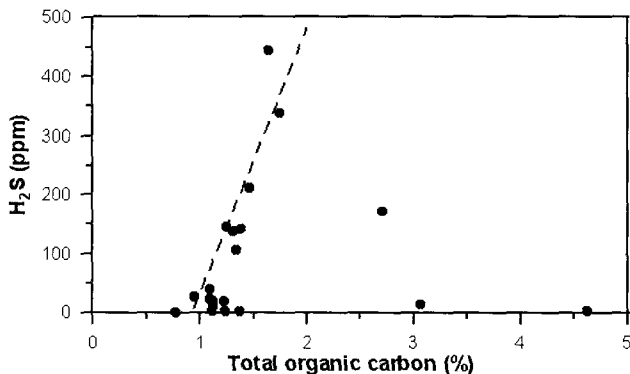


Fig. 7. Relationship between H<sub>2</sub>S content and total organic carbon (%). Some positive relation between two factors is recognized.

#### 저서동물군집의 분포향상과 저서환경

각 정점별 출현 종수를 기준으로 평가한 대형 저서동물의 지역적인 분포향상은 2001년에 수행된 거제도 연안역 사질 퇴적물이 혼재된 퇴적물에서 가장 풍부한 생물상을 보이고 있다 (KORDI, 2001). 또한 생물량의 지역적인 분포도도 출현

종수와 유사한 것으로 나타났다. 사질퇴적물이 혼합된 수심 17-20 m의 퇴적물에서 (정점 1, 10, 14 등) 80 g/0.2 m<sup>2</sup> 이상의 생물량을 보이고 있고, 저도 주변의 정점, 그리고 조사해역 중앙지역에서 20 g/0.2 m<sup>2</sup> 이하의 적은 생물량을 보이고 있다 (KORDI, 2001). 퇴적물 구성에 따른 대형저서동물의 출현종수 및 개체수의 관계는 많은 지역에서 연구되었다 (e.g. Yokoyama, 1995; Choi et al., 2003). 이와 같이 조립질 퇴적물에 많은 종수 및 개체수가 나타나는 것은 해수유통이 비교적 활발하고 저서생물이 이용할 수 있는 먹이 이용도 (food availability)가 상대적으로 높은 것과 관련이 있는 것으로 알려져 있다 (Yokoyama, 1995).

이 연구결과 출현 종수가 많거나 생물량이 풍부한 지역은 퇴적학적으로 사질퇴적물이 다량으로 혼재된 퇴적물이 분포하고 있는 지역이다. 지화학적으로는 유기물이나 탄산염 함량이 조사지역 전체의 평균이하인 지역에서 나타나고 있다. 저서동물의 개체수 및 종수와 유기물 함량, 황화수소 함량과의 관계를 Fig. 8에 표시하였다. 개체수와 종수는 유기물 함량과는 뚜렷한 관계를 보이지 않으나 황화수소 함량과는 음의 상관관계가 보여진다. 기존 연구결과 유기물 부하량과 저서환경이 밀접히 관계된다고 보고 있는 만큼 이 연구에서 나타난 유기물과의 관계를 보다 세밀하게 조사할 필요가 있다. 황화수소 함량과 종수 및 개체수는 잠재적으로 뚜렷한 음의상관을 가지고 있는 만큼 저서환경을 평가하는데 주요한 요인으로 작용한다고 할 수 있다. 한편 조사지역 중앙해역은 대부분 세립질 퇴적물인 니질로 이루어져 있는데 이 지역에서는 유기물 함량과 황화수소 함량이 비교적 높게 나타나고 있다. 따라서 중앙부의 퇴적상 및 지화학적 지시자들은 중앙부의 저서동물의 낮은 생물량과 잘 일치하는 것으로 생각된다. 앞으로 저서환경을 보다 정확하게 판단하기 위해 군집지수로서 benthic pollution index (BIP)나 biotic coefficient (BC)값을 구한 결과와 지화학적 요소간의 관계 등도 조사할 필요를 느낀다.

#### 사 사

이 연구는 한국해양연구원 남해연구소가 수행중인 “남해어패류 우량화를 위한 생태환경조성 기반기술 연구 (BSPG337-00-1447-3)”의 연구 결과이며, 일부 지화학적 추적자를 이용한 연안 및 어장환경 평가기준 기반연구 (PE84400)의 도움으로 수행되었다. 자료정리 및 현장조사에 참여한 관계자들에게 심심한 사의를 표한다. 또한 유익한 조언을 주신 익명의 심사위원님께 깊은 사의를 표한다.

#### 참 고 문 헌

- Abo, K. and S. Toda. 1996. Effects of water movement on the fluctuation of oxygen concentration in the lower layer of Gokasho Bay, Japan. UJNR Tech. Rep. 22, 85-89.
- Berner, R.A. 1984. Sedimentary pyrite formation: An

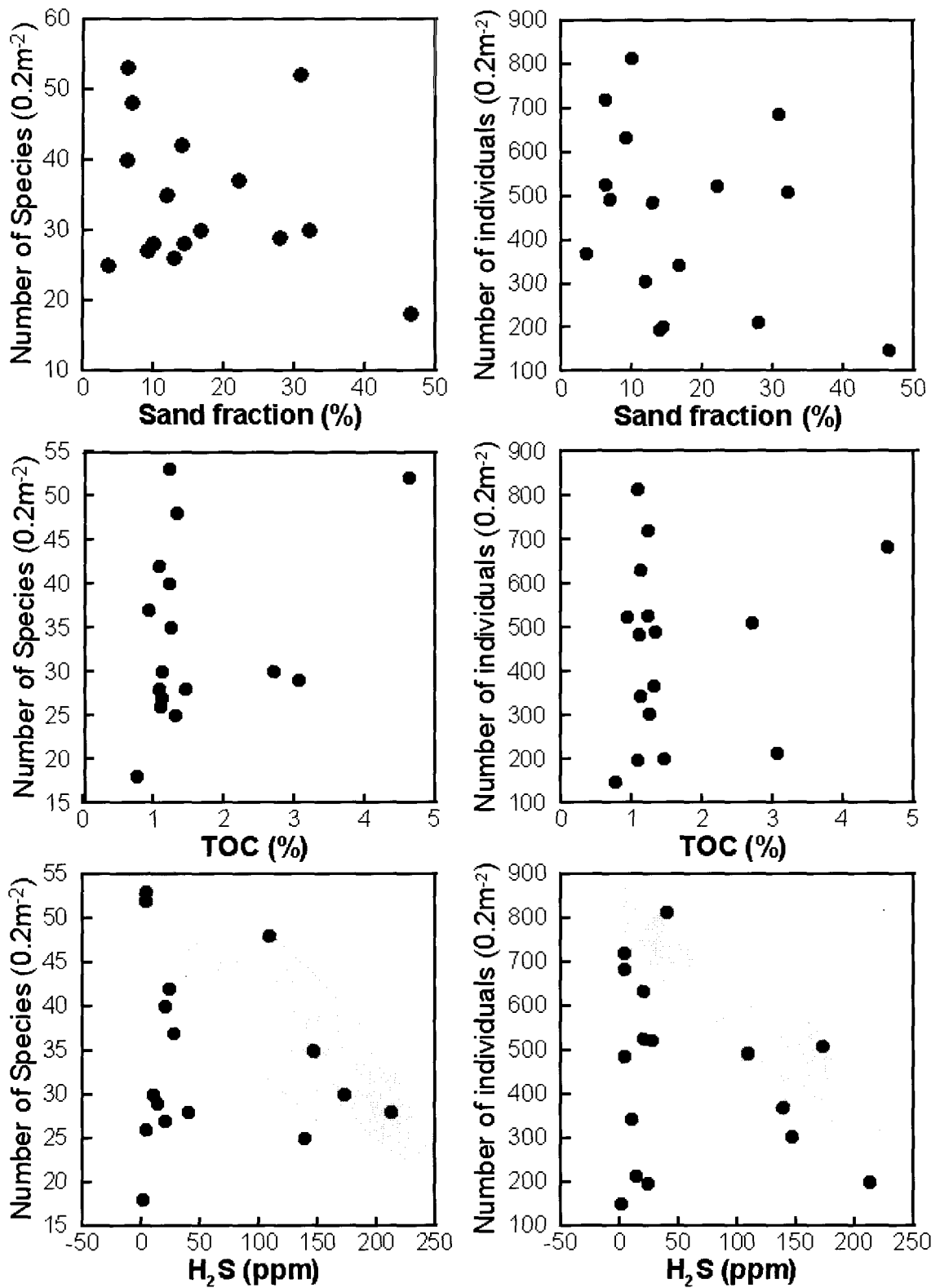


Fig. 8. Relationships between Number of species and Silt+Clay (%) (A), Number of individual and Silt+Clay (%) (B), Number of species and TOC (%) (C), Number of individual and TOC (%) (D), Number of species and H<sub>2</sub>S (ppm) (E), and Number of individual and H<sub>2</sub>S (ppm) (F). Number correlations are recognized in (A), (B), (C) and (D), but faint reverse trend is recognized in (E) and (F) (shaded areas).

- update. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 605-615.
- Berner, R. 1974. Ranyang Bay, southern coast of Korea. *J. The Sea, Kor. Soc. Oceanogr.*, 8, 14-28.
- Dean, W.E. Jr. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *J. Sedi. Petrol.*, 44, 242-248.
- Fork, R.L. and W.C. Ward. 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petrol.*, 27, 3-26.
- Forstner, U. and G.T.W. Wittmann. 1981. *Metal pollution in the Aquatic Environment*, Springer-Verlag, New York, pp. 486.
- Hyun, S.M., Choi, J.W., Shin, K.S and Chang, M., 2002. Geochemical characteristics and benthic faunal facies in the sediments around Oenaro Island, southern part of Korea. *J. Environ. Sci.*, 11, 215-225.
- KORDI (Korea Ocean Research and Development Institute). 2001. Eco-environmental studies for the restocking and enhancement of bivalve resources in the south coast of Korea. KORDI, Seoul, pp. 322.
- KORDI (Korea Ocean Research and Development Institute). 2002. Eco-environmental studies for the restocking and enhancement of bivalve resources in the south coast of Korea. KORDI, Seoul, pp. 407.
- Lee, J.H., B.S. Koh and H.S. Park. 1997. Marine environmental assessment based on the benthic macroinfaunal composition in the coastal area of Incheon, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.* 30, 771-781.
- Leventhal, J.S. 1983. An interpretation of carbon and sulfur relationship in Black Sea sediments as indicator of environments of deposition. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 133-137.
- Muller, P.J. 1977. C/N ratio in Pacific deep-sea sediments: effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clay, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 41, 765-776.
- Muller, P.J. and E. Suess. 1979. Productivity, sedimentation rate, and sedimentary organic carbon in the ocean-1. Organic carbon preservation. *Deep-Sea Res.*, 26, 1347-1362.
- Omori, K., T. Hirano and H. Takeoka. 1994. The limitations to organic loading on a bottom of a coastal ecosystem. *Mar. Pollut. Bull.*, 28, 73-80.
- Stein, R. 1990. Organic carbon content/sedimentation rate relationship and its paleoenvironmental significance for marine sediments. *Geo-Mar. Lett.*, 10: 37-44.
- Stein, R. 1991. Accumulation of organic carbon in marine sediments. In: *Lecture Notes in Earth Science*, Somdev, B., Gerald, M. Friedman, Horst J. Neugebauer and Seilacher, A., Springer Verlag, Berlin, pp. 217.
- Wei, L., Y. Shu, F. Guan, Y. Han and Z. Yu. 1982. A preliminary survey on the biology of *Saxidomus purpuratus*. *Four. Fish. China*, 6(1), 1-7.
- Yokoyama, H. 1995. Macrobenthic assemblages in Omura Bay - 1. Community parameters versus bottom environmental factors. *Bull. Nat'l. Res. Inst. Aquacult.*, 24, 43-53. (in Japanese)
- Yokoyama, H. 2000. Environmental quality criteria for aquaculture farms in Japanese coastal area - a new policy and its potential problems-. *Bull. Nat'l. Res. Inst. Aquacult.*, 29, 123-134. (in Japanese)

---

2002년 12월 31일 접수  
2003년 11월 29일 수리