

## 진동만 패류양식해역의 환경특성

정우건, 조상만

경상대학교 해양과학대학 해양생물이용학부, 경상대학교 해양과학대학 해양산업연구소

### The Physiochemical Characteristics of Seawater and Sediment of Marine Shellfish Farm in Jindong Bay

Woo-Geon Jeong and Sang-Man Cho

Division of Marine Bioscience, College of Marine Science, & Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

#### ABSTRACT

Seawater and sediment quality analysed was calculated to examine the present environmental characteristics and pollution load was also calculated to evaluate the effect of farming area on the coastal environment. The measurements for seawater quality demonstrate the coastal environment has relatively eutrophicated with significantly decreased DO (0.2-8.5 mg/l) and elevated COD (9.6-31.2 mg/l) in summer. It was also evident that the water quality in Jindong Bay has been influenced by residues tide from Masan Bay with high metal concentration in August of 2002. Annual total pollution load (land and farm-driven) was estimated at 37,316 ton (SS) /yr: 9,809 ton/yr (26.3%) of land-driven load, 23,576 ton/yr (63.2%) of coastal sedimentation and 3,932 ton/yr (10.5%) of feces of cultural organisms. When all ark shell seedling farms are permitted species conversion to ascidian farm, the pollution load would increase by 196%, which may be another source for accelerating the eutrophication of the environment in Jindong Bay.

**Keywords:** Jindong Bay, Water quality, Metal, Sediment, Pollution load.

#### 서론

진동만은 진해만에 포함된 작은 만으로 경남 마산시 진전면, 진북면, 진동면 및 구산면 등 4개 면에 면하여 있으며 평균 수심이 8.83 m로 전형적인 반폐쇄성 만의 특성을 지니고 있다.

진동만은 예로부터 정치망 및 권현망 어장이 형성되고, 또한 각종 어족자원의 산란장 및 치어 성육장이었으며 (Kang *et al.*, 1996), 각종 양식이 성행하는 해역으로 특히 피조개의 채묘가 많이 행하여졌다. 그러나 최근 연안해역의 오염, 양식장 자가오염 등 복합적인 요인에 의해 매년 여름철 적조 (Kim, 2003; Kim and Hong, 2003; Kim *et al.*, 1999) 와 빈산소 수괴 (Kim and Kim, 2003) 가 상습적으로 발생함에 따라 양식장의 생산성이 현저하게 감소하고 있다. 최근에는 이러한 이유로 피조개, 진주담치 및 굴의 양식면적이 축소되고 있으며 (Cho, 1991), 생산성이 현저하게 저하한 양식장은 양식품종의 전환을 모색하고 있다.

미더덕은 과거에는 수하식양식장의 해적생물로 취급되어 왔으나, 최근에 각종 조리법이 개발되면서 계절성 기호식품으로써 각광받고 있다. 진동만 해역에서 미더덕은 1977년부터 피조개 채묘장에 부착된 것을 인위적으로 관리하던 것이 현재에는 이 해역의 새로운 양식품종으로 대두되고 있다. 그러나, 아직까지 미더덕 양식어업은 지선어민들의 관행어업으로 각종 수하식 양식시설에 기존의 양식생물을 대체하여 양식이 이뤄지고 있으므로, 미더덕 양식산업의 활성화를 위하여 기존의 생산성이 저하된 굴 및 진주담치 양식장의 양식품종 전환이 필요한 실정이다.

미더덕류에 관한 연구는 Rho (1968) 에 의해 35 종으로 분류된 후, 산란기 및 생식주기 조사 (Lee, 1976, 1977) 와 초

Received October 28, 2003; Accepted December 6, 2003  
Corresponding author: Jeong, Woo-Geon  
Tel: (82) 55-640-3101 e-mail: jeongwg@gaechuk.gsnu.ac.kr  
1225-3480/19211

© The Malacological Society of Korea

기 발생 및 유생출현에 관한 조사 (Na and Lee, 1977), 양식 기술개발에 관한 연구 (Park *et al.*, 1997), 여수물에 관한 조사 (Kim and Moon, 1998) 및 미더덕의 성분 (Ahn *et al.*, 1993; Joh, 1978; Lee *et al.*, 1975) 에 관해 보고되고 있으나, 미더덕 양식해역의 수질 및 저질 환경에 관한 보고는 없다.

최근 진동만 주변 해역의 어민들에 의해 미더덕양식협회가 설립되었으며, 이들은 기존의 진해만내 시설양식장의 양식품종 전환을 요구하고 있다. 그러나, 해역의 생산성을 고려하지 않은 양식품종의 전환은 또 다른 생산성 저하요인으로 작용할 가능성이 있으므로, 이에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

이 연구의 목적은 진동만의 패류양식해역에 영향을 주는 오염원을 파악하고, 각각의 오염부하량을 산정하여 현재의 수질 환경수준을 진단하고자 한다. 또한 패류 양식장이 미더덕 양식장으로 전환되었을 경우 오염부하를 예측하고 향후 수질환경에 미치는 영향을 구명하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 수질조사

조사해역의 해양화학적 환경을 조사하기 위해 12개의 조사 정점을 배치하고 (Fig. 1), 2002년 7월부터 2003년 1월까지 매월 1회씩 7회에 걸쳐 수질환경조사를 실시하였다. 수온, 염분, 수소이온농도 (pH) 및 용존산소 (DO) 는 현장에서 수질연속측정기 (SBE-19, SEABIRD) 를 연속으로 내려 직접 측정하였고, 분석용 시료수를 각 조사정점에서 표층수와 저층수 2 liter씩 채수하여 실험실로 운반하여 분석하였고, 중금속용시료수에는 농질산을 2 ml/l정도 주입하였다. 화학적산소요구량

(COD) 는 알칼리성 과망간산칼리법으로 측정하였다. 부유현탁물질 (SS) 은 해수 일정량의 무게를 알고 있는 미리 태운 GFC여과지 (Whatman Co. Ltd) 에 여과하여 80℃에서 24 시간 건조시켜 향량이 될 때의 무게를 측정하여 무게 차이로 결정하였다. 이후 이 여과지를 450℃에서 4시간동안 가열한 후의 감량을 입자성유기물 (POM) 량으로 하였다.

영양염류의 분석은 HACH Company (Colorado, U.S.A.) 의 방법에 따라 DR2000 spectrophotometer를 사용하여 비색법으로 측정하였다. 암모니아성 질소 (NH<sub>4</sub>-N) 는 파장은 655 nm에서 Salicylate method (#8155), 아질산성질소 (NO<sub>2</sub>-N) 는 585 nm에서 ferrous sulfate method (#8153), 질산성질소 (NO<sub>3</sub>-N) 는 507 nm에서 cadmium reduction method, 인산 (PO<sub>4</sub>-P)는 890 nm에서 ascorbic acid method에 따라 각각 측정하였다. 규산 (SiO<sub>2</sub>) 은 815 nm에서 heteropoly blue method, 황화물 (S<sup>2-</sup>) 은 665 nm에서 methylene blue method에 따라 측정하였다. Chlorophyll-a 함량은 Parsons (1984) 의 방법을 따랐다.

중금속 분석을 위한 해수는 pH 4-5에서 유기착화제( 킬레이트: APDC/DDDC 혼합액) 에 의해 비극성 유기금속착화 화합물을 형성한 후 클로로포름 (CHCl<sub>3</sub>, HPLC급) 으로 추출하였다. 유기용매에 의해 추출된 시료는 청정상태에서 열판을 이용하여 휘발 건조시킨 후 잔유물은 0.2 N 질산용액 20 ml에 다시 용해한 다음 ICP-MS (Thermo Jarrell Co. USA) 로 분석하였다. 분석항목은 카드뮴 (Cd), 코발트 (Co), 크롬 (Cr), 구리 (Cu), 철 (Fe), 망간 (Mn), 납 (Pb), 주석 (Sn) 및 아연 (Zn)을 분석하였다. 검량용 중금속 표준액은 Kanto

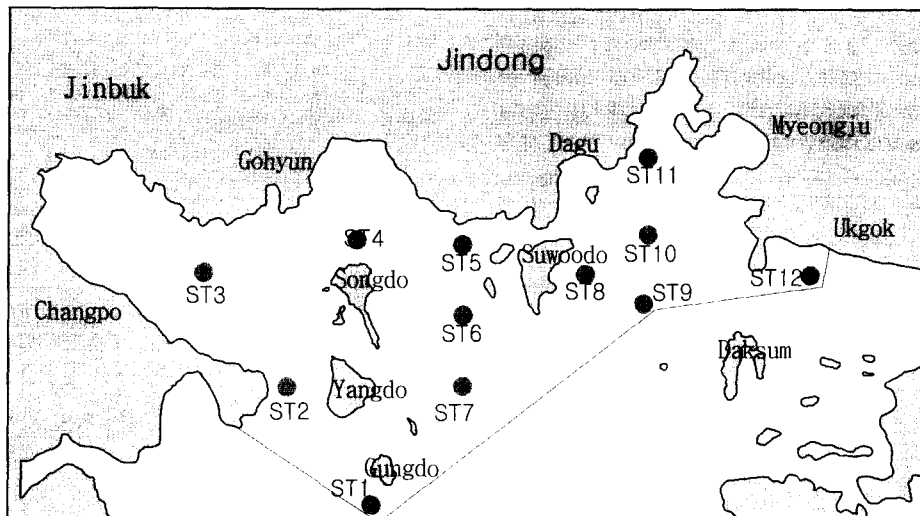


Fig. 1. Sampling site for water and sediment qualities in Jindong Bay.

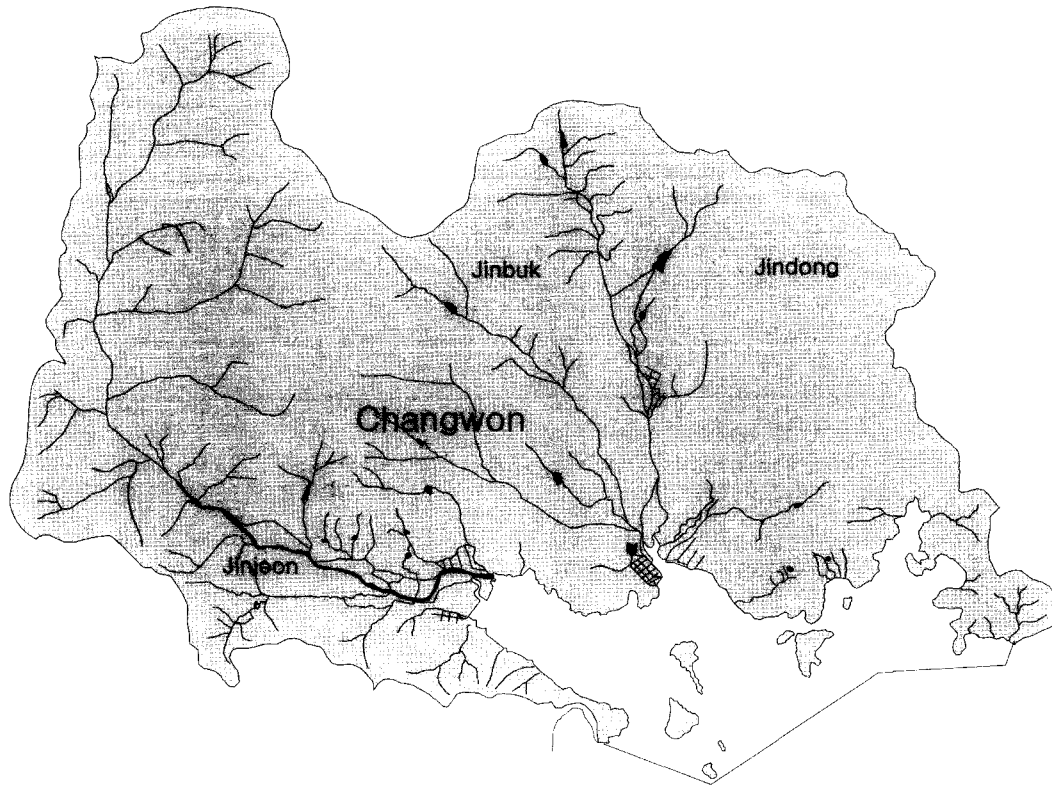


Fig. 2. A map of drainage area influencing on the Jindong Bay.

Chemical Co. Inc. (Tokyo, Japan) 의 화학분석용 시약을 사용하였다.

### 2. 저질조사

저질조사는 2002년 12월과 2003년 5월의 2회에 걸쳐 실시하였다. 그러나 조사정점 7은 암반지대로 저질채취가 불가하였다. 분석을 위한 저질시료의 채취는 직경 3 cm의 코아채니기를 이용하였고, 저면으로부터 3 cm 정도의 저질을 선택적으로 취하여 실험실로 운반하여 분석하였다. 강열감량 (IL) 은 55 0°C에서 2시간 가열한 후 감량을 측정하였다 (국립수산진흥원, 1985). 저질의 화학적 산소요구량 (COD) 은 알카리성 과망간산칼륨법을 사용하였고, 0.1 N 티오황산나트륨 용액으로 역적정하여 건조시료 1 g에 대한 COD를 계산하였다. 총황화물 (total sulfide, TS) 은 황화물 검지관(Gastec, No. 201H) 을 사용하여 분석하였다.

### 3. 오염부하량

수질 오염원의 수준을 판단하기 위해서는 수질오염물질의 발생원과 부하량을 파악하여야 할 필요가 있다. 조사해역의 육지 기원 오염부하 발생량은 배출원별 원단위를 참고로 하여 발

생 부하량을 계산하였다 (Choi, 1991; Choi *et al.*, 1992). 진동해역 주변지역은 대부분이 농어촌 지역이므로 인구는 농촌을 기준으로 적용하였다.

조사해역 주변의 유역도를 작성하여 (Fig. 2), 유역의 면적, 취락구조, 인구수 및 가구수, 경지이용형태 및 가축사육현황을 각 단위행정구역 단위로 조사하여 오염부하량 산정의 기초자료로 사용하였다.

양식장 기원 오염부하량은 해역의 침강량, 양식생물 및 부착생물의 배설량, 그리고 저질로부터 용출량을 합하여 구하였다. 현재 진동해역의 양식장 시설현황은 Table 1과 같다. 양식장의 침강물량은 Cho *et al.*, (1996) 의 통영연안 원문만에서 조사한 해역의 양식수역 (10.3 g/m<sup>2</sup>/day)과 비양식수역 (1.53 g/m<sup>2</sup>/day)의 평균 침강량을 사용하였고, 양식생물의 배설량은 굴은 60.3 mg/individual/day (Cho *et al.*, 1996) 을, 미더덕은 55 mg/individual/day (Park *et al.*, 1997) 을 각각 적용하였다. 배설물 중 유기질소 및 탄소의 함량은 CHN analyzer (CE Instruments Co. Ltd) 를 이용하여 분석하였다. 저질로부터 용출되는 질소와 인은 통영시 북만의 연구보고 (Cho *et al.*, 1996) 를 이용하여 산출하였다.

일반적으로 부착생물은 양식생물 채집시 해역에 그대로 투

**Table 2.** Range of the measurements for water quality in Jindong Bay, Korea.

Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
W.T.	6.2-27.4	5.8-28.0	5.3-29.0	5.8-28.8	5.3-28.7	5.3-28.7	5.6-28.7	5.8-28.4	6.4-28.1	5.6-28.1	5.5-28.8	5.8-28.7
pH	7.8-8.9	7.8-8.9	7.8-8.8	7.8-8.8	7.8-8.9	7.8-8.9	7.8-9.0	7.8-8.4	7.8-9.0	7.7-9.0	7.8-9.0	7.8-8.9
Salinity (psu)	18.5-3	18.4-	18.2-	18.4-	18.1-	17.9	18.4-	17.9-	18.3-	18.1-	18.1-	18.3-
DO	1.2-7.3	1.8-7.5	0.5-8.3	2.8-7.8	0.2-7.9	1.5-8.5	1.4-8.4	1.1-8.1	2.5-8.5	1.0-7.4	0.2-7.4	2.0-8.2
Tr.	1.9-14.2	1.6-13.0	1.2-8.0	1.5-10.0	1.5-9.5	1.4-11.0	1.6-12.5	1.7-10.0	2.0-7.8	1.7-11.0	1.4-10.5	2.6-10.0
NO <sub>2</sub> -N (μg/l)	4.5-32.0	4.1-32.0	3.5-15.0	2.0-22.5	3.0-27.0	2.5-25.5	2.5-33.5	2.5-30.0	3.5-19.0	3.0-16.0	3.0-15.0	3.5-22.5
NO <sub>3</sub> -N (μg/l)	25-105	30-110	25-105	20-95	10-100	25-110	30-95	30-80	25-70	15-90	15-80	20-80
NH <sub>4</sub> -N (μg/l)	0-165	0-65	0-115	0-125	0-110	0-55	0-40	0-100	0-60	0-100	0-230	0-75
DIN (μg/l)	29.5-	40.0-	38.5-	35.5-	35.0-	36.5-	40.0-	41.5-	33.5-	23.0-	23.0-	24.0-
PO <sub>4</sub> -P (μg/l)	20-135	25-75	25-45	20-60	10-60	10-35	15-60	15-95	10-40	10-85	10-35	15-50
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	0.3-3.7	0.3-5.0	0.2-5.0	0.1-7.7	0.1-6.9	0.1-5.2	0.1-4.5	0.1-5.6	0.1-4.6	0.1-5.6	0.2-7.3	0.2-4.1
Sulfide (μg/l)	1.0-3.5	1.5-4.5	0.5-5.5	0-6.0	1.5-5.0	0.5-6.5	0.5-4.5	0.5-3.5	0-4.0	0.0-3.5	0.5-5.0	0-3.5
SS (mg/l)	3.7-22.1	2.2-22.0	1.4-22.8	1.9-12.3	2.4-11.9	2.2-14.3	2.0-20.2	1.8-23.3	4.8-25.2	2.5-11.0	1.5-12.0	3.6-10.1
POM (mg/l)	1.3-8.6	0.9-9.0	1.1-8.3	1.0-6.7	1.0-7.5	0.9-6.1	0.9-8.0	1.3-8.6	0.4-8.2	1.4-4.5	0.9-6.4	2.2-5.5
COD (mg/l)	2.4-13.2	2.4-16.0	1.6-20.4	1.6-17.6	2.4-20.4	1.6-12.0	1.6-15.2	1.6-23.2	2.4-28.0	2.0-27.6	1.6-27.6	2.0-24.8

기되어 오염원으로 작용하므로, 진동해역의 또 다른 오염부하로는 양식장의 부채생물을 들 수가 있다. 따라서 부채생물의 양을 결정하고 이들이 연안에 미치는 오염부하를 파악할 필요가 있다. 부채생물의 양은 진동해역의 양식장을 대상으로 조사한 Park *et al.*, (1997) 의 자료를 적용하였고, Bertalanffy 성장식으로부터 구한 계산중량을 이용하여 산출하였다.

## 결 과

### 1. 수질

진동만의 수질조사 결과는 Table 2와 같다. 수온은 5.3-29.0℃의 범위였고, 11월을 제외하고는 대부분 저층에서 수온이 낮게 나타났다. 고수온기인 7-8월에는 표·저층간 수온의 차이가 컸고, 이후 11월에 이러한 수온 성층이 파괴되고, 가을철이후는 상하층간의 수온 차이가 없이 거의 비슷한 수온 분포를 나타내었다.

조사해역의 염분은 17.9-32.7 psu 의 범위였다. 7-10월에는 상층보다 저층의 염분농도가 높게 나타나 염분성층이 형성되는 것을 알 수 있었다. 특히 여름철인 7-8월 강우기에는 표층의 염분농도가 급격하게 감소하였으며, 11월 이후에는 염분 성층

이 사라졌다. 염분의 수평분포는 여름철에는 조사정점 3을 중심으로 한 서쪽해역이 낮고 동쪽해역이 높은 경향을 보였고, 9-11월의 가을철에는 연안 쪽이 외양 쪽에 비해 다소 낮은 경향을 보였다. 그러나, 겨울철에는 전 해역이 31-32 psu의 범위를 보였다.

수소이온농도는 7.7-9.0의 범위였고, 표층은 조사시기에 따라 변화가 심하여 7-8월에는 8.0-9.0의 범위로 상당히 높았고 이후 9월부터는 7.8-8.3의 범위로 비교적 고른 분포를 나타내었다. 저층의 경우 7.7-8.3의 범위로 비교적 연중 비슷한 분포였지만, 8-9월에 다소 낮았다.

용존산소는 0.2-8.5 mg/l의 범위였고, 9월이 전 조사정점 평

**Table 1.** Present status of marine farm in Jindong Bay.

Taxa	Type	Cases	Area (ha)
Oyster	Hanging culture	16	69
	Seedling	25	53
Mussel	Hanging culture	7	60
Ascidian	Hanging Culture	8	33
Ark shell	Seedling	48	171.5

균  $2.4 \pm 1.43 \text{ mg/l}$ 로 가장 낮았고, 12-1월이  $7.0 \text{ mg/l}$  이상으로 높았다. 수층간 용존산소농도 차이가 가장 큰 경우는 8월이었고, 9월 이후는 상하층간의 농도 차이가 아주 적었다.

조사해역의 투명도는 1.2-14.2 m의 범위였고, 8월이 전 조사정점 평균  $1.7 \pm 0.36 \text{ m}$ 로 가장 낮았고, 1월이  $10.5 \pm 2.1 \text{ m}$ 로 가장 높았다. 특히 8월은 1.4-2.0 m의 범위로 투명도가 매우 낮았다. 수평분포 특성은 주로 창포인근해역의 조사정점 3이 다른 조사정점에 비해 다소 낮은 분포를 보였으며, 만 중앙의 수우도 부근해역이 다소 높은 경향을 보였다.

SS는 0.1-25.6 mg/l의 범위로 변동의 폭이 매우 컸다. 특히 9, 10, 1월에는 전 조사정점에서 평균 4.6, 4.4 및 3.6 mg/l로 다른 조사월에 비해 현저하게 낮았다. 한편 10월에  $17.2 \text{ mg/l}$ 로 가장 높았다. 수평분포는 조사정점 3이 위치한 내측의 창포근역의 월변화폭이 컸고, 주로 외만쪽으로 향할수록 변동의 폭이 적었다.

황화물은 0-11.0  $\mu\text{g/l}$ 의 범위였고, 상층은 0-11.0  $\mu\text{g/l}$  및 하층은 0-6.0  $\mu\text{g/l}$ 의 범위로 상층의 변동의 폭이 다소 컸다. 조사기간별로는 11월에  $1.0 \pm 1.1 \mu\text{g/l}$ 로 가장 낮았고, 8월에  $4.0 \pm 2.9 \mu\text{g/l}$ 로 가장 높았다. 조사정점별로는 고수온기에는 만 내측에서 다소 높은 경향이 있으나, 저층에서는 특별한 경향이 없었다.

조사해역의 COD는 0.8-31.2 mg/l의 범위였고, 상층과 하층 모두 비슷한 분포를 보였다. 7-8월의 고수온기에는 평균 17.5 및 17.2 mg/l로 매우 높은 COD값을 나타내었고, 이후 월평균 2.7-6.7mg/l로 낮았다. 조사정점별로는 만 내측과 중앙측이 고수온기에 상당히 높은 분포를 나타내었고, 이후는 거의 전 해역이 비슷한 분포를 나타내었다.

아질산성질소의 함량은 1.0-54.0  $\mu\text{g/l}$ 의 범위였다. 저층은 높은 아질산함량을 보인 8월을 제외하고는 표층에 비해 변동폭이 적었다. 조사시기별로는 고수온기인 8월이 전 조사정점 평균  $24.2 \pm 17.8 \mu\text{g/l}$ 로 가장 높았다. 수평분포는 주로 만의 측이 높고, 이러한 경향은 고수온기에 보다 명확하였다. 질산

성질소의 함량은 0.0-140  $\mu\text{g/l}$ 의 범위였고, 고수온기인 7-8월에 평균 84.2-85.4  $\mu\text{g/l}$ 로 높았다. 수평분포는 해역의 동쪽에 위치한 조사정점에서 다소 높게 나타났고 이러한 경향은 고수온기에 보다 분명하게 나타났고, 만 외측이 다소 높은 경향이 있었다. 암모니아태질소의 함량은 0-460  $\mu\text{g/l}$ 의 범위였고, 월별로는 9월에  $100.8 \pm 114.5 \mu\text{g/l}$ 로 가장 높았다. 수평분포는 상층은 만 외측이 높고, 저층은 만 내측이 높은 것으로 조사되었다. 특히 조사정점 11은 고수온기에 상하층간의 차이가 매우 크게 나타났다. 이상의 값을 합하여 구한 DIN은 14.0-474.0  $\mu\text{g/l}$ 의 범위로, 8-9월에 다소 높아 평균  $145.4 \pm 72.1$  및  $139.1 \pm 112.0 \mu\text{g/l}$ 로 높았다. DIN의 수평분포는 상층은 만 외측이 다소 높고, 하층은 만 내측이 다소 높은 분포 특성을 나타내었다.

인산염은 10.0-160.0  $\mu\text{g/l}$ 의 범위였고, 조사시기별로는 고수온기에 낮고 저수온기에 높았으며, 수평분포는 만의 서측과 외측이 다소 높았다. 규산의 농도는 31.0-13365.0  $\mu\text{g/l}$ 의 범위였고, 조사시기별로는 9월이 평균  $5436.3 \pm 4196.1 \mu\text{g/l}$ 로 가장 높았고, 12월에  $187.6 \pm 50.2 \mu\text{g/l}$ 로 가장 낮았다. 규산은 표층에 비해 저층의 변화폭이 훨씬 컸고, 특히 9월에는 저층에서 매우 높았다.

**2. 중금속**

진동만의 중금속 조사결과는 Table 3과 같다. 카드뮴 함량은  $\leq 213.9 \text{ ppb}$ 의 범위였으나, 8월을 제외한 전 조사기간에서는 2.2 ppb 이하로 검출되었다. 그러나, 8월에도 조사정점 1-3에서만 매우 높은 농도분포를 보였다. 해수 중 코발트 함량은  $\leq 7.3 \text{ ppb}$ 의 범위였고, 9, 10월에는 대부분의 조사정점에서 흔적으로 검출되었다. 크롬함량은  $\leq 23.2 \text{ ppb}$ 의 농도 범위를 나타내었고, 9, 10월에는 대부분의 조사정점에서 흔적으로 검출되었다. 해수 중 구리함량은  $\leq 8.9 \text{ ppb}$ 의 농도 범위로 조사기간 중 비슷한 농도분포를 보였다. 해수 중 철 함량은 1.7-37.6 ppb의 범위였고, 11월에  $7.9 \pm 4.6 \text{ ppb}$ 로 가장

**Table 3.** Range of the measurement for metals in Jindong Bay, Korea.

Satation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cd	$\leq 213.9$	$\leq 204.1$	$\leq 179.5$	$\leq 14.6$	$\leq 15.7$	$\leq 12.5$	$\leq 12.1$	$\leq 13.0$	$\leq 8.5$	$\leq 10.7$	$\leq 0.9$	$\leq 1.2$
Co	$\leq 1.5$	$\leq 2.7$	$\leq 7.3$	$\leq 1.3$	$\leq 1.9$	$\leq 1.5$	$\leq 1.4$	$\leq 1.4$	$\leq 1.3$	$\leq 1.5$	$\leq 1.4$	$\leq 1.6$
Cr	$\leq 14.8$	$\leq 23.2$	$\leq 16.0$	$\leq 18.7$	$\leq 21.6$	$\leq 12.8$	$\leq 17.2$	$\leq 18.1$	$\leq 14.3$	$\leq 16.3$	$\leq 13.2$	$\leq 22.5$
Cu	0.4-4.1	0.4-4.1	0.3-3.8	0.5-2.8	0.5-1.2	0.3-1.4	0.3-6.2	$\leq 1.5$	0.1-7.8	0.4-8.9	0.5-2.3	0.3-1.6
Fe	5.4-21.2	4.9-17.0	7.9-29.5	4.7-16.1	2.5-17.4	4.5-37.6	3.9-30.6	2.8-15.6	1.7-30.4	2.9-20.6	3.1-14.7	3.2-24.3
Mn	$\leq 2.4$	$\leq 2.2$	$\leq 0.4$	$\leq 2.0$	$\leq 12.7$	$\leq 3.3$	$\leq 1.2$	$\leq 1.2$	$\leq 12.8$	$\leq 3.2$	$\leq 0.2$	$\leq 0.2$
Hg	2.0-6.8	1.6-8.1	1.8-7.0	0.5-6.2	$\leq 7.1$	2.5-8.0	1.7-7.0	2.0-7.0	0.7-6.6	$\leq 33.2$	0.9-7.6	3.6-7.2
Pb	$\leq 8.0$	$\leq 9.0$	$\leq 9.4$	1.1-7.3	$\leq 7.8$	$\leq 14.9$	$\leq 5.9$	$\leq 93.7$	$\leq 7.2$	$\leq 8.7$	0.1-5.5	1.3-8.4
Sn	$\leq 122.9$	$\leq 164.3$	$\leq 462.3$	$\leq 166.1$	$\leq 170.8$	$\leq 85.6$	$\leq 182.4$	$\leq 137.3$	$\leq 151.8$	2.1-79.4	$\leq 56.8$	$\leq 177.6$
Zn	8.7-34.3	4.8-34.2	4.8-29.6	3.2-23.8	3.5-13.6	4.6-30.6	4.8-88.4	4.0-42.8	2.3-24.1	2.8-24.6	2.5-10.5	3.4-12.7

낮았고, 1월에  $14.2 \pm 6.5$  ppb로 가장 높았다. 해수 중 망간 함량은  $\leq 12.8$  ppb의 범위였고, 11월에 일부 정점에서 높게 나타난 것을 제외하고는 대부분 3.3 ppb 이하로 낮았다. 수은 함량은  $\leq 33.2$  ppb의 농도범위였고, 8월의 조사정점 10의 표층에서 33.2 ppb인 것을 제외하면,  $\leq 8.1$  ppb의 농도분포를 나타내었다. 해수 중 납 함량은  $\leq 93.7$  ppb의 농도범위였고, 9월의 조사정점 8의 저층을 제외하면 14.9 ppb 이하로 매우 낮은 농도분포였다. 주석은 조사기간 및 조사정점에 따라 차이가 심하였고, 대부분 100 ppb 이하였고, 9, 10월에는 거의 검출되지 않는 경우도 많았다. 해수중 아연함량은 2.3-88.4 ppb의 범위였고, 1월의 조사정점 7의 하층에서 가장 높았다. 주로 해역의 동쪽에 위치한 조사정점이 (조사정점 1-3) 다소 높게 나타나는 경향이 있었다.

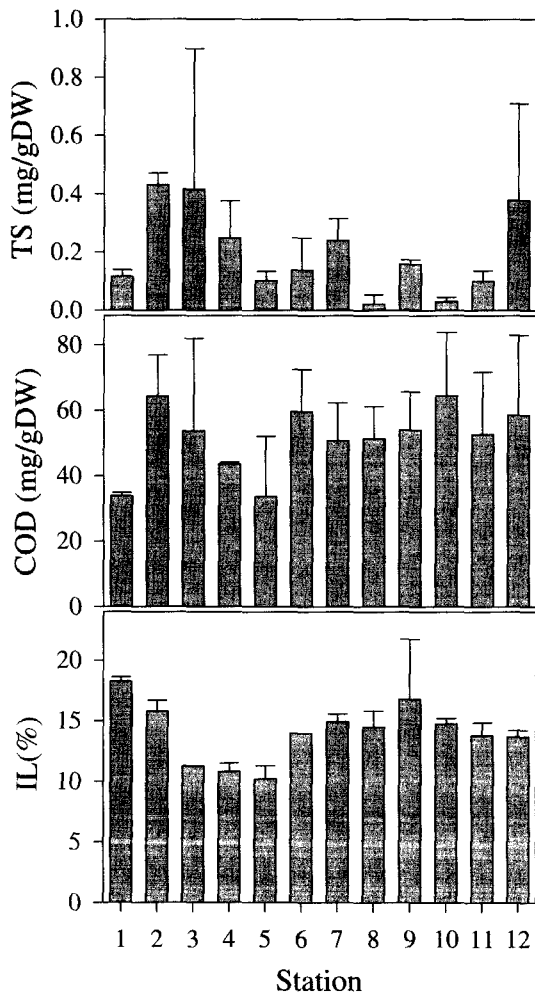


Fig. 3. Measurements of sediment quality in Jindong Bay. The value and bar indicate mean value and standard deviation.

### 3. 저질

조사해역의 저질조사결과는 Fig. 3과 같다. 저질의 IL 값은 9.4-20.3%의 범위였다. 해역의 내만과 외만의 IL 함량비의 차이가 확연하게 나타났고, 특히 해역 내만의 조사정점 5에서 가장 낮았고 ( $10.2 \pm 1.1\%$ ), 외만에 위치한 조사정점 1에서 가장 높았다 ( $18.2 \pm 0.3\%$ ).

저질의 화학적 산소요구량은 20.6-78.2 mg/O<sub>2</sub>/dry mud의 범위였고, 전 조사기간 중 평균 COD는  $51.7 \pm 15.4$  mg/O<sub>2</sub>/dry mud이었다. 조사월별로는 8월에  $41.9 \pm 9.23$ , 12월에  $61.5 \pm 14.21$  mg/O<sub>2</sub>/dry mud로 저수온기인 12월에 보다 높게 나타났다. COD 값의 수평분포는 해역의 동쪽 조사정점에서 다소 높게 나타났다. 정점별로는 해역의 외해측에 위치한 조사정점 1이 가장 낮았고 ( $33.9 \pm 1.0$  mg/O<sub>2</sub>/dry mud), 조사정점 10이 가장 높았다 ( $64.5 \pm 19.4$  mg/O<sub>2</sub>/dry mud).

조사해역의 저질 중 TS 함량은 0.0-0.76 mgS<sup>2</sup>/g dry mud의 범위였고, 정점별 평균값은 조사정점 2가  $0.43 \pm 0.04$  mgS<sup>2</sup>/g dry mud로 가장 높았고, 조사정점 8이  $0.02 \pm 0.03$  mgS<sup>2</sup>/g dry mud로 가장 낮았다. 시기별로는 8월에  $0.16 \pm 0.11$ , 12월  $0.24 \pm 0.25$  mgS<sup>2</sup>/g dry mud로 겨울철이 보다 높게 나타났다.

### 4. 오염부하

진동만에 영향을 주는 유역의 면적, 가구수, 인구 및 인구밀도는 Table 4와 같다. 이 해역에 지속적으로 영향을 미치는 하천으로는 진전천이 있고, 이외에 평암천, 석곡천과 같은 우수시 흐르는 소하천이 몇 개 존재한다. 조사해역인 진동해역에 영향을 미치는 행정구역으로는 마산시 진동면, 진북면, 진전면 및 구산면의 4개면과 46개 마을이 있다. 진전면은 여양리를 포함한 17개 마을로 구성되어 있고, 총면적 7,231.8 ha로 2,122 가구에 인구는 5,478명이 거주하고 있다. 진북면은 정현리 등 모두 15개 마을이 있고, 면적 4,232.3 ha내에 1946 가구, 5,033명이 거주하고 있다. 한편 진동면은 동전리 외 14개의 마을이 있고, 이 중에는 3개의 섬이 포함된다. 면적은 전체

Table 4. Populations in the studied area in 2002.

District	Area (ha)	Household (families)	Population (Persons)
Jinjeon	7,231.8	2,122	5,478
Jinbuk	4,232.3	1,946	5,033
Jindong	3,294.3	3,191	9,808
Gusan	333.7	109	293
Total	15,092.1	7,368	20,612

**Table 8.** Parameters for feces production.

Cultural period	Dec. to June
Cases	7
Mean area per each case	4.428 ha
Length of long-line (m)	8856 m/4.428 ha
No. of hanging line (criteria: 0.6m)	14760 lines/4.428 ha
Number of animal in unit hanging line	1700 individual/line
Excretion rate	66 mg/animal/day

3,628 ha이고, 3,300 가구 중 10,101명이 거주하고 있다. 유역의 면적 중에서 진전면이 47.8%로 가장 넓은 면적을 차지하였고, 이후 진북면 (28.1%), 진동면 (24.0%) 순이었다. 그러나 인구수는 오히려 진동면이 49.0%로 가장 높아 인구밀도가 가장 높은 것으로 조사되었다 (Table 5).

진동해역의 유역에서 사육중인 가축현황은 소 4,090 마리, 돼지 38,504 마리, 닭 23,205 마리, 오리 266 마리 및 기타 6,167 마리가 사육중이었다. 진전면은 소 2,331 마리, 돼지 5,961 마리, 닭 22,246 마리, 오리 266 마리 및 기타 1,680 마리로 다른 면에 비해 훨씬 많은 사육미수를 나타내었고, 진북면이 소 1,399 마리, 돼지 27,273 마리, 닭 405 마리 및 기타 3,137 마리였다. 진동면은 소 360 마리, 돼지 5,170 마리, 닭 554 마리 및 기타 1,350 마리였다 (Table 6).

주변 육지로부터 진동해역에 영향을 미치는 점원 오염부하량의 대부분은 가축에 의해 발생하는 것으로 조사되었고, 지역별로 보면, 진북면의 오염부하가 가장 높았다. BOD의 경우, 진동면에서 총발생하는 점원 오염부하량은 연간 3,025.0 ton으로, 이중 진북면이 1,648.1 ton (54.5%), 진전면이 935.6 ton (30.9%), 진동면이 441.4 ton (14.6%) 순이었다. SS는 연간 발생량 9,582.6 ton 중 진북면과 진전면에서 약 89.3%를 배출하는 것으로 조사되었다. 질소와 인의 배출량도 진북면에서 56.8%와 59.9%로 대부분을 차지하였다 (Table 7).

토지이용현황에 따른 원단위 산정법으로 진동만에 영향을 주는 유역의 비점원 오염부하량을 조사한 결과, 가장 큰 영향을 주는 곳은 진전면으로 연간 BOD 부하량의 47.6% (67.3

ton/yr), SS의 47.3% (50.7 ton/yr), 총질소의 45.8% (21.4 ton/yr), 총인의 43.9% (4.0 ton/yr) 가 발생하는 것으로 조사되었다. 그 외 진북면과 진동면의 오염부하는 20-30%정도였다 (Table 7).

조사해역의 총면적은 간석지를 제외한 조하대를 기준으로 2,160 ha이고, 굴 및 미더덕류와 같은 수하식 양식면적은 333.5 ha에 해당한다 (Table 1). 이 면적을 적용하여 연간 침강량을 계산하면, 양식수역은 12,537.93 ton/yr, 비양식수역은

**Table 5.** The present status of land useage in the studied area in 2002. (Unit: ha)

District	Paddy Field	Farm	Forest	Others
Jinjeon	903.7	307.3	5,848.3	172.5
Jinbuk	671.9	149.9	3,297.1	113.8
Jindong	440.2	142.9	2,472.5	239.0
Gusan	45.9	10.3	276.0	1.5

**Table 6.** The present status of domestic livestock in the studied area in 2002.

District	Cattle	Pig	Poultry	Others
Jinjeon	2,331	5,961	22,246	1,680
Jinbuk	1,399	27,373	405	3,137
Jindong	278	5,170	530	1,190
Gusan	82	-	24	160

**Table 7.** Annual generation of pollution load (ton/yr) from non-point and point sources in the studied area.

District	Point				Non-point			
	BOD	SS	TN	TP	BOD	SS	TN	TP
Jinjeon	935.6	4,020.9	153.3	97.8	67.3	50.7	21.4	4.0
Jinbuk	1,648.1	4,529.0	269.2	204.6	40.4	30.7	14.1	3.0
Jindong	441.4	1,032.7	51.5	39.0	30.5	23.5	10.2	2.0
Gusan	23.4	119.0	3.8	2.2	3.1	2.3	1.0	0.2

11,037.76 ton/yr의 침강량이 발생하는 것으로 계산되었다. 조사해역에서 양식수역의 면적 점유율은 15.4%인데 비해 양식수역의 침강량은 전 해역 침강량의 53.2%를 차지하였다.

미더덕 양식장이 진동 해역의 환경에 미치는 영향을 파악하기 위하여 단위 미더덕 양식장의 배설량을 산정하였고, 이를 통하여 현재의 배설량과 이후 새로운 양식장이 증설되었을 때의 배설량의 변화를 산정하였다. 미더덕의 단위 양식면적당 배설량을 산정하기 위한 기본 파라미터는 Table 8과 같다. 이상의 자료를 통해, 수확기인 3월 기준으로 산정한 단위 양식면적당 미더덕 개체수는 5,964,912 개체였다. 그러나 양식중인 생물의 개체수는 항상 일정하지 않으므로 여기에 폐사율을 적용하여 월별 개체수의 변화를 고려하여야 하고, 배설량은 양식기간중 이 개체들이 배설하는 총량에 해당한다. 미더덕의 폐사율은 Park *et al.*, (1997)의 자료를 활용하였고, 양식기간은 Park *et al.*, (1997)의 보고에 따라 12월부터 익년 6월까지 총 7개월을 기준으로 하였다.

그러나, 양식과정에 많은 해적생물에 의해 양식생물이 피해를 받게되고, 이러한 해적생물의 대부분은 부착성 해적생물로 양식생물과 더불어 먹이경쟁을 벌이게 된다. 따라서 이러한 부착생물에 의한 오염의 영향을 고려하여야 한다. Arakawa *et al.* (1971)이 굴양식장의 배설량을 조사한 결과 양식굴이외 부착생물의 배설량이 약 20% 정도를 차지하는 것으로 보고하였다. 미더덕의 생존율은 양식후 2개월간 100%에서 3개월째부터 폐사개체가 나타나기 시작하여 수온이 증가함에 따라 폐사율이 증가하게 된다. 양식말기인 6월에는 약 31.5%의 폐사율을 보이는 것으로 알려져 있다 (Park *et al.*, 1997).

단위개체당 배설량은 참굴은 60.3 mg/individual/day (Cho *et al.*, 1990), 미더덕은 55 mg/individual/day, 담치는 52 mg/individual/day, 흰명게 97.2 mg/individual/day (Park *et al.*, 1997)을 각각 적용하면 (Park *et al.*, 1997), 미더덕 양식장 1 ha당 총 배설물량은 88.3 ton/ha/yr, 굴양식장 6.39 ton/ha/yr, 담치양식장 5.56 ton/ha/yr의 배설물을 생산하는 것으로 계산되었다. 단위 미더덕 양식면적당 개체수와 계산중량을 이용하여 월별 미더덕 부착중량을 구하고, 여기에 월별 부착생물 부착량을 적용하여 단위 미더덕 양식면적당 부착생물량을 구한 결과, 양식기간 중 단위 양식면적당 부착생물량은 총 30.4 ton/ha/yr으로 이는 미더덕 배설량의 41.3%에 해당하는 많은 량이다. 따라서 현재 양식시설 기준에서 양식장으로부터 생성되는 오염부하량을 계산하면 3,932 ton/yr로 추정되었다.

미더덕 배설물중 유기질소함량은 0.4-0.7%였고, 유기탄소함량은 3.7-9.3%로 굴 배설물의 유기질소 및 탄소함량과 비슷한 함량 범위였다 (Kusuki, 1981). 이들 유기물 함량을 배설물에 적용하면, 부착생물을 포함한 단위 미더덕 양식장당 배설되는

유기질소량은 0.35-0.62 ton/ha/yr이고, 유기탄소는 3.27-8.22 ton/ha/yr에 해당하는 것으로 생각된다. 따라서 진동만의 양식장으로부터 배출되는 유기질소는 15.9- 23.6 ton/yr, 유기탄소는 145.2-366.1 ton/yr의 범위였다.

## 고 찰

진동해역의 수질환경은 저수온기에는 수질 2등급에 해당하였으나, 고수온기에는 3등급 기준치를 초과하고 있다. 특히 여름철 저층 DO는 현저하게 감소하여 0.2-3.2 mg/l의 범위로 현저한 빈산소상태를 이루고 있었다. 만의 서부가 낮고 특히 가장 외해측에 위치한 조사정점 1의 DO가 가장 낮았다. 하계 진동해역의 DO 농도에 영향을 주는 요인을 찾고자 해역의 여름철 화학환경특성을 Pearson 상관분석한 결과, DIN (-0.833), DIP (-0.948) 및 염분농도 (-0.984)가 강한 부상관 관계를 보이고, SS (0.732)는 정상관관계였다 (p = 0.01). 이는 진동만해역의 여름철 영양염류 유입은 주로 강우에 의한 육지로부터 기원하고 이들에 의해 증가된 영양염류의 분해에 산소소모가 증가되는 것으로 생각된다.

일반적으로 빈산소수괴의 발생은 연직수평혼합에 의하여 결정되고 (Takasugi, 1996), 연직확산에 80% 정도, 수평이류확산으로 20% 정도가 결정된다 (Isobe *et al.*, 1993). 육지로부터 유입된 영양염은 만내측의 외항 표층류에 의해 만외측으로 이송되었다가 만 외측에 작용하는 하강류에 의해 하강하고, 다시금 내만으로 향하는 저층류의 작용으로 만내로 유입되는 것으로 보인다 (Kim and Kim, 2003). 따라서 표층에서 연직 하강류가 작용하는 비교적 수심이 깊은 조사정점 1 부근 해역은 조석 잔차류가 탁월한 수역으로 수평적인 분산계수는 작아서 성층이 강한 하계에는 연직교환이 나빠져 용존산소의 소비속도가 증대된 것으로 생각된다.

해수중 중금속 농도는 일부 시기를 제외하면 다른 해역과 비슷한 수준이었으나, 2002년 8월 조사에서 조사정점 1-6의 중금속 농도가 현저하게 높았다. 이 조사시기는 창조시로 낙조시 인근 마산만에서부터 유출된 해수의 영향을 직접적으로 받은 것으로 판단된다. Kim and Lee (2000)은 마산만 주변해역의 잔차류의 특성은 마산만에서 외해로 향하고 마산만을 벗어나면 진동만쪽으로 서향하여 진동만 외해측에서 반시계방향으로 와류가 형성되는 것으로 보고하고 있다. 따라서 마산만의 오염물질은 조석류에 의해 진동만에 영향을 미치며, 주로 만의 외해측에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 우리 조사결과는 Lee and Kwon (1994)의 결과보다 훨씬 높았다.

해역으로 유입되는 총 오염부하를 조사한 결과, 연간 진동해역으로 유입되는 오염부하량은 부유물질 기준으로 전체 37,316 ton/yr로 추정되었고, 이중 육지기원 부하량이 9,809 ton/yr (26.3%)였고, 해역의 침강량 23,576 ton/yr



(63.2%), 양식생물의 배설량이 3,932 ton/yr (10.5%) 로 대부분이 해역의 침강량에 의한 것으로 조사되었다. 육지오염부하량이 변동이 없다는 전제 조건 아래, 진동만의 피조개 채묘장을 미더덕 양식장으로 품종전환시킬 경우, 전체 부하량은 산술적으로 약 196%가 증가한 72,998 ton/yr가 되고, 양식생물의 배설량은 10배 정도 증가하게 되어 진동만의 오염부하를 가중하게 된다.

진동만은 여름철 빈산소수괴 및 적조가 빈번하게 발생하고 있으므로 미더덕 양식장을 새로이 시설할 경우 오염부하가 가중될 것으로 판단되어, 앞으로 진동만의 양식장 수용능력을 파악하여 적정량의 양식물량이 시설되어야 할 것이다.

REFERENCES

Ahn, S.H, Jung, S.H., Kang, S.J., Jeong, T.S. and Choi, B.D. (2003) Extraction of glycosaminoglycans from *Styela clava* Tunic. *Korean Journal of Biotechnology and Bioengineering*, **18**(3): 180-185.

Arakawa, K.W. (1971) Note on a serious damage to cultured oyster crops in Hiroshima outbreak of a serpulid worm, *Hydroides morvegica* (Gunnerus) in 1969. *Venus*, **30**(2): 75-83.

Cho, C.H. (1991) Contribution and future direction in the study of aquacultural oceanography in Jinhae Bay, Korea. *Journal of Aquaculture*, **4**(2): 129-136. [In Korean]

Cho, C.H., Kim, Y.S., Youm, M.G., Choi, J.D., Jeong, W.G. and Choi, W.J. (1996) Evaluation of environmental capacity for shellfish farms in Puk Bay. Gyeongsangnam-do, College of Fisheries GSNU, Tongyeong, 309 pp. [In Korean]

Joh, Y.G., 1978. The sterol composition of *Styela clava*. *Korean Fisheries Society*, **11**(2): 97-101.

Kang, Y.S., Park, J.S., Lee, S.S., Kim, H.G. and Lee, P.Y. (1996) Zooplankton community and distributions of copepods in relation to eutrophic evaluation in Chinhae Bay. *Journal of Korean Fisheries Society*, **29**(4): 415-430. [in Korean]

Kim, C.K. and Lee, P.Y. (2000) Three-dimensional water quality modeling of Chinhae Bay. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, **12**(1): 1-10.

Kim, D.S. (2003) A method of environmental management using an ecological numerical model in Jindong Bay. *Journal of Environmental Sciences*, **12**(3): 345-368. [in Korean]

Kim, D.S. (2003) A method of environmental management using an ecological numerical model in Jindong Bay. *Journal of Environmental Sciences*, **12**(3): 345-368.

Kim, D.S. and Hong, C.H. (2003) Nutrient variations in the Jindong Bay during summer by ecosystem modeling. *Journal of Korean Society of*

*Oceanography*, **8**(2): 164-176.

Kim, D.S. and Hong, C.H. (2003) Nutrient variations in the Jindong Bay during Summer by Ecosystem Modeling. *The Sea, Journal of the Korean Society of Oceanography*, **8**(2): 164-176. [in Korean]

Kim, D.S. and Kim, S.W. (2003) Mechanism of oxygen-deficient water formation in Jindong Bay. *The Sea, Journal of the Korean Society of Oceanography*, **8**(2): 177-186. [in Korean]

Kim, M.C., Yu, H.S., Ok, M.S., Kim, C.H. and Chang, D.S. (1999) The Activities and Characteristics of Algicidal Bacteria in Chindong Bay. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **32**(3): 359-367. [in Korean]

Kim, Y.S., and T.S. Moon, 1998. Filtering rate with effect of water temperature and size of two farming ascidians *Styela clava* and *S. plicata*, and a farming mussel *Mytilus edulis*. *Korean Fisheries Society*, **31**(2): 272-277.

Kusuki, Y. (1981) Fundamental studies on the deterioration of oyster growing grounds. *Bulletin of Hiroshima Fishery Experiment Station*, **11**: 93 pp.

Lee, C.W. and Kwon, Y.T. (1994) Monitoring of Masan Bay during sediments dredging (1990-1994). 259 pp. Masan. [in Korean]

Lee, E.H., Chung, S.Y., Ha, J.H., Sung, N.J. and Cho, K.O. (1975) Free amino acid content in the extract of Mideudiuck, *Styela clava*. *Korean Fisheries Society*, **8**(3): 177-180.

Lee, T.Y. (1976) Gametogenesis and reproductive cycle of Urochorda 1. Ascidian, *Styela plicata* (Lesueur). *Publications of Institute of Marine Science, National Fisheries University, Busan*, **9**: 7-16. [in Korean]

Lee, T.Y. (1977) Gametogenesis and reproductive cycle of Urochorda 2. Ascidian, *Styela clava* Herdman. *Publications of Institute of Marine Science of National Fisheries University, Busan*, **10**: 5-14. [in Korean]

Na, G.H. and Lee, T.Y. (1977) Early developemnt and larval distribution of ascidians, *Styela clava* and *Ciona intestinalis* (Line). *Publications of Institute of Marine Science of National Fisheries University, Busan*, **10**: 41-56. [in Korean]

Park, J.H., Moon, T.S., Kim, Y.S., Kang, S.J., Park, A.J., Choi, H.S., Kim, P.K., Choi, W.J., Park, Y.C., Na, G.H., Yoo, H.D., Cha, J.G., Yang, M.J., Ha, I.G. and Park, H.S. (1997) Studies on the development of aquaculture technology for ascidians, *Styela clava* Herdman. 198 pp. NFRDI, Ministry of Agriculture and Fisheries, Kwachon, [in Korean]

Parsons, T.R. (1984) A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. Oxford.

Rho, B.J. (1968) Some ascidians from the south sea of Korea. *Journal of Korean Research Institute for Better Living*, **1**: 87-99.

under artificial conditions in aquaculture, the various artificial and natural diets, which are nutrient and easy to be devoured or digested, should be fed to the abalone according to different developmental stages, including some benthic diatoms and unicellular microalgae, such as *Navicula*, *Cocconeis*, *Nitzschia*, *Phaeodactylum*, *Chaetoceros*, *Tetraselmis*, *Chrysophyta*, etc (Wang, 1993). In this study, we designed an experiment to do some investigation on the selection of abalone to different artificial and natural diets.

## MATERIALS AND METHODS

### 1. Rearing samples

The abalones, *Haliotis discus hannai*, were collected from the inshore area of Yosu City, Korea. The average shell length of the abalones was about 5.0 cm. After collection, they were bred in four breeding troughs, which is 1 meter long, containing filtered seawater immediately. Here every 100 individuals were bred in one trough, and all the abalones in four troughs were reared at the same environmental conditions: temperature 22°C, salinity 33%, except for the feeding diets.

### 2. The diets

The abalones were put at one end of the trough, and four different diets, including *Ulva pertusa*, *Laminaria japonica*, *Navicula* spp., and artificial diet, were fed from the other end to each of the trough, respectively. The artificial diet was prepared as the following stuff (Table 1), and these four kinds of diets were different

**Table 1.** Preparation stuff of artificial diet.

Stuff	Mixture percent (%)
White fishmeal	15.0
Soybean meal	15.0
Sea mustard powder	32.0
Wheat flour	10.0
Sodium alginate	20.0
Squid liver	2.0
Mineral mixture	4.0
Vitamin mixture	2.0

**Table 2.** Proximate composition (%) of the diets used for experiment.

Kind of feed	Crude protein	Crude lipid	Water
Artificial diet	24.2	3.3	13.6
<i>Ulva pertusa</i>	2.1	0.2	94.6
<i>Laminaria japonica</i>	1.9	0.2	88.7
<i>Navicula</i> spp.	2.1	0.3	95.4

in the content nutritionally (Table 2).

### 3. Examining the migration rate and growth

At 6 h, 12 h, 18 h, 24 h, 30 h after the breeding and feeding, the migration of abalones to the dietend in four troughs was examined respectively.

30 days later, the shell length of abalones in four troughs was measured. The daily increment in growth and the specific growth rate were calculated as the following formulas: Daily Increment ( $\mu\text{m}$ ) = (Final shell length (mm) - Initial shell length (mm))/Rearing days (d)  $\times$  1000; Growth Rate (%) = Daily Increment ( $\mu\text{m}$ )/(Initial shell length (mm)  $\times$  1000)  $\times$  100.

## RESULTS

### 1. Migration rate

At 6 h, the migration of abalones in four troughs had no significant difference. The abalones were all within the range of 0-40 cm. The migration rate of 0-20 cm range at four diets, *Ulva pertusa*, *Navicula* spp, *Laminaria japonica*, and artificial diet, was 59%, 55%, 57%, and 67%, respectively. The rate of 20-40 cm range was 41%, 45%, 43%, and 33%. At 12 h, though the individuals were all within the range of 0-80 cm, the migration rates showed the difference. The rate of 60-80 cm range at *Ulva pertusa* and *Navicula* spp groups had reached 67% and 65%, while the artificial diet group was only 10%. At 18 h, 79% and 82% numbers of abalones at *Ulva pertusa* and *Navicula* spp. groups had moved to 80-100 cm range, and only 9% and 8% individuals were still at 0-20 cm range. At the same time, at artificial diet group, there were just 11% abalones within the 80-100 cm range, and most of the individuals (67%) was at 40-80 cm range. At *Laminaria japonica* group, the migration rate of 80-100 cm range was 57%. At 24 h, most of abalones at *Ulva pertusa* and *Navicula* spp. groups had

**Table 3.** Migration rate (%) of *Haliotis discus hannai* after 30 hours in experimental tank with *Ulva pertusa*.

Range (cm)	Elapsed time (hour)				
	6	12	18	24	30
0-20	59	13	9	-	-
20-40	41	6	-	4	2
40-60	-	9	-	-	-
60-80	-	67	12	4	3
80-100	-	-	79	92	95

**Table 4.** Migration rate (%) of *Haliotis discus hannai* after 30 hours in experimental tank with *Navicula* spp.

Range (cm)	Elapsed time (hour)				
	6	12	18	24	30
0-20	55	15	8	-	-
20-40	45	5	-	5	3
40-60	-	10	-	-	-
60-80	-	65	10	7	6
80-100	-	-	82	88	91

**Table 5.** Migration rate (%) of *Haliotis discus hannai* after 30 hours in experimental tank with *Laminaria japonica*.

Range (cm)	Elapsed time (hour)				
	6	12	18	24	30
0-20	57	10	9	5	-
20-40	43	17	-	-	-
40-60	-	21	23	9	6
60-80	-	52	11	10	7
80-100	-	-	57	76	87

migrated to the range of 80-100 cm (92% and 88%), the numbers of which at artificial diet group was just 46%. At 30 h, most of individuals at *Ulva pertusa*, *Navicula* spp., *Laminaria japonica* groups had congregated at the range of 80-100 cm, the rates of which were 95%, 91% and 87%. At artificial diet group, the migration rate of 80-100 cm range was

**Table 6.** Migration rate (%) of *Haliotis discus hannai* after 30 hours in experimental tank with artificial diet.

Range (cm)	Elapsed time (hour)				
	6	12	18	24	30
0-20	67	47	5	-	-
20-40	33	31	17	3	3
40-60	-	12	31	25	15
60-80	-	10	36	26	12
80-100	-	-	11	46	70

70%, as well as the rates of 40-60 cm and 60-80 cm were 15% and 12% (Table 3, 4, 5 and 6).

## 2. Growth, daily increment and growth rate

After rearing for 30 days, initiating with the same shell length (5.0 cm), the final shell length of abalones at *Ulva pertusa*, *Navicula* spp, *Laminaria japonica*, and artificial diet groups was 8.6 cm, 8.1 cm, 7.7 cm, and 7.5 cm, respectively. The highest daily increment was at *Ulva pertusa* group, which was 120.7  $\mu$ m. The smallest one appeared at artificial diet group, 81.7%. As to the growth rate, the value of *Ulva pertusa* group is 2.41%, and the second was *Navicula* spp group, 2.04%. The third one appeared at *Laminaria japonica* group, 1.77%. The artificial diet group had the lowest growth rate, which was 1.63% (Table 7).

## DISCUSSION

*Haliotis discus hannai* is dioecious. Usually, it is liable to inhabit the marine area with ample algae, clean water quality and smooth current. Under natural conditions, if the sea area has a certain inflow of freshwater, it won't survive. The juvenile abalones mainly eat the benthic diatom, while the adult individuals are polyphagous. Its diet mainly includes

**Table 7.** Growth of *Haliotis discus hannai* reared at various diets for 30 days.

Food	Shell length $\pm$ SD (mm)		Daily increment ( $\mu$ m)	Specific growth rate (%)
	Initial	Final		
<i>Navicula</i> spp.	5.0 $\pm$ 1.0	8.1 $\pm$ 1.1	102.0	2.04
<i>Ulva pertusa</i>	5.0 $\pm$ 1.0	8.6 $\pm$ 1.4	120.7	2.41
<i>Laminaria japonica</i>	5.0 $\pm$ 1.0	7.7 $\pm$ 0.8	88.7	1.77
Artificial diet	5.0 $\pm$ 1.0	7.5 $\pm$ 1.2	81.7	1.63

Data presented as mean  $\pm$  SD

**Table 8.** Amino acid content, ratio of essential amino acid (EAA) to total amino acid (TAA) of various diets used in experiment.

Amino acids	mg/100 g edible portion (%)			
	Artificial diet	<i>Ulva pertusa</i>	<i>Laminaria japonica</i>	<i>Navicula</i> spp.
Alanine	1371.3 (6.6)	123.0 (10.6)	96.2 (4.9)	10.3 (8.1)
Ammonia	230.0 (1.1)	19.2 (1.6)	12.4 (0.6)	2.8 (2.2)
Arginine	1199.9 (5.8)	79.8 (6.8)	35.4 (1.8)	4.9 (3.9)
Aspartic acid	2205.9 (10.6)	144.9 (12.4)	608.2 (31.1)	0.9 (13.2)
Cysteine	166.2 (0.8)	24.2 (2.1)	13.8 (0.7)	1.7 (1.4)
Glutamic acid	3817.6 (18.4)	149.7 (12.8)	571.0 (29.2)	16.3 (12.8)
Glycine	1222.9 (5.9)	75.6 (6.5)	53.5 (2.7)	8.6 (6.7)
Histidine	337.4 (1.6)	12.8 (1.1)	15.1 (0.8)	2.0 (1.6)
Isoleucine	777.2 (3.7)	40.2 (3.4)	31.0 (1.6)	4.8 (3.8)
Leucine	1665.2 (8.0)	72.6 (6.2)	62.8 (3.2)	9.1 (7.1)
Lysine	1007.5 (4.8)	38.1 (3.3)	45.8 (2.3)	4.4 (3.4)
Phenylalanine	928.2 (4.5)	57.2 (4.9)	41.9 (2.1)	7.1 (5.6)
Proline	1339.1 (6.4)	49.8 (4.3)	19.4 (4.7)	6.9 (5.4)
Serine	1011.3 (4.9)	72.4 (6.2)	58.5 (3.0)	7.4 (5.8)
Taurine	36.1 (1.7)	9.4 (0.8)	33.1 (1.7)	0.9 (0.7)
Threonine	982.3 (4.7)	73.2 (6.3)	87.0 (4.4)	8.1 (6.4)
Tyrosine	662.7 (3.2)	34.1 (2.9)	29.0 (1.5)	4.0 (3.2)
Valine	915.6 (4.4)	68.4 (5.9)	49.9 (2.5)	7.7 (6.1)
Total	20803.2 (100)	1165.7 (100)	1958.6 (100)	127.0 (99.9)
EAA/TAA (%)	33.1	31.8	17.4	34.9

the Phaeophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta, as well as *Rhodophyta*, spermatophyte, lower plant, and a little other small animals, such as Globigerina, Gastropod, Copepod, Foraminiferida, and Hydrozoans (Wang, 1993). The abalone has a strong selectivity to the various algae. They often firstly eat their preferred algal species. Under the conditions of starvation and passive feeding, they are very sensitive to the diet, and usually perform the feeding day and night.

In our experiment, the abalones fed with *Ulva pertusa* and *Navicula* spp. had a relatively strong locomotivity. 18 h later after the feeding, most of individuals (79% and 82%) at these two groups had migrated to the range of 80-100 cm. At 24 h, almost all the abalones (92% and 88%) had reached the diet end of the trough. At *Laminaria japonica* group, the rate of 80-100 cm range at 18h and 24h was 57% and

76%. As to the artificial diet group, the trend was weak. At 18 h, only 11% individuals moved to the range of 80-100 cm, and at 24 h, this rate was 46%, much lower than the former three groups. Concerning the final result at 30h, 95%, 91% and 87% abalones at *Ulva pertusa*, *Navicula* spp. and *Laminaria japonica* groups had migrated to the diet end. Only a few (2, 3, 6 individuals) were still at the range of 0-60 cm. While at artificial diet group, the migration rate of 80-100 cm range was 70%, and there were still 18 individuals at the range of 0-60 cm. From these data, we can infer that, the abalones prefer *Ulva pertusa* and *Navicula* spp. to *Laminaria japonica*, and the artificial diet has the weakest attraction to the abalones. Analyzed on the basis of component content and total amino acid (TAA), as well as essential amino acid (EAA) (Table 8), we can deduce that, though the artificial diet has a high content of protein and lipid,

due to the high content of flesh-eating component, it is not preferred by the abalones. On the contrary, the natural diets, *Ulva pertusa* and *Navicula* spp., are more useful.

In the daily increment, the *Ulva pertusa* group had the highest value, 120.7  $\mu\text{m}$ . The lowest value appeared at the artificial diet group, only 81.7  $\mu\text{m}$ . Concerning that the abalone grow slowly *per se* (it may take 3.5-4 years to grow from 1.5 cm to 6.5 cm for the abalones), this difference is relatively significant. At *Navicula* spp. and *Laminaria japonica* groups, the increment is 120.7  $\mu\text{m}$  and 88.7  $\mu\text{m}$ , both of which are lower than that of *Ulva pertusa* group. The specific growth rate has the same contrast; *Ulva pertusa* group (2.41%) > *Navicula* spp. group (2.04%) > *Laminaria japonica* group (1.77%) > artificial diet group (1.63%). Concerning the amino acid (AA) content and the size of these diets, it is suggested that, though *Laminaria japonica* has a higher AA content, the abalone may take more energy in chew and digest this macroalga, so it has a weaker effect than the microalgae, *Ulva pertusa* and *Navicula* spp., on the growth of abalones. As to *Ulva pertusa* and *Navicula* spp. obviously, the high AA content, which is 1165.7 mg/g and 127.0 mg/g in *Ulva pertusa* and *Navicula* spp. respectively, leads to the well individual growth.

Analyzed on the amino acid composition, we can observe that, the diatoms had a high content of aspartic acid and glutamic acid. These two amino acids may play an important role in the larval growth of *Haliotis discus hannai*. Aspartic acid and glutamic acid are two kinds of neurotransmitters, which have the effect on promoting  $\text{K}^+$  to transfer to the cerebral portion. As to the effect mechanism of these two amino acids, we suggest that, they can stimulate the larval sense organ, such as the pedal portion and the third antenna, to promote the individual growth.

Some researchers performed the similar experiment to study the effect of different diets to the growth of juvenile abalones, and the result showed that, the diatom had a better effect than laver. It is corresponding with our study. On the basis of the above result, we suggest that, when breeding *Haliotis*

*discus hannai*, the diet, which is easy to be ingested and digested, as well as contains much nutrient content, should be used. If the artificial diet is used, it should contain low concentration of flesh-eating content. The green algae and diatom have a good effect to the growth of abalones.

## REFERENCES

- Buck, T.L., Breed, G.A., Pennings, S.C., Chase, M.E., Zimmer, M.C. and Thomas H. (2003) Diet choice in an omnivorous salt-marsh crab: different food types, body size, and habitat complexity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **292** (1): 103-116.
- Kawamura, T., Saido, T., Takami, H. and Yamashita, Y. (1995) Dietary value of benthic diatoms for the growth of post-larval abalone *Haliotis discus hannai*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **194** (2): 189-199.
- Mai, K.S. (1998) Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino.: VII. Effects of dietary vitamin C on survival, growth and tissue concentration of ascorbic acid. *Aquaculture*, **168**: 383-392.
- Mai, K.S., Mercer, J.P. and Donlon, J. (1995) Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. IV. Optimum dietary protein level for growth. *Aquaculture*, **136**: 165-180.
- Mai, K.S., Mercer, J.P. and Donlon, J. (1995) Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. III. Response of abalone to various levels of dietary lipid. *Aquaculture*, **134**: 65-80.
- Mai, K.S., Mercer, J.P. and Donlon, J. (1996) Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. V. The role of polyunsaturated fatty acids of macroalgae in abalone nutrition. *Aquaculture*, **139**: 77-89.
- Pechenik, J.A., Estrella, M.S. and Hammer, K. (1997) Food limitation stimulates metamorphosis of competent larvae and alters postmetamorphic growth rate in the marine prosobranch gastropod *Crepidula fornicata*. *Oceanographic Literature Review*, **44**: 1303.
- Takami, H., Kawamura, T. and Yamashita, Y. (1997) Survival and growth rates of post-larval abalone *Haliotis discus hannai* fed conspecific trail mucus and/or benthic diatom *Cocconeis scutellum* var. *parva*. *Oceanographic Literature Review*, **44**: 1349-1350.
- Wang, R.C. (1993) Aquaculture of Marine Shellfish. 8-10 pp. Ocean University of Qingdao Press.