

# 굴 養殖場의 微細環境에 關한 研究\*

## 1. 巨濟灣의 養殖場密度 및 富營養化에 關하여

조 창 환\*\* · 김 용 술\*\*

### MICROENVIRONMENT IN OYSTER FARM AREA

#### 1. On the Eutrophication and Raft Density in Geoje Bay

Chang Hwan CHO\*\* and Yong Soel KIM\*\*

After a great mortality owing to abnormal oceanographical condition and fungal disease in 1973 hanging culch lines per raft has been reduced to 450 from 558, and oyster production per raft has also been decreased. It seems to be the result of dense culture of oysters and its resulting accumulation of waste material on the sea bottom in the farm area.

The present study was carried out to investigate the effect of rearing density and the degree of eutrophication in Geoje Bay for 6 months from June through November in 1977.

Total area of this bay is about 48.9 km<sup>2</sup>, and the area of registered oyster farms as of November in 1977 is around 10.9 km<sup>2</sup>, which is about 22.3% of this bay.

Water quality during summer season was shown as transparency 5.5 m, COD 1.5ppm, degree of oxygen saturation 90.6% in upper and middle layers and 82.2% near bottom, chlorophyll-a 3.0 mg/m<sup>3</sup>, and phytoplankton 8.7 x 10<sup>4</sup> cells/l. In superficial mud in August COD was 35.4 mg/g, total sulphide 0.24 mg/g, and phaeophytin 43.7 μg/g dry mud. These values indicate that water quality in this bay is so far excellent but quantities of chemical oxygen demand and sulphide in bottom mud show maximum level or a little over eutrophication standard.

### 緒 言

굴 養殖事業의 大規模化는 結果적으로 漁場의 密殖 및 老化문제를 수반한다. 이에 관한 研究는 外國에서는 오래전부터 시작되었다. 1-14) 우리나라에서는 1974년에 部分的으로 取扱된 몇편의 報告<sup>15-17)</sup>가 있다.

南海岸에 굴 垂下式養殖이 大規模化한 후 1973년에 大被害가 있었지만 그후 漁場面積은 계속 확대되

었고 아울러 生産量도 增加되어 왔다. 그러나, 近年에 빈번히 發生하는 赤潮와 單位面積當 生産量의 減少현상은 漁場의 密殖 및 老化문제를 거론하기에 이르렀다.

著者들은 이에 관한 本格的인 調査의 必要性을 느껴 一次的으로 忠武近海의 굴 養殖漁場중 水質이 가장 良好하다고 알려진 淸淨海域을 포함한 巨濟灣一帶를 調査區로 選定하여 (Fig. 1) 漁場의 密度 및 水質과 底質의 富營養化를 포함한 漁場의 老化程度

\* 1977年度 文敎部學術研究助成費에 依함.

\*\* 統營水産專門學校, Tong-Yeong Fisheries Junior College

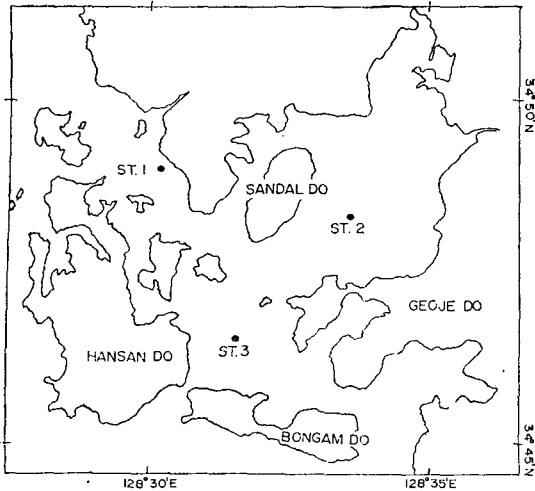


Fig. 1. Geoje Bay and stations where studies has been carried out in 1977.

를 究明코져 1977年 6月부터 11月까지 6個月間에 걸쳐 基礎調査를 實施하였기에 그 結果를 報告한다.

끝으로, 著者들은 本研究의 方向設定에 助言하여 주신 水産大學 柳戩奎 博士께 그리고 資料수집에 協助하여 주신 慶尙南道 水産局生産課 여러분과 大韓綜合食品會社 養殖課長 林東澤氏께 深甚한 謝意를 表한다.

## 方法 및 材料

### 1. 굴漁場密度

巨濟灣海域의 面積은 海圖上에서 Tamaya製 Pl-anometer로 算出하였고 同海域內의 굴 養殖漁場의 面積은 慶尙南道 水産局生産課에 登錄된 資料로부터 算出하였다.

### 2. 水質 및 底質

水質調査는 6月부터 11月까지 月2回씩 總11回, 底質調査는 8月부터 11月까지 月1回씩 4回 實施하였다.

每 觀測 때마다 水深을 재고 Secchi板으로 透明度를 測定한 후, 水溫은 表層에서 底層까지 1m간격으로 測溫하였고, 水質分析을 爲한 試料는 Van Dorn 採水器로 表層, 5m層 및 底上 1m層에서 採水한 후 實驗室로 운반하여 分析, 測定하였다. 植物플랑크톤은 口徑 30 cm의 xx13 採集網으로 底上 1m에서 表層까지 垂直採集하였다. 採泥器는 著者들이 製作한 直徑 30 mm의 stainless製 core 採泥器로 採泥하

여 0~5 cm의 表層泥를 試料로 하여 實驗室로 운반, 分析하였다.

水溫은 Thermistor를 이용한 電氣直讀式水溫計를 사용하였다.

鹽素量은 Salinometer로 測定하였다.

DO는 Winkler-아깃트화나트륨變法으로 測定하였다.<sup>18)</sup>

PO<sub>4</sub>-P는 염화제1주석法에 의해 波長 690 nm에서 測定하였다.<sup>18)</sup>

Chlorophyll-a는 90% 아세톤으로 추출하여 波長 750, 665, 645, 630 nm에서 測定하였다.<sup>19)</sup>

海水의 COD는 KM<sub>n</sub>O<sub>4</sub>-알카리性法으로<sup>20)</sup> 底泥의 COD는 옥소소비량法으로<sup>21)</sup> 測定하였다.

海水의 H<sub>2</sub>S는 P-phenylendiamine dihydrochloride와 황산제 2철암모늄을 써서 波長 625 nm에서 測定하였고<sup>22)</sup> 底泥의 硫化物總量은 水質汚濁調査指針<sup>21)</sup>에 의거 測定하였다.

底泥의 Phaeophytin은 90%아세톤으로 추출한 후 HCl을 加하여 波長 750 및 665 nm에서 測定하였다. 分光光度計는 Shimazu製의 Model UV-200S를 使用하였다.

## 3. 糞排泄物量

맛목의 垂下連에서 50個의 糞을 採取하여 貝殼洗滌後 室內水槽에서 xx13 망지를 받힌 비닐통에서 24時間동안의 排泄物을 받아 증류수로 鹽分을 제거한 후 현미경하에서 스포이드로 選別採取하여 여과시켜 濕重量을 秤量하였다.<sup>13)</sup>

## 結 果

### 1. 漁場密度

巨濟灣海域의 全表面積은 約 48.87 km<sup>2</sup>이고 道水産局에 登錄된 이 海域內의 養殖漁場 水面積은 10.91 km<sup>2</sup>이다 (Table 1). 上記의 漁場面積에는 살포식 漁場과 採苗場의 面積 2.32 km<sup>2</sup>은 포함되어 있지 않다. 따라서 海域面積에 對한 免許水面積은 22.33%이고 免許面積과 海域의 面積比는 1:4.48이 된다. 이는 免許水面積에 對하여 約 4.5배에 해당하는 餘有面積을 지닌다는 點이 된다.

Table 1 및 Fig. 2에서 보듯이 巨濟灣중 E域을 어구, H域을 한산, J域을 죽림漁場이라 할때, 어구와 한산漁場이 各各 5倍와 6倍의 餘有面積을 갖는데 비해 죽림漁場은 4倍미만으로 巨濟灣 전체로 볼때

單位海域當 筏목 및 연승시설이 가장 많다.

Table 1. Registered oyster farm area against total area of Goeje Bay, 1977

Area	A*(km <sup>2</sup> )	B**(m <sup>2</sup> )	B/A·100	A/B
E (Eogu)	11.70	2,312,540	19.76	5.06
J (Jukrim)	25.74	6,725,450	26.13	3.83
H (Hansan)	11.43	1,872,200	16.38	6.11
Total	48.87	10,910,190	22.32	4.48

\* A : Total area of sea surface.

\*\* B : Registered farm area.

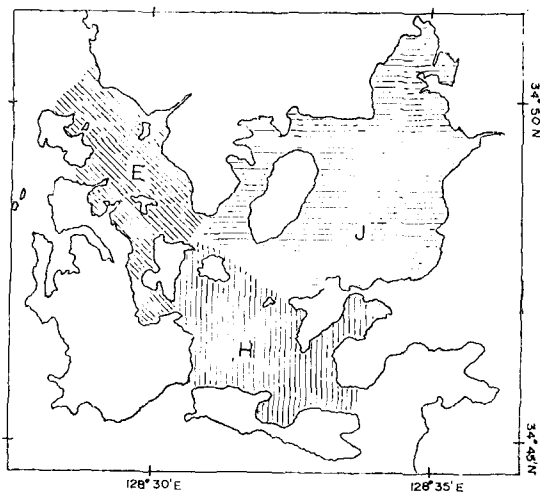


Fig. 2. Eogu, Hansan, and Jukrim oyster farm areas divided for convenience' sake of Goeje Bay.

2. 水質 및 底質

A. 水質

St. 1은 筏목역이고 St. 2는 연승이 밀집된 중앙이며 St. 3은 시설물이 없는 곳이다. Station을 위와같이 設定한 것은 station別 差異를 豫想했고 따라서 그 結果를 比較하려던 意圖이었으나 station에 따른 큰 차이는 發見할 수 없었다.

水溫 및 鹽素量 : 水溫은 Fig. 3에서 보듯이 季節의 分布에 있어 例年과<sup>23)</sup> 약간의 差異가 있었다. 6月の 水溫이 7월에 갑자기 높아졌다가 그후 일단 낮아진 후 다시 서서히 증가되었다. 7月 中旬부터 8月中旬까지는 현저한 成層이 形成되었는데 1 m層과 底層의 水溫差는 가장 심했던 경우가 7月下旬 St. 2의 25.25°C와 17.45°C로서 7.8°C이었고 그밖에는 4.0~7.0°C 사이였다. 鹽素量의 月別 및 水深에 따른 분

布는 平年과<sup>23)</sup> 별 차이가 없었다.

DO 및 酸素飽和度 : 溶存酸素量은 水溫이 가장 높았던 9月初에 St. 2의 表層에서 3.77 ml/l이 發見되었지만 全般的으로 4.00~6.02 ml/l이었으며, 酸素飽和度는 7月중 St. 2의 底層에서 74.5%와 8月初의 St. 1의 底層에서의 71.7%를 除外하고는 6月初의 St. 2의 表層에서 111.5%를 最高로 平均 80~100% 内外이었다(Fig. 3).

PO<sub>4</sub>-P量 : 月別 및 水深에 따른 分布에 있어 一定한 傾向이 없었으며 station에 따라 서로 상당한 차이가 있었다. 最高量은 8月下旬 St. 3의 表層에서 1.87 μg·at/l이었고 最少는 역시 8月下旬 St. 2의 底層에서 0.07 μg·at/l이었다. 그밖에는 대부분이 0.40~1.09 μg·at/l에 속하였다(Fig. 3).

Chlorophyll-a量 : Station에 따라 약간의 差異는 있었으나 量的 分布의 傾向은 비슷하였다. 6月 및 9월에 peak가 있었는데 6月は St. 2의 底層에서 10.4 mg/m<sup>3</sup>이었고 9月は St. 2의 表層에서 6.1 mg/m<sup>3</sup>이었다. 그밖에는 대부분이 1.5~3.5 mg/m<sup>3</sup>에 속하였다(Fig. 3).

COD와 流化物量 : Table 2에서 보듯이 COD의 分布는 St. 1과 2에서는 表層水와 底層水에 거의 비슷한 量인데 비해 St. 3의 底層水에서는 그 含量이 거의 0에 가깝다. 流化物量은 모든 station에서 分布의 傾向은 같다. 즉, 表層에 비해 底層水에서 많은 量

Table 2. COD and H<sub>2</sub>S in surface and bottom water in June, 1977

		ST. 1	ST. 2	ST. 3
COD (mg/l)	Surface	2.20	1.46	1.79
	Bottom	2.13	1.46	0.19
H <sub>2</sub> S (mg/l)	Surface	0.07	0.08	0.07
	Bottom	0.23	0.19	0.16

이 發見되었다. 底上 1 m層의 COD量과 流化物量은 역시 station 별 큰 차이는 없었고 8월에 가장 많았고 차차 감소하였다(Fig. 4).

B. 底質

COD 및 流化物量 : COD含量은 8월에 가장 많아 St. 3의 40.7 mg/g乾泥가 最高이었고 그후 차차 減少하였으며 11월에는 St. 3의 18.9 mg/g 乾泥이었다. 流化物量 역시 8월에 가장 많았는데 St. 1의 0.33 mg/g乾泥가 最高이었고 계속 減少하여 11월에는

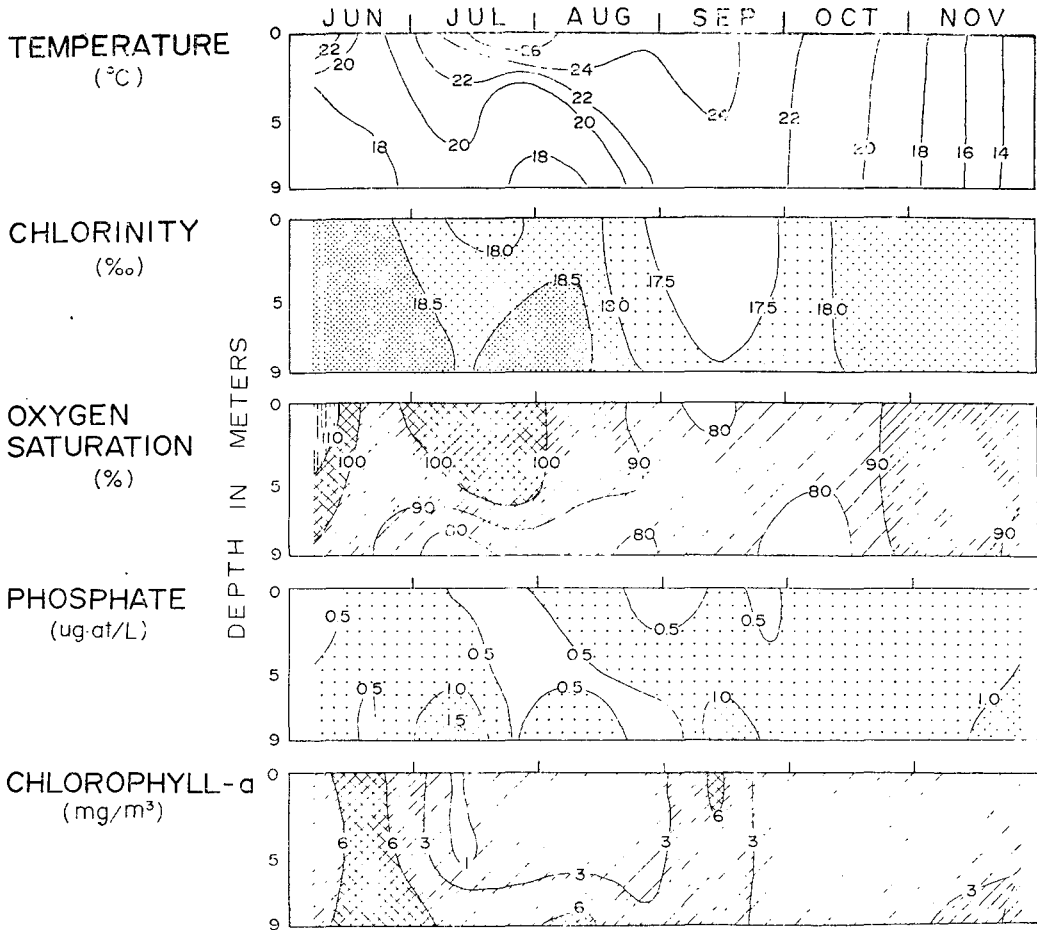


Fig. 3. Monthly and vertical distributions of some water quality parameters at station 2 in Geoje Bay in 1977.

St.1의 0.10 mg/g 乾泥가 발견되었다(Fig. 5).

**Phaeophytin量** : COD나 流化物量처럼 8月中旬에 가장 많아 St.2의 52.5  $\mu\text{g/g}$  乾泥를 最高로 모든 station에서 8月中旬에 그 含量이 가장 많았다. 그후 차차 減少하여 11월의 St.1에서는 12.8  $\mu\text{g/g}$  乾泥가 發見되었다(Fig. 5).

底泥중의 COD量과 Phaeophytin量의 關係를 Fig. 6에 표시하였다. 8월이 最高이고 차차 減少되어감을 볼 수 있다. 이는 成曆期中 특히 8월에 底質이 가장 나쁜 狀態임을 의미한다.

### 3. 굴의排泄物量

9月中旬에 調査한 굴의 排泄物量에 관한 結果를 Table 3에 表示하였다. 平均 殼長 및 殼高가 5.14 cm와

Table 3. Quantity of oyster faeces and pseudo-faeces in a day, September 21-22, 1977

Date	21-22, Sept.
Water temp.	22.2-22.9°C
<b>Oyster</b>	
Height(mm)	10-40
Lenght(mm)	32-67
<b>Oysters</b>	
examined	11
Wet weight(mg)	89.6*

\* Oyster per day.

2.34 cm되는 굴 1個가 24時間동안에 排泄하는 量은 濕重量으로 89.6 mg이었다. 이를 162 m<sup>2</sup> 筏목 1台에

巨濟灣의 養殖場密度 및 富營養化

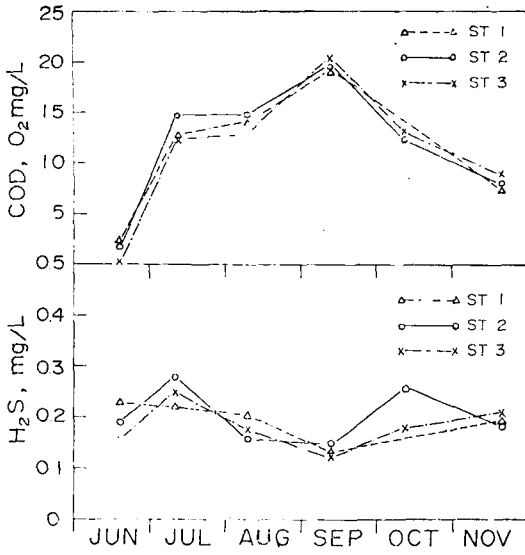


Fig. 4. COD and H<sub>2</sub>S at 1m layer of water above bottom of Geoje Bay in 1977.

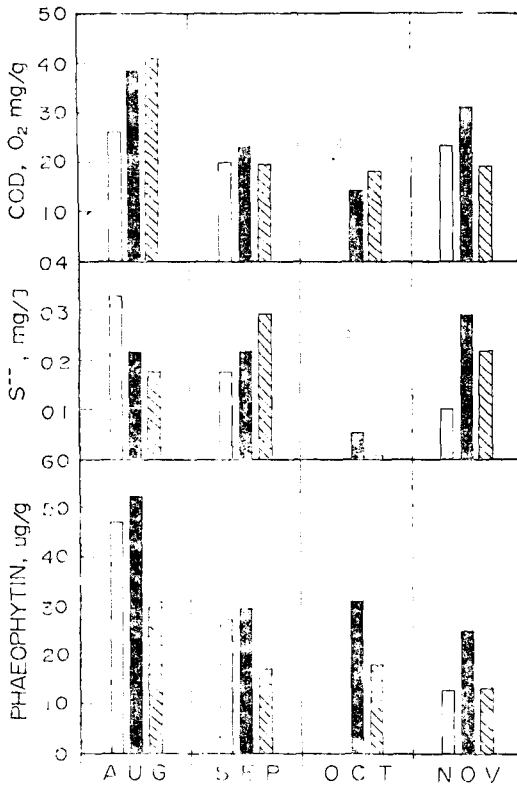


Fig. 5. COD, sulphide S and phaeophytin in the superficial mud of Geoje Bay in 1977. White bars indicate St. 1, black bars St. 2, and shaded bars St. 3

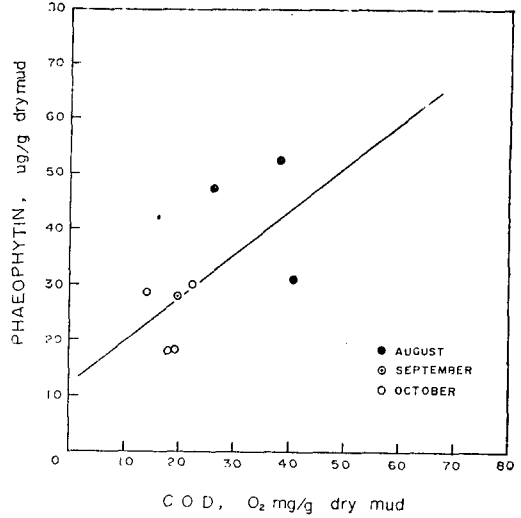


Fig. 6. The relationship between COD and phaeophytin in the superficial mud of Geoje Bay in 1977.

垂下된 糞總數의 排泄物量으로 換算한 결과 하루에 밧목 1t에서 떨어지는 量은 32.2 kg이 되며 9월 한 달간에는 約 967.7 kg이 된다. 물론 여기에는 糞의 附着生物로부터 생기는 排泄物量을 포함한 其他의 Seston量은 포함되어 있지 않다.

考 察

巨濟灣 糞 養殖 許容面積에 對한 餘有面積 4.5倍는 이에 관한 國內의 基準値가 없을뿐 아니라 他海域에서의 資料도 없어 現在로는 比較가 곤란하다. 例로 日本의 眞珠養殖場의 密度를 들어본다. 全國平均은 20.57倍 그리고 單位海域當 밧목이 가장 많은 立神浦가 6.94倍<sup>3)</sup>이다. 이는 1965年의 資料인데 1969年의 資料에는 當時 英虞灣(立神浦 포함)의 密度 12.57倍를 調查結果에 따른 適正密度 24.23倍로 할것을 提議하였다.<sup>6)</sup> 물론 漁場의 適正密度란 海域 또는 漁場環境에 따라 차이가 있을 것이므로 이번 調查結果에서 算出된 巨濟灣漁場의 密度 4.5倍의 適正 如否는 현재로는 究明되지 않는다. 단 今번 研究는 이에 對한 基礎研究일 뿐이다.

巨濟灣의 水質은 良好한 편이다. 우선 底層水의 水質을 岡市<sup>24)</sup>의 index를 사용하여 日本 大村灣의 것<sup>25)</sup> 比較하였다(Table 4). 大村灣의 E.I.值 0.8인데 比해 巨濟灣은 0.3으로 良好하지만 大村灣漁場이 赤潮로 인하여 종종 막대한 水産被害가 있었다는<sup>26,27)</sup> 점을 고려해야 한다.

**Table 4. Eutrophication index values in bottom water in summer season**

Area	Total-N (mg/l)	Inorganic-P (mg/l)	COD (ppm)	E. I.
Geoje Bay	0.83	1.20*	1.14*	0.3
Ago Bay**	5.78	0.32	1.50	0.8

\* After C. K. Park, 1975<sup>10)</sup>

\*\* After S. Iizuka, 1976<sup>25)</sup>

Table 5는 8월중 底泥의 COD, 流化物 및 Phaeophytin 含量으로서 巨濟灣의 最高値와 日本 英虞灣 立神浦의 中央部의 값과 比較한 것이다. 巨濟灣의 量은 결코 적은量이라고는 할 수 없다.

**Table 5. Quantities of COD, H<sub>2</sub>S, and Phaeophytin in August**

	COD (mg/g)	H <sub>2</sub> S (mg/g)	Phaeophytin (μg/g)
Geoje Bay	40.71	0.33	52.5
Ago Bay	46.00*	0.48*	63.77**

\* After Y. Sawada and M. Taniguchi, 1967<sup>4)</sup>

\*\* After Y. Sawada and M. Taniguchi, 1969<sup>6)</sup>

이상의 部分的인 比較를 확대하여 巨濟灣의 水質 및 底質을 吉田<sup>28)</sup>의 富營養化基準値와 比較하였다 (Table 6). Station에 따른 약간의 차이는 있지만 巨濟灣 水質의 모든 parameter의 값이 基準値의 中央

**Table 6. Compariosn of water and mud characteristics between eutrophic standard and Geoje Bay**

Parameters	Standard	St. 1	St. 2	St. 3
<i>Water</i>				
Transparency(m)	3—10	5.4	6.2	4.9
COD(ppm)	1—3	1.5	1.6	1.5
Saturation % of DO				
Surface and middle	100	90.4	95.1	86.2
Bottom	30—80	81.6	83.3	81.6
Phytoplankton (cells/l)				
	10 <sup>3</sup> —10 <sup>8</sup>	8.2x10 <sup>4</sup>	9.7x10 <sup>4</sup>	8.2x10 <sup>4</sup>
Chlorophyll-a (mg/m <sup>3</sup> )				
	1—10	2.9	3.5	2.5
<i>Mud</i>				
H <sub>2</sub> S(mg/g)	0.03—0.3	0.25	0.22	0.23
COD(mg/g)	5—30	22.8	30.5	30.0

\* After Y. Yoshida, 1973<sup>28)</sup>

인데 比較 底質의 COD와 流化物量은 基準値의 最大에 가깝거나 약간 上廻하고 있다. 이는 巨濟灣이 굴養殖漁場으로서 水質은 良好한 편이나 底質은 다소 문제점을 내포하고 있음을 보여준다.

底質의 惡化는 養殖漁場에서 계속 沈降堆積되는 막대한 量의 糞 排泄物이 그 主因중의 하나로서, 底質의 惡化가 生産性이 높은 漁場을 황폐시킨다는 事實은 오래전부터 報告되어 왔다.<sup>1,13)</sup> 巨濟灣漁場역시 單位面積當 糞 生産量은 減少되었다. 1973년까지는 糞 當 垂下連 數는 558連이었는데 그후 450連으로 줄었어도 生産量은 減少하였다. 底質狀態가 主因중의 하나임은 明白하다.

Table 3에서 보듯이 巨濟灣漁場에서도 막대한 量의 糞 排泄物이 계속 底에 堆積되고 있다고 추측된다. 巨濟灣 海水의 turn over量에 관한 資料가 없어 堆積量을 算出할 수 없으나 養殖漁場의 位置와 灣口의 位置로 보아 상당량외로 灣外로 移動되지 못한채 底에 堆積되리라 생각된다. 따라서 巨濟灣 底質이 水質에 比較 惡化되고 있음은 當然한 結果라 할 수 있다.

## 要 約

굴 養殖場의 環境研究중 巨濟灣養殖場의 密度 및 老 化程度에 관한 基礎調査를 1977年 6월부터 11월까지 6個月間에 걸쳐 實施하였다.

1. 巨濟灣海域의 面積은 48.87 km<sup>2</sup>이고 道水産 局에 登錄된 이 海域內의 養殖場 水面積은 10.91 km<sup>2</sup>이다. 海域面積에 對한 免許面積은 22.23%이고 免許面積과 海域面積의 比는 1 : 4.48이다.

2. 富營養化의 程度를 A, B, C로 區分하여 C단계를 過營養化로 의 過度期단계라 할때, 巨濟灣은 養殖 漁場으로서 水質은 A단계로 良好한 편인데 比較 底質은 C단계로 富營養化의 限界値에 到達되었거나 또는 약간 上廻하여 過營養化로 進入하고 있다.

## 文 獻

- 1) Ito, S. and T. Imai (1955) : Ecology of oyster bed. I. On the declrne of productivity due to repeated cultures. Tohoku J. Agr. Res. 5, 251—268.
- 2) 上野福三(1964) : 眞珠漁場における餌料基礎生産と漁場の海洋構造について II. 海水並に底泥の性狀の季節變化と海底耕耘の效果について. J.

- Fac. Fish. Pref. Univ. Mie 6(2), 145—170.
- 3) 澤田保夫・谷口宮三郎(1965) : 眞珠養殖漁場の養殖海洋學的研究 III. 老化漁場における海水ならびに底質の性状の季節變化について. 國立眞珠研報 10, 1213—1227.
  - 4) \_\_\_\_\_ (1967) : 眞珠養殖漁場の養殖海洋學的研究 IV. 老化漁場における底質の性状とその改良方法の一例について. 同誌 12, 1379—1408.
  - 5) \_\_\_\_\_ (1968) : 眞珠養殖漁場の養殖海洋學的研究 V. 老化漁場における底泥の有機物量およびフエオフィテン 量の季節的變化について. 同誌 13, 1689—1702.
  - 6) \_\_\_\_\_ (1969) : 眞珠養殖漁場の養殖海洋學的研究 VI. 漁場底泥からみた眞珠漁場の汚染度と漁場收客密度の算定について. 同誌 14, 1719—1734.
  - 7) Uyeno, F., K. Kawaguchi, N. Terada, and T. Okada (1970) : Decomposition, effluent and deposition of phytoplankton in an estuarine pearl oyster area. Rep. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie 7(1), 7—41.
  - 8) 上野福三・舟橋晋・津田篤身(1970) : 眞珠漁場におけるアコヤガイ排泄物と底質との關係についての豫察的研究. J. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie 8(2), 113—137.
  - 9) 楠木豊(1970) : カキ及び付着生物の排泄物量について. 水産増殖 18(1), 45—51.
  - 10) \_\_\_\_\_ (1977a) : カキ養殖漁場における漁場老化に關する基礎的研究 — I. マガキの排せつ物量. 日水誌 43(2), 163—166.
  - 11) \_\_\_\_\_ (1977b) : カキ養殖漁場における漁場老化に關する基礎的研究 — II. マガキ排せつ物の有機物含量. 日水誌 43(2), 167—171.
  - 12) Lund, E. J. (1957) : Self-silting by the oyster and its significance for sedimentation geology. Publ. Inst. Mar. Sci., Univ. Texas 4, 320—327.
  - 13) Galtsoff, P. S. (1964) : The American oyster *Crassostrea virginica* Gmelin. Fish. Bull. 64, 1—480.
  - 14) Haven, D. S. and R. Morales-Alamo (1966) : Aspects of biodeposition by oysters and other invertebrate filter feeders. Limnol. Oceanogr. 11, 487—498.
  - 15) 林斗柄・趙昌煥・權堰燮 (1975) : 忠武附近 筍養殖漁場の 環境에 關하여. 韓水誌 8(2), 61—67.
  - 16) 朴清吉 (1975) : 鎮海灣海水의 富營養化와 分布. 同誌 8(3), 121—126.
  - 17) 柳晟奎・李澤烈・陳平 洪性閔・劉明淑 (1975) : 筍養殖場의 保全을 爲한 生態學的 環境調査研究. 釜山水大 海洋科學研報 8, 15—30.
  - 18) APHA・AWWA・WPCF (1975) : Standard Methods for the examination of water and wastewater. 14th ed. Washington. pp. 1193.
  - 19) Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons (1968) : A practical handbook of seawater analysis. 3rd ed. Fish. Res. Bd., Canada No. 167. pp. 311
  - 20) 半谷高久(1960) : 水質調査法. 丸善. pp. 290
  - 21) 松江吉行(1965) : 水質汚濁調査指針. 恒星社厚生閣. pp. 384
  - 22) 日本規格協會(1975) : JIS-K0101.
  - 23) 國立水産振興院 (1972—76) : 沿岸漁場環境調査事業報告.
  - 24) 岡市友利(1972) : 淺海の汚染と赤潮の發生. p. 58—76. 水産學研究叢書23. 日本水産資源保護協會.
  - 25) 飯塚昭二(1976) : 大村灣における汚染の進行と赤潮プランクトンの變遷. 日プランクトン報. 23(1), 31—43.
  - 26) 鹽川 司・立石 賢・飯塚昭二・入江春彦(1966) : 1962年 大村灣に發生した赤潮現象と水産被害について. 長崎大水研報 21, 45—58.
  - 27) \_\_\_\_\_・入江春彦(1966) : 1965年度夏期大村灣赤潮時の海況とその被害IV. 赤潮による水産被害について. 同誌 21, 115—129.
  - 28) 吉田陽一(1973) : 低次生産段階における生物生産の變化. p. 92—103. 水産學シリーズ1. 恒星社厚生閣.