

# 굴 養殖場 水域의 基礎生産 研究

李秉喲 · 姜亨求 · 姜龍柱

동의대학교 생물학과\* · 부산수산대학교 자원생물학과

## Primary Production in the Oyster Farming Bay

Byung-Don LEE · Hyung-Ku KANG and Yong-Joo KANG

*\*Department of Biology, Donggeui University*

*Pusan 614-714, Korea*

*Department of Marine Biology, National Fisheries University of Pusan*

*Pusan 608-737, Korea*

The primary production of phytoplankton in oyster farming bays were seasonally measured by <sup>14</sup>C method in Hansan-Koje Bay and Kamagyang Bay for one year period.

In Hansan-Koje Bay, mean daily primary production was 0.52gC/m<sup>2</sup>/day(0.22~1.02gC/m<sup>2</sup>/day), and it was relatively high in summer and low in winter. Annual primary production was estimated to be 189gC/m<sup>2</sup>/yr. Mean chlorophyll *a* content was 1.70mg/m<sup>3</sup>, and it was relatively high in summer.

In Kamagyang Bay, mean daily primary production was 0.91gC/m<sup>2</sup>/day(0.11~3.61gC/m<sup>2</sup>/day), and it was maximum in summer and minimum in fall. Annual primary production was estimated to be 334gC/m<sup>2</sup>/yr. Mean chlorophyll *a* concentration was 2.34mg/m<sup>3</sup>, and it was maximum in summer and relatively high in winter.

Considering the water area of the two oyster farming bays, annual carbon production by phytoplankton were 9,450 ton in Hansan-Koje Bay and 37,000 ton in Kamagyang Bay. In general pattern of primary production in these bays, high production occurs in summer with increasing trend since spring.

### 서 론

식물플랑크톤에 의한 유기물 생산은 해양의 전 유기물 합성의 약 95% 정도로서 중요한 부분을 점유하고 있는데(Steemann-Nielsen, 1975), 식물플랑크톤에 의한 기초생산과정의 동태를 밝히는 것은 그 수역의 생태계에 있어서 低次에서 高次에 이르는 각 영양단계의 생물생산기구의 해명에 중요하다.

한국 연근해의 식물플랑크톤에 의한 기초생산 연구에 관해서는 한국 연안수역(崔 · 鄭, 1966), 부산 수영만(Kang, 1967), 충무 근해 굴 양식어장(裴 · 金, 1978), 대한해협(陳 · 洪, 1985), 동해 서남

해역(Shim, Lee and Bak, 1985), 한국 동남해역(Shim and Park, 1986), 서해 천수만(Jo, 1988), 서해 경기만(정 · 박, 1988) 그리고 한국 동해의 기초생산(정 · 심 · 박 · 박, 1989)이 있으며, 그외에 한강 하류수역(崔 · 鄭 · 郭, 1968)과 삼천포 화력발전소 냉각계통의 기초생산(異 · 陳, 1987)등이 있다.

굴 양식장 수역에 있어서 기초생산량의 大小는 굴의 먹이공급원의 大小와 함께 굴의 성육에 관계되므로(木村 · 橋本, 1968), 굴 양식에 있어서 適正施設과 합리적인 漁場利用으로 굴의 최대 생산량을 지속적으로 유지하기 위해서는 먼저 굴 양식장 수역의 기초생산력이 파악되어야 한다.

본 연구는 우리나라 굴 양식의 중심수역으로서

굴 산업상 가장 중요한 곳인 한산-거제만(趙, 1980; 柳等, 1980)과 굴의 주산지로서 생산성이 매우 높은 전남 여천군의 가막양만(Cho *et al.*, 1982; 李·崔, 1985)의 2개 굴 양식장 수역을 대상으로, 동일시점에서 기초생산력 비교보다는 굴 양식장 수역에서 나타나는 식물플랑크톤의 기초생산력과 그 수역의 환경특성을 파악하고자 실시된 것이다.

한편 한국 남해안의 중부 연안이면서 여수반도의 남단과 돌산도에 의해 둘러싸인 가막양만은 수면적이 약  $112\text{km}^2$ 이며, 평균 수심 약  $6.3\text{m}$ 의 淺海이다(李·張, 1982). 1989년을 기준으로 여천군에서 여수시와 여천시의 행정부서를 통하여 취합된 수하식 굴 양식장의 수면적은  $9.66\text{km}^2$ 로서 만 전체 수면적의 약 9%를 차지하고 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사해역

한국 남해안의 동부 연안에 위치한 한산-거제만은 크고 작은 4개의 섬(거제도, 화도, 한산도 및 추봉도)으로 둘러싸인 內灣이다. 灣의 수면적은 약  $50\text{km}^2$ 이며,  $20\sim 40\text{m}$ 의 좁은 중앙수로를 제외하면 대부분 수심  $10\text{m}$  내외로 비교적 얕다. 灣내의 수하식 굴 양식장의 수면적은 1977년을 기준으로  $10.91\text{km}^2$ 로서 灣 전체 수면적의 약 23%를 차지한다(趙, 1980).

### 2. 조사방법

1987년 9월부터 1988년 8월까지 한산-거제만의 5개 정점(Fig. 1), 그리고 1988년 9월부터 1989년 8월까지 가막양만의 3개 정점(Fig. 2)을 대상으로 물리·화학적인 요인과 생물학적인 요인을 연 6회 격월로 조사하였으며, 기초생산력은 연 4회 계절별로 조사하였다.

#### 2.1 물리·화학적인 요인

수온과 염분은 1987년 9월부터 1988년 3월까지 그리고 1988년 9월부터 1989년 5월까지의 직독식 수온 및 염분 측정기(Valeport Series 600)를 사용하여 표층, 중층 그리고 저층수에 대해 직접 측정

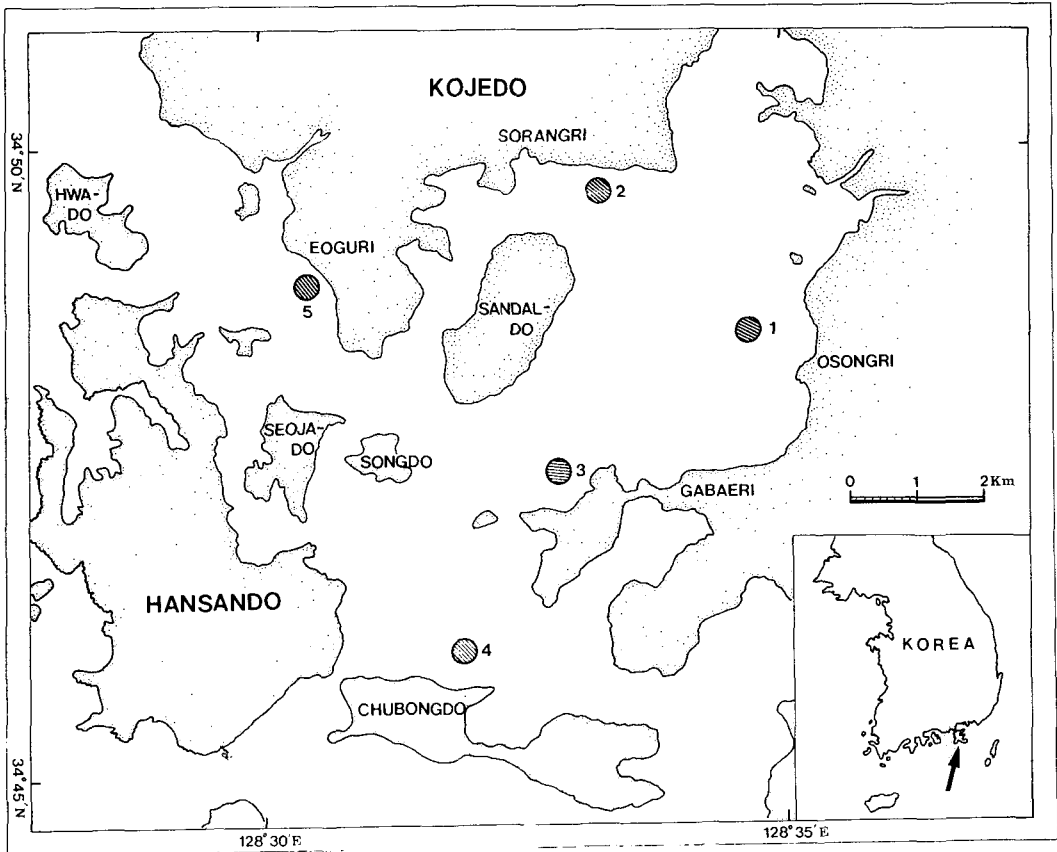


Fig. 1. Location of the sampling stations in Hansan-Koje Bay.

하였으나, 1988년 5월부터 8월까지 그리고 1989년 8월에는 현장 해수를 채울 수 있는 봉상온도계로써 측정하였으며, 염분은 실험실에서 자동염분 측정계 (Tsurumi Seiki SM-2000)로써 측정하였다.

투명도는 직경 30cm의 백색 투명도관으로써 현장에서 직접 측정하였다.

용존산소는 현장에서 고정환 후 실험실에서 윙클러법의 아지드화나트륨변법으로써 분석하였다

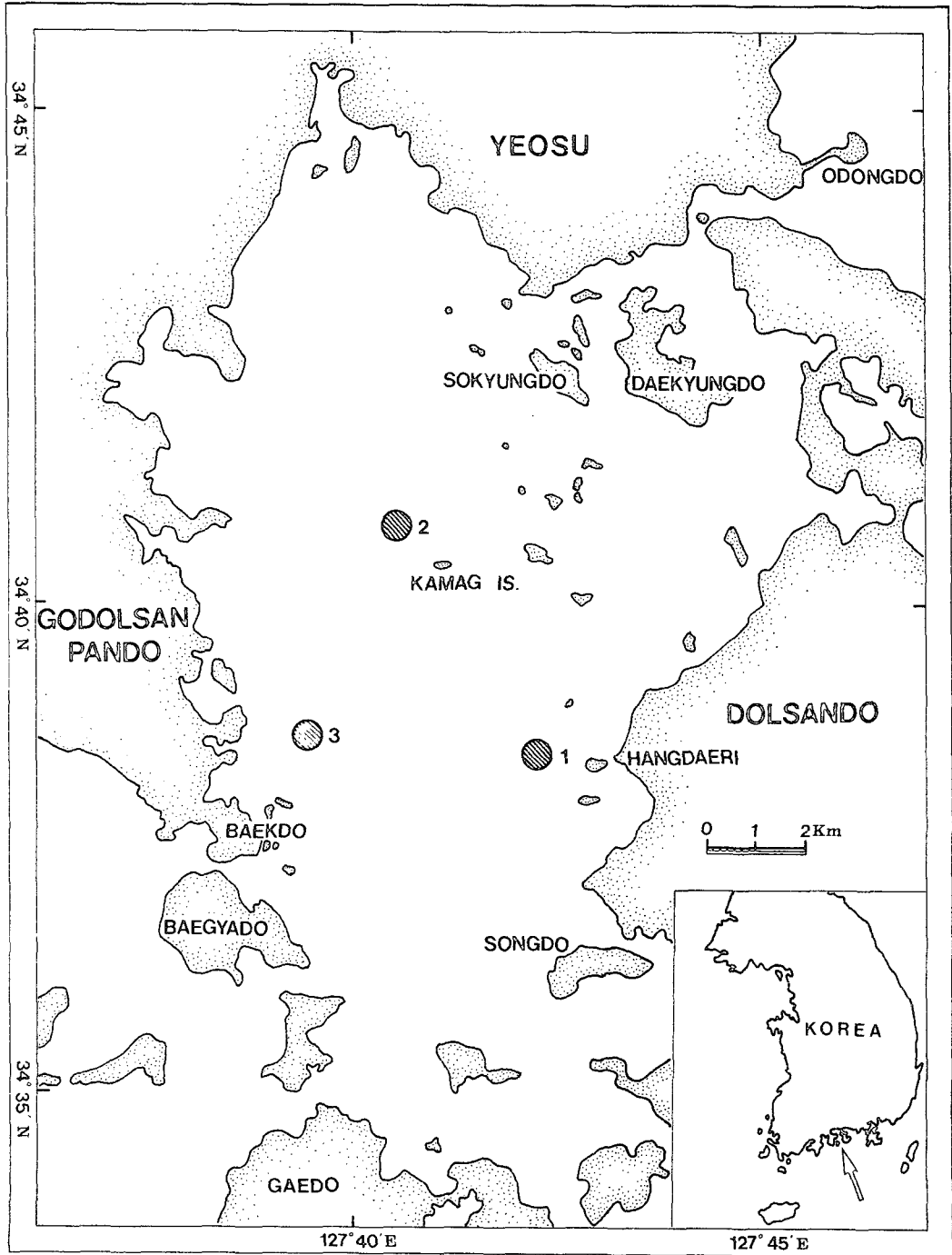


Fig. 2. Location of the sampling stations in Kamagyang Bay.

(朴 等, 1985).

영양염은 표층수와 저층수를 약 500ml 폴리에틸렌 병에 담아 여과하지 않고 그대로 실험실로 옮겨 냉장 보관 후, 암모니아(NH<sub>4</sub>-N)는 Phenolhypochlorite법에 따라(Solorzano, 1969), 질산염(NO<sub>3</sub>-N)은 Cadmium 환원법에 의하여, 아질산염(NO<sub>2</sub>-N)은 Sulfanilamide-NED법에 의하여, 그리고 인산염(PO<sub>4</sub>-P)은 Ascorbic acid법에 따라 비색 정량하였다(APHA · AWWA · WPCF, 1986). 용존된 무기질소(DIN)는 암모니아, 질산염 그리고 아질산염을 합하여 계산하였다.

### 2.2 생물학적인 요인

엽록소는 3개 조사수층의 해수 1l를 취하여 孔径 0.45µm의 막여과지(membrane filter)로 선상에서 여과한 후, 실험실에서 90% 아세톤으로 24~48시간동안 용출시킨 후 분광광도법으로 분석하여 Parson *et al.*(1984)의 계산식에 의하여 엽록소 *a*양을 산출하였다.

식품플랑크톤의 정성채집을 위해서는 Kitahara식 정량넷트(망목 µg-at/l)로써 저층에서 표층까지 수직 인망하여 채집하였고, 정량채집을 위해서는 표층수 1l를 채수하여 선상에서 중성 포르말린으로 전체농도가 5%가 되도록 하였다.

### 2.3 기초생산력

표층수와 저층수를 채수하여 약 250ml의 유리배양병에 해수를 채운 후 2µCi/ml의 방사성 탄소동위원소 용액(sodium [<sup>14</sup>C] bicarbonate, Amersham Inc.) 1ml를 배양병속에 자동피펫으로 주입시킨 후, 광조건이 조절된 흑색 나일론 스크린(입사광에 대해 약 100, 66, 35, 21, 2%)속에 배양병을 넣어 1~1.5시간 배양시켰다. 배양 후 유리섬유 여과지(Whatmann GF/C)로 여과하였으며, 여과가 끝나기 직전에 여과된 현장해수로써 여과지를 씻어 주었다. 실험실에서 여과지는 진한 염산으로 10분간 산-중기 처리(acid-fuming)를 한 후, liquid scintillation cocktail(Packard Insta-gel)이 10ml 들어있는 폴리에틸렌 소병에 넣어 liquid scintillation counter(Packard Tri-carb 4530)로써 dpm단위로 측정하였다. 해수내의 총 이산화탄소의 양은 현장에서 산적정법(single point titration)으로 측정하였다(Parson *et al.*, 1984). 일간기초생산력은 한산-거제만의 경우는 부산 지방기상대(1987, 1988)의 기상월표원부 그리고 가막양만의 경우는 부산 지방기상대 진주 측후소(1988, 1989)의 기상월표원부를 이용하여 추정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 수온과 염분

한산-거제만에 있어서 수온은 7.06~25.32°C(평균 16.32°C)범위였으며, 가막양만의 경우는 5.33~27.10°C(평균 16.09°C)범위였다. 수온의 계절변화를 보면, 두 수역 모두 1월에 가장 낮았고 8월과 9월에 높게 나타났다. 염분은 한산-거제만의 경우 30.03~35.73‰(평균 33.24‰) 범위였으며, 가막양만의 경우는 25.79~34.72‰(평균 32.39‰) 범위로서 한산-거제만보다도 약간 낮게 나타났다(Fig. 3).

가막양만에 대한 Kim(1983)의 조사에서는 8월 초순에 강한 수온약층과 염분약층을 관찰하였지만, 본 조사기간 동안에는 두 양식장 수역에서 수온약층이나 염분약층을 관찰할 수 없었다.

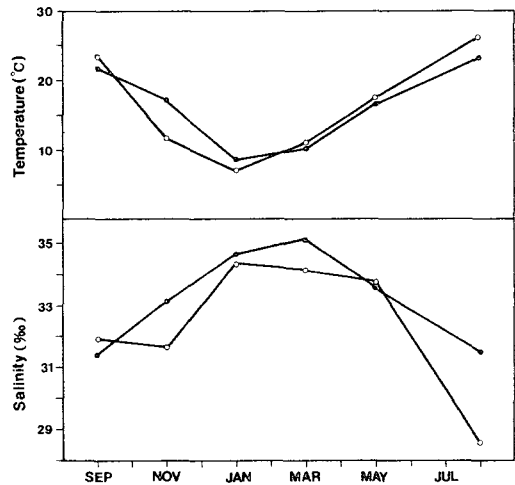


Fig. 3. Seasonal variations of mean water temperature and salinity in Hansan-Koje Bay(closed circle) from September, 1987 to August, 1988 and Kamagyang Bay(open circle) from September, 1988 to August, 1989.

### 2. 투명도

투명도는 한산-거제만의 경우 2.1~10.0m(평균 5.7m)범위로서 5월과 9월에 높고 8월과 11월에는 대체로 낮았다. 가막양만은 1.7~5.0m(평균 3.1m) 범위로서 한산-거제만의 경우보다도 낮은 투명도를 보였으며, 1월과 8월에 대체로 높았다(Fig. 4).

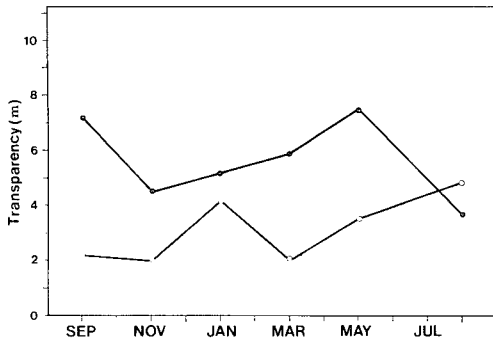


Fig. 4. Seasonal variation of mean transparency in Hansan-Koje Bay(closed circle) from September, 1987 to August, 1988 and Kamagyang Bay (open circle) from September, 1988 to August, 1989.

3. 용존산소

용존산소는 한산-거제만의 경우 4.66~7.35ml O<sub>2</sub>/l(평균 5.81ml O<sub>2</sub>/l) 범위로서 1월에 가장 높았고 8월, 9월 그리고 11월에 낮은 경향을 보였으며, 가막양만은 4.40~7.55ml O<sub>2</sub>/l(평균 5.82ml O<sub>2</sub>/l) 범위로서 대체로 한산-거제만과 비슷하였다(Fig. 5).

두 조사수역의 결과는 부영양화가 촉진되고 있는 진해만의 6월, 8월, 9월의 결과인 5.16ml O<sub>2</sub>/l, 마산만에서의 결과인 4.29ml O<sub>2</sub>/l 그리고 낙동강 하구에서의 결과인 5.57ml O<sub>2</sub>/l(朴, 1975)보다는 높다. Hong(1987)은 진해만의 여름철 저층의 용존산소량이 2.0ml O<sub>2</sub>/l로서 저층에서의 용존산소 결핍을 암시하였으나, 본 조사기간 동안 두 수역에서 해양생물의 활동을 유지하는 데 필요한 용존산소량인 4.0ml O<sub>2</sub>/l(Wallen and Hood, 1968)이하의 낮은 농도는 찾아볼 수 없었다.

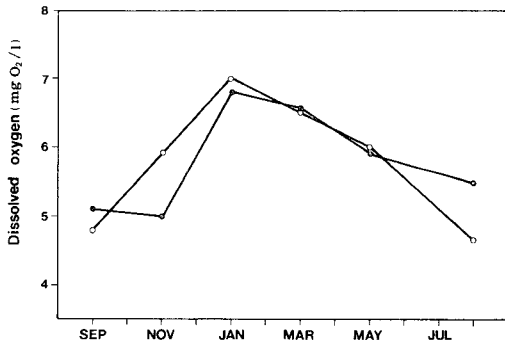


Fig. 5. Seasonal variation of mean dissolved oxygen in Hansan-Koje Bay(closed circle) from September, 1987 to August, 1988 and Kamagyang Bay(open circle) from September, 1988 to August, 1989.

4. 영양염

조사기간 동안 용존된 무기질소(DIN)는 한산-거제만의 경우 평균 6.40μg-at/l이었으며, 표층은 1.97~14.42μg-at/l(평균 5.77μg-at/l)범위였고, 저층은 2.66~14.20μg-at/l(평균 7.03μg-at/l)범위였다. 그리고 8월에는 수층간에 차이가 심하여 저층수의 용존된 무기질소 함량이 표층수보다도 높은 경향을 보였다. 계절에 따라서는 9월에서 1월까지의 비교적 낮다가 3월부터 증가하여 5월에 최고치를 보였으며, 8월에 접어들면서 점차 감소하였다(Fig. 6).

가막양만의 경우 용존된 무기질소는 평균 8.11μg-at/l이었으며, 표층은 1.98~16.39μg-at/l(평균 7.53μg-at/l)범위 그리고 저층은 2.34~16.71μg-at/l(평균 8.70μg-at/l)범위로서 8월을 제외하면 저층수의 용존된 무기질소 농도가 표층수의 농도보다도 높은 경향을 보였다. 계절에 따라서는 1월에 최대치를 보였으며 5월과 8월에 비교적 높은 경향을 보였다(Fig. 6).

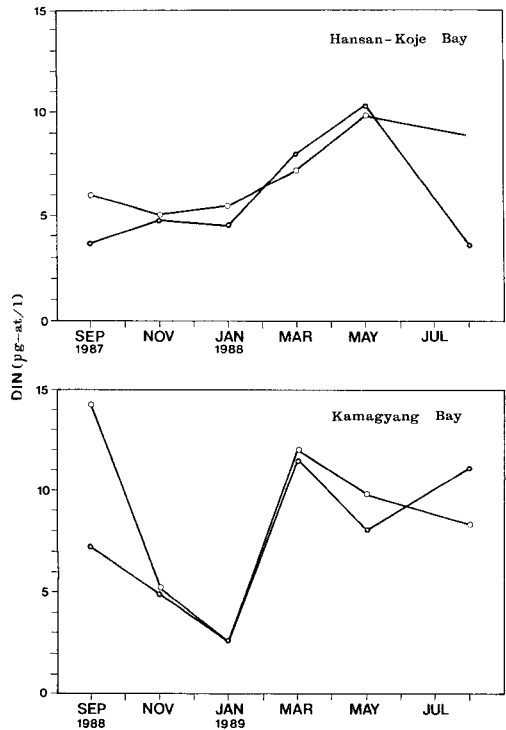


Fig. 6. Seasonal variation of mean dissolved inorganic nitrogen(DIN) concentration at surface(closed circle) and bottom(open circle) layer water in Hansan-Koje Bay from September, 1987 to August, 1988 and Kamagyang Bay from September, 1988 to August, 1989.

조사기간 동안 가막양만의 용존된 무기질소량은 한산-거제만의 것보다 높았는데, 朴(1975)의 6월, 8월, 9월의 조사결과인 마산만의  $22.78\mu\text{g-at/l}$ 보다는 낮지만, 진해만 중앙부에서의 결과인  $1.13\mu\text{g-at/l}$  그리고 柳等(1980)의 한산-거제만의 결과인  $2.10\mu\text{g-at/l}$ 보다는 높으며, 낙동강 하구에 대한 朴(1975)의 결과인  $7.09\mu\text{g-at/l}$ 과는 비슷하다.

인산염은 한산-거제만이 평균  $0.59\mu\text{g-at/l}$ 이었으며, 표층은  $0.06\sim 2.14\mu\text{g-at/l}$ (평균  $0.57\mu\text{g-at/l}$ ) 범위로서 1월을 제외하면 비교적 저층수의 인산염 농도가 표층수의 농도보다도 높았다. 1월이 되면 급격히 증가하여 3월에 최고치를 보였으며, 차차 감소하여 5월부터 11월까지의 비교적 낮은 농도를 보였다(Fig. 7).

가막양만의 경우 인산염은 평균  $0.56\mu\text{g-at/l}$ 이었으며, 표층은  $0.11\sim 1.53\mu\text{g-at/l}$ (평균  $0.55\mu\text{g-at/l}$ ) 범위 그리고 저층은  $0.22\sim 1.10\mu\text{g-at/l}$ (평균  $0.58\mu\text{g-at/l}$ )

범위로서 11월과 5월을 제외하면 저층수의 인산염 농도가 표층수의 농도보다도 다소 높았다. 계절에 따라서는 11월에 약  $1\mu\text{g-at/l}$  정도 그리고 8월에  $0.5\mu\text{g-at/l}$  이하의 농도를 보였으며, 다른 계절에는 약  $0.5\mu\text{g-at/l}$  정도로 비교적 일정한 농도를 나타냈다(Fig. 7).

두 수역에서의 인산염의 농도는 비슷하였는데, 朴(1975)의 6월, 8월, 9월의 조사결과인 마산만의  $2.40\mu\text{g-at/l}$ , 진해만 중앙부의  $1.14\mu\text{g-at/l}$ 보다 낮으며, 낙동강 하구의  $0.59\mu\text{g-at/l}$ 과는 비슷한 결과를 보이며, 한산-거제만에 대한 柳等(1980)의 조사결과인  $0.57\mu\text{g-at/l}$ 과도 비슷하다. 한산-거제만은 겨울인 1월과 3월 그리고 가막양만은 가을인 11월에 비교적 높은 인산염 농도를 보인 점은, 득량만에 대한 Hong et al.(1988)의 결과와 비슷하다. Shim(1980)은 가막양만과 여자만에 대한 조사에서 인산염의 농도가 8월, 9월에 최고치를 그리고 가을과 5월에는 점차 감소하였다고 보고하였으며, 정·박(1988)은 서해 경기만에 대한 조사에서 인산염은 강우에 의하여 담수의 유입이 많은 하계에 높게 나타난다고 하였다. 가막양만에 있어서 비교적 많은 강우(중앙기상대, 1988, 1989)에도 불구하고 8월에 낮은 인산염 농도를 보인 것은 식물플랑크톤에 의한 흡수 때문인 것으로 생각된다.

### 5. 엽록소 a

엽록소 a 양은 한산-거제만의 경우  $0.56\sim 9.08\text{mg/m}^3$ (평균  $1.70\text{mg/m}^3$ ) 범위였으며, 가막양만은  $0.68\sim 9.82\text{mg/m}^3$ (평균  $2.34\text{mg/m}^3$ ) 범위로서 한산-거제만의 경우보다도 높은 값을 보였다. 한산-거제만의 경우 10월의 한국 동해 남부해역에 대한 정等(1989)의 결과와 비슷하며, 동일수역에 대한 柳等(1980)의 결과보다는 낮다. 가막양만의 경우 마산만, 진해만 그리고 낙동강 하구의 엽록소 a 양(朴, 1975)보다는 낮고, 동일 수역에 대한 梁(1978)의 결과보다는 다소 높다.

엽록소 a 계절변화를 보면(Fig. 8), 한산-거제만은 9월에서 5월까지 약  $1\sim 2\text{mg/m}^3$  범위로서 비교적 일정한 경향을 보이다가 5월 이후 증가하여 8월에 최고치를 보였다. 가막양만은 8월에 최고치를 보였으며, 1월에도 비교적 높은 엽록소 a 양을 보였다. 여름인 8월에 최고치를 보인 것은, 여름과 초가을에 높은 엽록소 a 양을 보인 瀬戸内海에 대한 Yye et al.(1987)의 결과나 낙동강 하구 부근에 대한 박等(1986)의 조사결과와 일치한다. 그러나 충무부근의 굴 양식장에 대한 林等(1975)의 조사에서는 5월과 9월에 높은 엽록소 a 양과 6월, 7월에 낮은

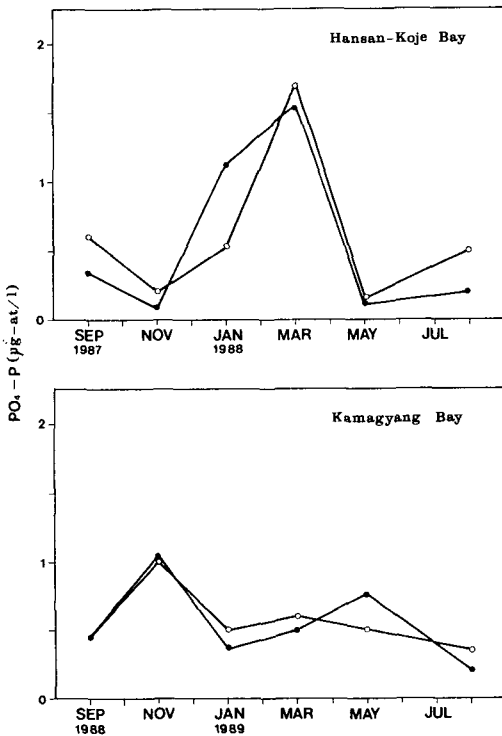


Fig. 7. Seasonal variation of mean phosphate concentration at surface(closed circle) and bottom (open circle) layer water in Hansan-Koje Bay from September, 1987 to August, 1988 and Kamagyang Bay from September, 1988 to August, 1989.

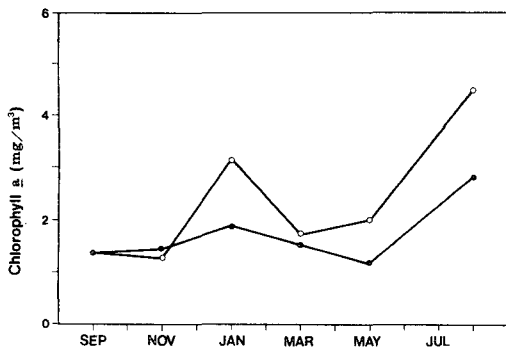


Fig. 8. Seasonal variation of mean chlorophyll a content in Hansan-Koje Bay(closed circle) from September, 1987 to August, 1988 and Kama-gyang Bay(open circle) from September, 1988 to August, 1989.

엽록소 a 양을 보고하였고, 한산-거제만에 대한 柳 等(1980)의 조사에서도 9월, 10월에 엽록소 a 양의 증가를 보고하였으며, 梁(1978)의 광양만과 가막양만에 대한 조사에서 5월 하순에 높은 엽록소 a 양을 보고하여 본 조사결과와 상이하였다. 가막양만에 있어서 1월에도 엽록소 a 양이 3.16mg/m<sup>3</sup>로서 여름 다음으로 비교적 높은 값을 보인 것은 *Asterionella*屬의 식물플랑크톤(Table 2)이 급증한 때문으로 생각된다.

엽록소 a 양의 연직분포를 보면(Fig. 9), 한산-거제만의 경우 표층은 1.39mg/m<sup>3</sup>, 5m층은 1.66mg/m<sup>3</sup> 그리고 저층은 2.04mg/m<sup>3</sup>이었으며, 가막양만의 경우 표층은 1.94mg/m<sup>3</sup>, 4m층은 2.36mg/m<sup>3</sup> 그리고 저층은 2.73mg/m<sup>3</sup>로서 두 수역 모두 저층으로 갈수록 엽록소 a 양이 증가하는 경향을 보였으며, 특히 8월에는 수층간의 농도차가 비교적 높았다. 이것은 한산-거제만에 대한 柳 等(1980)의 조사에서 굴 양식시설이 있는 정점에서 저층이 표층에 비해 엽록소 a 양이 높았던 것과 일치한다.

## 6. 식물플랑크톤

정량넷트에 의하여 채집·동정된 식물플랑크톤은 한산-거제만의 경우 총 55屬 중에서 규조류가 42屬이었고, 와편모조류가 13屬이었다. 가막양만의 경우는 총 39屬중에서 규조류가 34屬이었고, 와편모조류가 5屬이었다. 주요한 식물플랑크톤 조성을 보면, 한산-거제만의 경우(Table 1), *Chaetocero*屬이 54.7%로서 연중 우점을 차지하였으며, 그 다음이 *Nitzschia*屬, *Skeletonema*屬 그리고 *Rhizosolenia*屬의 순으로 나타났다. 가막양만의 경우(Table

2), *Asterionella*屬이 31.5%로서 연평균 우점적인 조성을 보였다, 그 다음이 *Chaetoceros*屬, *Nitzschia*屬 그리고 *Leptocylindrus*屬의 순으로 나타났다. 가막양만에 있어서 계절별 조성을 보면 9월에는 *Chaetoceros*屬, 11월에는 *Rhizosolenia*屬, 1월과 3월엔 *Asterionella*屬, 5월엔 *Leptocylindrus*屬 그리고 8월엔 다시 *Chaetoceros*屬이 우점을 차지하였다.

한산-거제만에 대한 柳 等(1980)의 조사에서도 *Chaetoceros*屬이 가장 많은 양 출현한 것으로 보고하고 있으며, 8월 충무항에 대한 Cho(1977)의 조사에서도 주된 조성屬이 *Chaetoceros*屬임을 보고하고 있다. 가막양만에 있어서 봄철 규조류의 양과 조성에 관한 梁(1977)의 연구결과에서 4월에는 *Chaetoceros*屬과 *Leptocylindrus*屬이 비슷한 비율로서 우점을 보였고, 5월과 6월에는 *Chaetoceros*屬이 70% 이상의 조성을 보였는데, 본 조사에서 가막양만의 4월과 6월에 대한 자료는 없지만 3월과 5월 그리고 8월의 자료를 통해서 볼 때, 이 수역에 있어서 봄철(4, 5, 6월)에는 *Chaetoceros*屬과 *Leptocylindrus*屬이 중요한 것으로 생각된다. 그러나 Shim and Pae(1985)는 영일만의 식물플랑크톤 조사에서 *Skeletonema costatum*이 조사시기마다 우점종으로 나타났다고 보고하고 있다. Shim(1980)은 수심이 얕은 해역에 있어서 식물플랑크톤 양의 급증은 질소를 많이 함유한 유기물의 유입과 관련이 있다고 했는데, 본 조사시 가막양만(특히 정점 2 부근)의 1월과 3월에 있어서 *Asterionella*屬의 급증이 일시적인 것인지 어떤지를 알기 위해서는 세부적인 조사가 필요한 것으로 생각된다.

표층수 1l 채수채집을 통하여 계산된 식물플랑크톤의 세포수는, 한산-거제만이 9×10<sup>3</sup>~154×10<sup>3</sup> cells/l(평균 55×10<sup>3</sup> cells/l)범위였으며, 가막양만이 10×10<sup>3</sup>~890×10<sup>3</sup>cells/l(평균 82×10<sup>3</sup>cells/l)범위로서 한산-거제만보다도 더 높은 세포밀도를 보였다.

## 7. 기초생산력

일간기초생산력은 한산-거제만의 경우 0.22~1.02gC/m<sup>2</sup>/day(평균 0.52gC/m<sup>2</sup>/day)범위였으며, 가막양만의 경우는 0.11~3.61gC/m<sup>2</sup>/day(평균 0.91gC/m<sup>2</sup>/day)범위로서 한산-거제만보다도 높았다. 일간기초생산력의 계절변화를 보면(Fig. 10), 한산-거제만의 경우 11월에 평균 0.47gC/m<sup>2</sup>/day 수준에서 점차 생산력이 감소하여 1월에 최저치(0.41gC/m<sup>2</sup>/day)를 보이다가 점차 증가하여 5월(0.57gC/m<sup>2</sup>/day)을 거쳐 8월에 평균 0.62gC/m<sup>2</sup>/day로서 최고치를 보였다. 가막양만의 경우 11월에 평균 0.12gC/m<sup>2</sup>

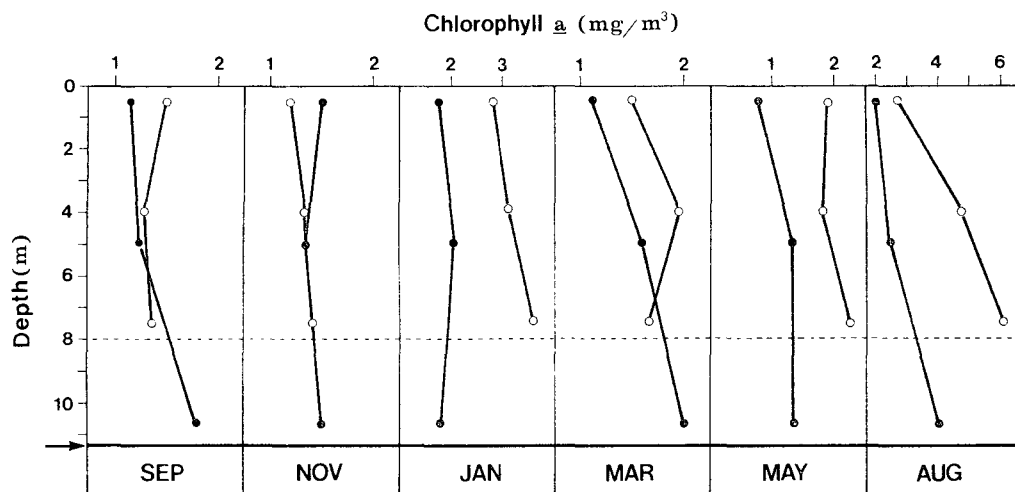


Fig. 9. Vertical distribution in mean chlorophyll *a* content of surface, 5m and bottom layer water in Hansan-Koje Bay(closed circle) from September, 1987 to August, 1988 and surface, 4m and bottom layer water in Kamagyang Bay(open circle) from September, 1988 to August, 1989. Arrow and dotted line indicate mean water depth in Hansan-Koje Bay and Kamagyang Bay, respectively.

Table 1. Percentage composition of major components of phytoplankton in Hansan-Koje Bay from September, 1987 to August, 1988

Genus	1987		1988				Mean
	Sept.	Nov.	Jan.	Mar.	May	Aug.	
<i>Asterionella</i>	2.27	0.76	8.72	0.50	0.08	0.24	2.10
<i>Chaetoceros</i>	63.09	43.43	56.48	64.80	35.76	64.60	54.69
<i>Nitzschia</i>	4.35	11.05	6.80	5.20	10.97	17.43	9.30
<i>Rhizosolenia</i>	10.25	6.67	1.76	1.90	9.08	7.43	6.18
<i>Skeletonema</i>	1.77	5.90	10.64	7.43	8.76	3.05	6.26
<i>Thalassiothrix</i>	3.30	2.86	0.56	0.72	0.82	1.78	1.67
<i>Ceratium</i>	0.86	1.33	0.32	0.05	0.98	0.43	0.66

Table 2. Percentage composition of major components of phytoplankton in Kamagyang Bay from September, 1988 to August, 1989

Genus	1988		1989				Mean
	Sept.	Nov.	Jan.	Mar.	May	Aug.	
<i>Asterionella</i>	6.95	0.10	87.50	93.29	1.06	0.07	31.50
<i>Chaetoceros</i>	27.28	1.37	9.10	0.81	23.16	76.10	22.97
<i>Nitzschia</i>	-	-	-	-	35.31	0.25	5.93
<i>Rhizosolenia</i>	20.86	88.13	0.26	2.27	11.59	9.45	22.09
<i>Skeletonema</i>	2.98	3.34	0.49	0.54	7.31	2.60	2.88
<i>Thalassiothrix</i>	11.59	1.34	0.42	1.09	3.42	3.21	3.51
<i>Ceratium</i>	7.28	0.43	0.02	0.01	4.98	2.34	2.53



/day로서 최저치를 보였으며, 1월(0.63gC/m<sup>2</sup>/day)에 이르면서 생산력이 급격히 증가하여 5월에 평균 0.79gC/m<sup>2</sup>/day를 거쳐 8월에 평균 2.11gC/m<sup>2</sup>/day로서 최고치를 보였다. 두 굴 양식장 수역에 있어서 계절간의 생산력 차이를 검정하기 위해 분산분석한 결과, 한산-거제만의 경우는 5% 유의수준에서 계절간 평균 기초생산력에 있어서 유의성이 인정되지 않았으나, 가막양만의 경우는 11월과 8월 그리고 1월과 8월사이에서 5% 유의수준에서 계절간 평균 기초생산력 변동에 유의차가 인정되었다.

본 조사에서 기초생산력 측정은 계절별로 4회만 실시되었기 때문에 세부적인 계절변화에 대해서는 알 수 없지만, 온대해역의 일반적인 경향과는 달리 봄의 기초생산력 증가와 더불어 여름인 7월, 8월에 높은 기초생산력을 보였다. 일본의 굴 양식장 수역인 廣島灣에서 산소법에 의해 측정된 순 기초생산력은 7월 하순에서 8월에 최고치 그리고 9월에 최저치를 보였다(木村·橋本, 1968). 瀬戸内海에 대한 Uye *et al.*(1987)의 조사에서도 기초생산력은 따뜻한 계절동안 높았고, 연중 기초생산력은 여름에 최고치를 나타냈다고 보고하고 있다. 그러나 서해 천수만에 대한 Jo(1988)의 연구에서는 5월에 최고치를 그리고 12월에 최저치를 보여 본 조사와 다소 차이가 있었다.

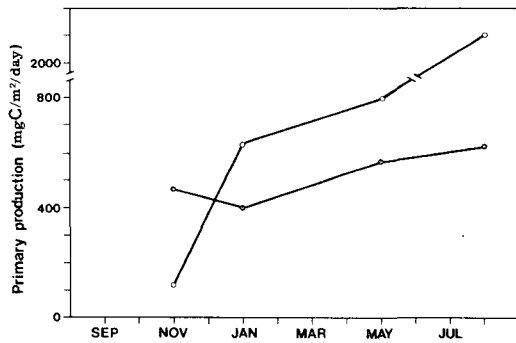


Fig. 10. Seasonal variation of daily primary production in Hansan-Koje Bay(closed circle) from September, 1987 to August, 1988 and Kamagyang Bay(open circle) from September, 1988 to August, 1989.

광포화점에서의 단위 엽록소 *a*당 광합성량인 동화수(assimilation number)를 보면(Table 3, 4), 한산-거제만의 경우 표층수는 평균 9.08mgC/mg chl. *a*/h이었고 저층수는 평균 4.74mgC/mg chl. *a*/h로서 *t*-검정 결과 1% 유의수준에서도 유의한 차이를

보여 표층수의 동화수가 저층수의 동화수보다도 높았다. 가막양만의 경우 표층수는 평균 9.88mgC/mg chl. *a*/h이고 저층수는 평균 7.05mgC/mg chl. *a*/h로서 표층수의 동화수가 약간 높게 나타났으나, *t*-검정 결과 유의한 차이를 보이지 않았다. 동화수의 계절변화를 보면, 한산-거제만의 경우 1월과 5월 그리고 1월과 8월 사이에 5% 유의수준에서 계절간 차이가 인정되어, 1월의 동화수가 가장 낮았고 5월과 8월의 동화수가 높게 나타났다. 가막양만의 경우 11월과 5월, 11월과 8월, 1월과 5월 사이에는 5% 유의수준에서, 그리고 1월과 8월 사이에는 1% 유의수준에서도 계절간 동화수의 차이가 인정되어 11월과 1월의 동화수가 낮고 5월과 8월의 동화수가 높게 나타났다.

계절별 기초생산력을 기초로 하여 추정된 연간 기초생산력은 한산-거제만이 189gC/m<sup>2</sup>/yr이었고 가막양만이 334gC/m<sup>2</sup>/yr로 나타났는데, 이것을 여러 해역의 결과와 비교해 보면(Table 5), 한산-거제만은 일본 굴 양식의 중요한 부분을 차지하는 廣島灣(木村·橋本, 1968), 한국 동남 해역의 10월의 생산력이나 서해 경기만보다는 낮은 값을 보였으며, 어업활동이 왕성하고 단위면적당 연간 어획량이 높은 해역이면서 어느 정도 오염원의 영향을 받고 있는 瀬戸内海(Uye *et al.*, 1987)보다는 다소 높은 생산력을 보였다. 그리고 가막양만은 한산-거제만이나 廣島灣보다도 높은 생산력을 보였으며, 한국 동남해역의 10월 생산력보다는 낮았다.

연간기초생산력의 자료에서 두 굴 양식장 수역의 수면적을 고려하여 식물플랑크톤으로부터 생산되는 연간 탄소량을 계산하면(Table 6), 한산-거제만은 9,450ton이며 가막양만은 37,000ton이 된다. 遠藤(1970)에 따라 탄소량의 10배를 습중량으로 보면 한산-거제만은 94,500ton이고 가막양만은 370,000ton이 된다.

식물플랑크톤에 의한 기초생산력은 종조성이나 영양염 조건, 생리적인 상태 그리고 광량이나 파장에 따라서도 달라질 수 있으며, 해역에 따라서도 일간변동을 한다(Lorenzen, 1963; 本城·花岡, 1969). 두 조사수역의 기초생산력에 영향을 줄 수 있는 변수들의 기초생산력과의 상관계수를 구한 결과, 한산-거제만의 경우는 엽록소 *a*와 동화수가 각각 0.600과 0.657(*P*<0.05)이었고, 수柱 전체의 엽록소 *a*와 용존된 무기질소 그리고 인산염이 각각 0.474와 0.165 그리고 -0.156(*P*>0.05)이었다. 가막양만의 경우는 엽록소 *a*와 수柱 전체의 엽록소 *a*가 각각 0.809와 0.900(*P*<0.01)이었으며, 동화수와 용존된 무기질소 그리고 인산염이 각각 0.542와 0.270

그리고  $-0.476(P>0.05)$ 이었다.

Lohrenz *et al.*(1988)는 5월 지중해에서의 조사에서 기초생산력과 상관인 높은 변수는 엽록소와 질산염이고 동화수와는 상관인 낮다고 하였는데, 본 조사에서 질산염과 기초생산력과의 상관계수는 한산-거제만과 가막양만이 각각  $-0.049$  와  $0.365(P>0.05)$ 로서, 용존된 무기질소 뿐만 아니라 질산염과도 상관인 아주 낮은 것으로 나타났다. 일반적으로 영양염의 증가는 기초생산력의 증가와 정상관을 이루는 것으로 알려져 있지만, 이들 영양염과 기초생산력에 영향을 주는 다른 요인들의 상호작용에 의하여 달라질 수 있다(Raymont, 1980). 崔 · 鄭(1966)은 동일 엽록소  $a$  양에 대한 기초생산력에는 상당한 변동을 보이나 대체로 엽록소  $a$  양의 증가는 기초생산력의 증대를 의미한다고 하였다. Taniguchi(1972)는 표층의 엽록소  $a$  양이 증가하더라도 일간기초생산력이 비례하여 증가하지 않는다고 보고하면서, 이것은 번무한 식물플랑크톤의 自陰化(self-shading) 때문이라고 하였다. 두 조사수역에서의 진광대 수심(euphotic depth)은 평균 수심보다도 더 깊기 때문에 식물플랑크톤에 의한 自陰化의 영향은 없는 것으로 생각된다. Han(1988)은 동경만에 대한 연구에서 식물플랑크톤의 크기에 따라 동화수와 기초생산력 사이의 관계가 달라짐을 보고하였으나, 본 조사에서는 이 점을 고려하지 않았다.

裴 · 金(1978)은 남해 충무 부근의 굴 양식장 조사에서 연평균 투명도가  $1.5m$  높은 於九 어장의 기초생산력이 더 높음을 보고하였으나, 본 조사해역의 경우는 투명도가 낮은 가막양만의 생산력이 보다 투명도가 높은 한산-거제만의 생산력보다 더 높았다. Cadée and Hageman(1974)은 수심이 얇은 동부 바덴해(eastern Wadden Sea)에서는 높은 탁도 때문에 빛이 중요한 제한요인으로 작용한다고 하였는데, 본 조사시의 두 양식장 수역은 비교적 수심이 얇은 해역이면서 표층에서 저층까지 빛이 도달되고 潮流에 의한 水柱의 부분적인 혼합이 가능하기 때문에 水柱 전체에 걸쳐서 식물플랑크톤에 의한 생산이 일어나는 것으로 생각된다. 그리고 가막양만의 경우 한산-거제만보다 투명도가 떨어져 상대적으로 높은 탁도를 나타냈지만 빛에 의한 제한은 중요하지 않은 것으로 생각된다.

이상으로 보아 온대해역 중에서도 수심이 비교적 얇고 굴 양식시설이 있는 한산-거제만과 가막양만에서 봄의 기초생산력 증가와 함께 여름에 높은 기초생산력을 보인 것은, 여름에 있어서 높은 엽록소  $a$  양과 더불어 봄과 여름에 비교적 높은

동화수 그리고 潮流에 의한 水柱의 부분적인 연직 혼합 때문인 것으로 생각된다.

본 조사는 동일시점에 있어서 두 굴 양식장 수역의 기초생산력을 비교하기 보다는 이 수역에서 나타나는 기초생산력과 그것의 특성을 파악하는

Table 3. Assimilation number( $P_{max}$ ) of phytoplankton of surface and bottom layer water in Hansan-Koje Bay

Season	Station	$P_{max}(mgC/mg chl. a/h)$		
		Surface	Bottom	Mean
Nov. 1987 (fall)	2	9.90	1.48	6.10
	3	10.54	3.28	
	4	7.99	2.34	
Jan. 1988 (Winter)	5	9.80	3.43	4.19
	1	3.13	2.23	
	2	3.80	3.03	
May 1988 (spring)	3	5.46	3.53	9.15
	4	6.63	5.69	
	1	12.05	8.45	
Aug. 1988 (summer)	3	8.90	6.18	9.40
	5	12.79	6.52	
	1	10.23	5.99	
	2	16.42	7.09	9.40
	4	9.49	7.15	

Table 4. Assimilation number( $P_{max}$ ) of phytoplankton of surface and bottom layer water in Kamagyang Bay

Season	Station	$P_{max}(mgC/mg chl. a/h)$		
		Surface	Bottom	Mean
Nov. 1988 (fall)	1	5.54	4.86	4.63
	2	4.30	3.38	
	3	6.85	2.85	
Jan. 1988 (winter)	1	4.23	6.22	6.45
	2	4.74	5.10	
	3	14.08	4.35	
May 1989 (spring)	1	14.34	8.22	11.92
	2	16.35	12.36	
	3	9.21	11.04	
Aug. 1989 (summer)	1	9.05	8.53	10.86
	2	14.56	10.03	
	3	15.36	7.64	

데 목적이 있기 때문에, 비록 다른 시기에 조사된 결과이지만 두 수역의 기초생산력 특성을 파악하는데 있어서 기초 자료가 될 것이다.

Table 5. Comparison of annual primary production in different regions

Region	Annual primary production (gC/m <sup>2</sup> /yr)	Reference
Upwelling water	300	Ryther(1969)
Seto Inland Sea	122	Uye <i>et al.</i> (1987)
Southern part of the East Sea of Korea	(1.5)*	Chung <i>et al.</i> (1989)
Hiroshima Bay	(0.70)**	Kimura & Hashimodo(1968)
Kyunggi Bay	320	Chung & Park (1988)
Hansan-Koje Bay	189(0.52)*	Present study
Kamagyang Bay	334(0.91)*	Present study

\* daily primary production(gC/m<sup>2</sup>/day)  
 \*\* daily net primary production by O<sub>2</sub> method(gC/m<sup>2</sup>/day)

Table 6. Comparison of annual carbon production between Hansan-Koje Bay and Kamagyang Bay

	Hansan-Koje Bay	Kamagyang Bay
Annual primary production	189gC/m <sup>2</sup> /yr	334gC/m <sup>2</sup> /yr
Area	50km <sup>2</sup>	112km <sup>2</sup>
Annual carbon production	9,450ton	37,000ton

요 약

굴 양식장 수역에 있어서 식물플랑크톤에 의한 기초생산력을 파악하기 위해 한산-거제만과 가막양만을 대상으로 1년간 <sup>14</sup>C 법으로써 조사하였다.

한산-거제만의 경우, 일간기초생산력은 평균 0.52gC/m<sup>2</sup>/day(0.22~1.02gC/m<sup>2</sup>/day)로 여름에 비교적 높고 겨울에 낮았다. 연간기초생산력은 189gC/m<sup>2</sup>/yr로 추정되었다. 엽록소 a 양은 평균 1.70mg/m<sup>3</sup>로서 비교적 여름에 높았다.

가막양만의 경우, 일간기초생산력은 평균 0.91gC/m<sup>2</sup>/day(0.11~3.61gC/m<sup>2</sup>/day)로 여름에 최고치 그

리고 가을에 최저치를 보였다. 연간기초생산력은 334gC/m<sup>2</sup>/yr로 추정되었다. 엽록소 a 양은 평균 2.34mg/m<sup>3</sup>로서 여름에 최고치를 보였으며, 겨울에도 비교적 높았다.

두 굴 양식장의 수면적을 고려하면, 식물플랑크톤에 의해 생산되는 탄소량은 한산-거제만이 9,450ton이고 가막양만이 37,000ton이었다. 본 조사수역의 기초생산력은 봄의 생산력 증가와 함께 여름에 높은 생산력을 보였다.

사 사

본 연구는 1987년도 문교부 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 수행되었다. 현장 채집시 협조해 준 충무시 대흥물산의 김성찬씨와 전남 여천군 돌산읍 금봉리의 김우성 어촌계장께 감사드리며, 방사성 탄소동위원소의 측정에 도움을 준 고신의료원 중앙의학연구소의 최백림 선생께도 감사드립니다.

참 고 문 헌

朴周錫·金鶴均·李弼容. 1985. 海洋汚染 및 赤潮 調査 指針. 國立水産振興院, 297p.  
 朴清吉. 1975. 鎮海灣 海水의 富營養化와 클로로필 分布. 韓水誌, 8, 121~126.  
 박청길·조규대·허성희·김삼근·조창환. 1986. 낙동강 하구 부근의 해양환경 조사 연구. 漁業 技術, 22, 1~20.  
 裴平岩·金潤. 1978. 忠武 近海 굴 養殖漁場 基礎生産力 調査. 水振研報, 20, 129~139.  
 부산지방기상대. 1987~1988. 기상월표원부, 26p.  
 부산지방기상대 진주측후소. 1988~1989. 기상월표 원부, 26p.  
 梁漢春. 1977. 봄철 麗水沿岸 硅藻類의 量과 組成. 麗水水專 論文集, 11, 71~81.  
 梁漢春. 1978. 봄철 麗水沿岸의 植物플랑크톤 色素 量 分布. 麗水水專 論文集, 12, 82~88.  
 柳晟奎·朴周錫·陳平·林瑤瑋·朴清吉·洪性潤·趙昌煥·許宗秀·李三碩·姜弼愛·朴炅洋·李明淑·金潤. 1980. 굴 양식장 종합조사. 水振研報, 24, 7~46.  
 李奎亨·崔圭稷. 1985. 6月中 駕莫灣의 水溫, 鹽分 및 透明度 分布. 韓水誌, 18, 157~165.  
 李明哲·張善德. 1982. 駕莫灣의 海水交換. 韓海誌,

- 17, 12~18.
- 異舜吉·陳平. 1987. 火力發電所 冷却系統이 海洋生物에 미치는 影響. I. 基礎生産力에 미치는 影響. 韓水誌, 20, 381~390.
- 林斗柄·趙昌煥·權軀燮. 1975. 忠武附近 굴 養殖漁場의 環境에 關하여. 韓水誌, 8, 61~67.
- 정경호·박용철. 1988. 서해 경기만의 기초생산력 및 질소계 영양염의 재생산에 관한 연구, 韓海誌, 23, 194~206.
- 정창수·심재형·박용철·박상갑. 1989. 한국 동해의 기초생산력과 질소계 영양염의 동적관계. 韓海誌, 24, 52~61.
- 趙昌煥. 1980. 開山-巨濟灣 굴 養殖場의 養殖密度에 關한 研究. 韓水誌, 13, 45~56.
- 중앙기상대. 1988. 기상연보, 142p.
- 중앙기상대. 1989. 기상월보. 1~8월. 38p.
- 陳平·洪性潤. 1985. 大韓海峽의 植物플랑크톤의 基礎生産力. 韓水誌, 18, 74~83.
- 崔相·鄭兌和. 1966. 韓國沿岸水域의 基礎生産. 原子力研究所彙報, 3, 42~57.
- 崔相·鄭兌和·郭熙相. 1968. 漢江下流水域의 基礎生産과 植物플랑크톤 色素量의 年變化. 韓海誌, 3, 16~25.
- 遠藤拓郎. 1970. 瀬戸内海の一次生産に關する研究. 日本廣島大 水畜産學部紀要, 9, 177~221.
- 木村知博·橋本俊將. 1968. 廣島灣のカキ養殖場水域における基礎生産について. 日本水産増殖, 16, 1~14.
- 本城凡夫·花岡資. 1969. 海産植物プランクトンにおける光合成速度と色素量의 日變化. 日海誌, 25, 182~190.
- APHA·AWWA·WPCF. 1985. Standard Methods for the Examination and Water and Wastewater, 16th ed. 1268p.
- Cadée, G. C. and J. Hegeman. 1974. Primary production of phytoplankton in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res. 8, 240~259.
- Cho, C. H. 1977. On the red water and water quality by plankton occurrence near Chungmu. Bull. Tongyeong Fish. Jr. Coll. 12, 7~12.
- Cho, C. H., K. Y. Park, H. S. Yang and J. S. Hong. 1982. Eutrophication of shellfish farms in Deukryang and Gamagyang Bays. Bull. Korean Fish. Soc. 15, 233~240.
- Han, M. S. 1988. Studies on the Population Dynamics and Photosynthesis of Phytoplankton in Tokyo Bay. D. Sc. Thesis. Tokyo Univ. 172p.
- Hong, G. H., D. B. Yang and K. W. Lee. 1988. Nutrients and trace metals in permanently well-mixed coastal waters of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 23, 159~168.
- Hong, J. S. 1987. Summer oxygen deficiency and benthic biomass in the Chinhae Bay System, Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 22, 246~256.
- Jo, J. S. 1988. Primary productivity and nutrient dynamics in Chunsu Bay, Yellow Sea. M. S. Thesis, Inha Univ. 66p.
- Kang, Y. J. 1967. Studies on the primary production in Suyong Bay. J. Oceanol. Soc. Korea, 2, 13~23.
- Kim, K. 1983. Water characteristics and circulation in the Gamagyang Bay. Proc. Coll. Natur. Sci. SNU, 8, 109~120.
- Lohrenz, S. E., D. A. Wiesenburg, I. P. Depalma, K. S. Johnson and D. E. Gustafson, Jr. 1988. Interrelationships among primary production, chlorophyll, and environmental conditions in frontal regions of the western Mediterranean Sea. Deep-Sea Res. 35, 793~810.
- Lorenzen, C. J. 1963. Diurnal variation in photosynthetic activity of natural phytoplankton population. Limnol. Oceanogr. 8, 56~62.
- Parson, T. R., Y. Maita and C. M. Lalli. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, 173p.
- Raymont, J. E. G. 1980. Plankton and productivity in the oceans. (I) Phytoplankton. Pergamon Press, 489p.
- Ryther, J. H. 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. Science, 166, 72~76.
- Shim, J. H. 1980. Biological oceanography of the Gamagyang Bay-the Yeolja Bay water system (I). J. Oceanol. Soc. Korea, 15, 89~99.
- Shim, J. H. and S. J. Pae. 1985. The distribution of phytoplankton in Yeong-il Bay, Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 20, 49~60.
- Shim, J. H. and Y. C. Park. 1986. Primary productivity measurement using carbon-14 and nitrogenous nutrient dynamics in the southeastern sea of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 21, 13~24.
- Shim, J. H. W. H. Lee and S. Y. Bak. 1985. Studies on the plankton in the southwestern waters of the East Sea(Sea of Japan) (II) Phytoplank-

- ton standing crop, nanofraction, and primary production. J. Oceanol. Soc. Korea, 20, 37~54.
- Solorzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method. Limnol. Oceanogr. 14, 799~801.
- Steemann-Nielsen, E. 1975. Marine Photosynthesis with Special Emphasis on the Ecological Aspects. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 141p.
- Taniguchi, A. 1972. Geographical variation of primary production in the western Pacific Ocean and adjacent seas with reference to the interrelations between various parameters of primary production. Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 19, 1~34.
- Uye, S., H. Kuwata and T. Endo. 1987. Standing stocks and production rates of phytoplankton and planktonic copepods in the Inland Sea of Japan. J. Oceanol. Soc. Japan, 42, 421~434.
- Wallen, D. D. and D. W. Hood. 1968. Seawater analysis method: Dissolved oxygen progress report to U. S. Office of Naval Research. Inst. Mar. Sci. Report R68-6, Univ. Alaska, Fairbanks, pp. 88~93.

---

1990년 12월 28일 접수

1991년 1월 19일 수리