

駕莫灣의 環境容量 算定(I) - 생태계모형을 이용한 기초생산력 산정 -

조은일 · 박청길 · 이석모
부산수산대학교 환경공학과

Estimation of Carrying Capacity in Kamak Bay(I) - Estimation of Primary Productivity Using the Eco-hydrodynamic Model -

Eun Il CHO, Chung Kil PARK and Suk Mo LEE

Department of Environmental Engineering, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea

The eco-hydrodynamic model was used to estimate the primary productivity of the oyster culture grounds in Kamak Bay. It is composed of the three-dimensional hydrodynamic model for the simulation of water flow and ecosystem model for the simulation of phytoplankton. The ecosystem model was applied to simulate phytoplankton biomass during culturing period in condition of no oyster culture grounds.

The field surveys were conducted from May, 1994 to March, 1995 in Kamak bay. The results showed the concentration of chlorophyll α to be 1.00~23.28 $\mu\text{g/l}$ in the surface layer, 1.27~29.97 $\mu\text{g/l}$ in the middle layer and 1.23~23.08 $\mu\text{g/l}$ in the bottom layer. In monthly variations of chlorophyll α concentration, very high concentration were found in July, 1994 and very low concentrations in December, 1994.

As the results of three-dimensional hydrodynamic simulation, the computed tidal currents are mainly toward the inner part of bay through Yeosu Harbor and the southern mouth of a bay during the flood tide. The computed residual currents were dominated southward in Yeosu Harbor and eastward in the mouth of bay and also showed strong clockwise water circulation at the mouth of bay. The pattern between the simulated and observed tidal ellipses at three stations was very similar.

The mean relative errors of all levels between the simulated and observed phytoplankton biomass at 14 stations in Kamak Bay were 13.81%, 9.31% and 17.84%, respectively.

The results of phytoplankton biomass simulation showed that the biomass increased from June to September and rapidly decreased to December and then slowly increased to March.

Primary productivity was estimated in the range of 0.99~10.20 $\text{gC/m}^2/\text{d}$ with the average value of 4.43 $\text{gC/m}^2/\text{d}$ in condition of no oyster culture grounds. Primary productivity was rapidly increased from June to August and rapidly decreased to December and then slowly increased from January to March in Kamak Bay.

Key words : primary productivity, eco-hydrodynamic model, phytoplankton, Kamak Bay

緒 論

駕莫灣과 같은 연안 굴양식장에 있어서 적정시설과 합리적인 어장이용을 통하여 생산량을 지속적으로 유지하기 위해서 굴 양식장의 어장환경용량 즉 현 환경 조건하에서의 굴의 최대 생산량을 산정할 필요가 있

다. 이를 위해서는 굴의 먹이가 되는 식물플랑크톤의 생산량을 나타내는 기초생산력(primary productivity)이 파악되어야 한다.

기초생산력을 구하는 방법으로는 실내실험이나 현장실험을 통하여 구할수 있다. 즉 산소를 이용한 명암법과 방사성 동위 원소 (^{14}C)를 이용한 방사성 동

위원소법 등이 있다.

駕莫灣에서의 기초생산력에 관한 연구는 Lee et al. (1991)이 방사성 동위원소법으로 기초생산력을 조사한 바 있다. 그러나 이렇게 현장실험을 통하여 구한 기초생산력은 어떤 특정 환경조건하에서 특정시간에 구한 값이기 때문에 환경조건이 변화함에 따라 기초생산력이 어떻게 증감할 것인가를 예측할 수가 없다.

따라서 본 연구는 駕莫灣과 같은 굴양식장의 어장 환경용량을 산정하기 위하여 먼저 파악되어야 할 기초생산력을 생태-유체역학모델(日本通商産業省, 1986)을 이용하여 현장 환경조건을 입력하여 산정하였다. 이렇게 수학적 모델을 통하여 기초생산력을 구함으로써 어장환경을 어떻게 변화시키면 기초생산력이 얼마만큼 증가되는지를 예측할 수 있고, 그 결과로 어장환경용량이 얼마만큼 증가할 것인가를 예측하는 기초자료를 제공할 것이다.

材料 및 方法

1. 대상해역 및 현황조사

한국 남해안의 중부 연안이며서 여수반도 남단과 돌산도에 둘러싸인 駕莫灣(Fig. 1)은 남북방향의 길이가 약 15 km, 동서방향의 길이가 약 9 km인 타원형 내만으로 면적은 147.5 km²이고, 평균수심은 약 9 m인 천해로서 용적은 10.2×10⁸ m³이다. 대조차는 3 m이고 만 내 해수는 여수항 수로와 남쪽 만구의 2개 수로를 통해 교환된다.

駕莫灣은 기초생산력이 평균 334gC/m²/yr로서 비교적 크고(Lee et al., 1991), 많은 종류의 어패류가 서식하여 각종 어패류 양식이 행해지며, 산란 및 서식장으로 천해의 보고이며 수산자원 보존지역 및 청정지역으로 지정, 보호되고 있다.

駕莫灣의 수질특성을 조사하기 위하여 1994년 5월부터 1995년 3월까지 총 8회에 걸쳐 Fig. 1에 표시된 14개의 정점에서 반동채수기를 이용하여 층별(표층(0m), 중층(5m), 저층(bottom))로 시료를 채수하여 수질특성조사를 하였으며 조사된 수질결과를 이용하여 駕莫灣의 부영양도를 산정하였다. 그리고 C1, C2 그리고 C3 지점은 1990년 1월과 6월 대조기에 25시간 연속 측류한 지점으로 해수유동 시뮬레이션의 타당성

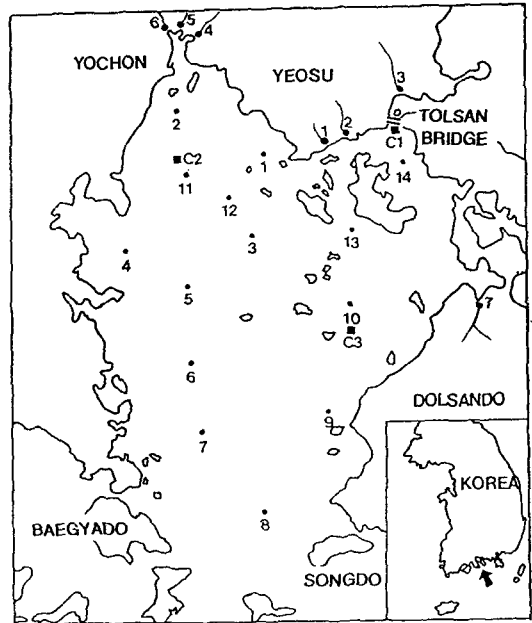


Fig. 1. Location of the sampling stations in Kamak Bay.

을 검토하기 위해 비교점으로 사용된 지점이다.

부영양도의 판정방법에는 해역의 부영양화 지표로서 적조를 유발시키는 영양염 농도를 고려하여 부영양화 지수(Eutrophication Index)를 산정하고 이 부영양화 지수를 기준으로 해역의 부영양도를 평가하는 방법이 있으며 여기서는 부영양화로 인하여 적조가 발생할 때, 그 초기에 나타나는 규조류의 세포수 10³ 개체/ml에 포함된 0.83 mg/l (COD 1 mg/l)의 탄소량을 기준으로 하고, N, P에 대해서는 각각 7.14 μg-at/l 및 0.48 μg-at/l를 적조발생 가능 농도로 보고 계산한 값을 부영양도 1로서 평가하는 방법인 Okaichi (1985)의 다음 식을 이용하여 평가하였다.

$$\text{부영양도} = \frac{\text{COD}(\text{mg/l}) \times \text{DIN}(\mu\text{g-at/l}) \times \text{PO}_4^{3-} - \text{P}(\mu\text{g-at/l})}{3.43}$$

2. 생태-유체역학 모델의 구성

식물플랑크톤의 기초생산력을 산정하기 위한 수단으로 생태-유체역학 모델을 이용하였다. 모델은 해수유동모델과 생태계 모델로 이루어져 있으며 Fig. 2와 같다. 생태계 모델을 이용하여 수질 예측 시뮬레

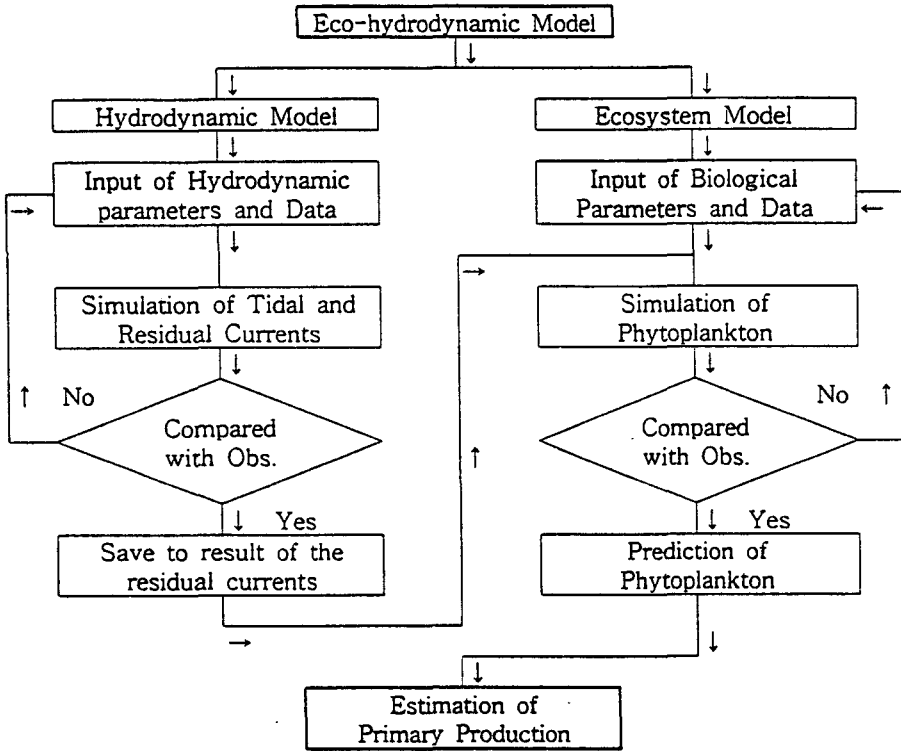


Fig. 2. Schematic diagram of the eco-hydrodynamic model.

이션을 행하기 위해서는 먼저 해수유동이 파악되어야 하고 해수유동 시뮬레이션의 결과를 생태계 모델에 입력하여 수질 예측을 실행하였다.

생태계 모델로는 기존의 생태학 연구로부터 알고 있는 내용을 총괄하여 시스템 공학적인 방법으로 물질 순환을 수치적으로 해석한 것이다. 생태계의 구성요소로서 4개의 유기태 요소, 2개의 무기태 요소 및 2개의 수질 요소가 있는데, 유기태의 구성요소에는 식물플랑크톤 (P), 동물플랑크톤 (Z), 현탁태 비생물 유기물 (detritus, POM) 및 용존태 유기물 (DOM)이 있고 무기태의 구성요소에는 인산인 (DIP)과 용존성 전무기질소 (DIN)가 있으며 수질의 구성요소로서 용존산소 (DO)와 화학적 산소요구량 (COD)이 정의되어 있다. 저생생물이나 퇴적물 등으로 이루어진 해저계도 환경인자로서 취급하여 모델의 변수로 되어 있다.

해역의 임의의 지점에 있어 구성요소의 현존량 B의 시간에 따른 농도변화를 기술하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial B}{\partial t} &= \text{Advection} + \text{Dispersion} + \text{Bio-chemical variation} \\ &= -u \frac{\partial B}{\partial x} - v \frac{\partial B}{\partial y} - w \frac{\partial B}{\partial z} \\ &\quad + \frac{\partial}{\partial x} \left[k_x \frac{\partial B}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k_y \frac{\partial B}{\partial y} \right] \\ &\quad + \frac{\partial}{\partial z} \left[k_z \frac{\partial B}{\partial z} \right] + \frac{\partial B}{\partial t} \end{aligned}$$

여기서, B=구성요소의 현존량

t=시간

u, v, w=x, y, z방향의 유속성분

Kx, Ky, Kz=x, y, z방향의 와동확산계수

$\partial B/\partial t$ =모든 생물·화학적 과정에 의한 단위시간당 구성요소의 변화량

상기의 확산방정식에는 만 내 흐름에 의한 물질수송(이류)을 계산함에 있어 생태계 모델은 다층유동 모델과 연결되어 있다. 유동모델의 시뮬레이션에서

Table 1. Input data for the hydrodynamic model

| Parameters | Input values |
|---|---|
| Mesh size | $\Delta x = \Delta y = 250\text{m}$ |
| Total mesh value | $60 \times 75 \times 3 = 13,500$ |
| Water depth | chart datum + MSL |
| Time interval | 10sec |
| Level | 1: 0~3m 2: 3~6m 3: below 6m |
| Tidal level and degree at open boundary | A: 101cm, 254° B: 101cm, 264° C: 97cm, 265° D: 103cm, 266° |
| Water temp. and chlorinity at open boundary | 1: 17.15°C, 18.35 ‰ 2: 16.77°C, 18.37 ‰ 3: 16.21°C, 18.34 ‰ |
| Coriolis coefficient | $f = 2w \sin\phi$ |
| Surface friction coefficient | 0.0013 |
| Internal friction coefficient | 0.0013 |
| Bottom friction coefficient | 0.0025 |
| Horizontal viscosity coefficient | 1.0E5 (cm ² /s) |
| Horizontal diffusion coefficient | 1.0E5 (cm ² /s) |
| Calculation time | 20 tidal cycle |

계산된 유속성분 (u, v, w)을 생태계 모델에 입력하여 각 구성요소의 현존량을 시간적, 공간적인 변화에 따라 예측할 수 있다.

2.1 해수유동모델의 입력자료

본 연구의 모델 계산 영역으로 북쪽에서는 돌산대교가 있는 협수도와 남쪽에서는 백야도와 송도를 동서로 연결하는 곳까지를 계산영역으로 하였다. x, y방향의 격자 크기는 각각 250 m로 하였고 z방향으로는 총 3층으로 나누었고 계산되는 격자의 총수는 13,500 개 (60×75×3)로서 구성하였다.

해수유동모델의 입력자료는 Table 1에 나타내었다. 개방 경계는 총 4개로서 여수항 내의 물이 유입되는 북쪽의 협수도와 3개의 만구부이고 조위는 여수항의 조화상수 (수로국, 1992)를 기준으로 駕莫齋의 탁월분조인 M₂분조를 평균 조석으로 적용하였다. 그리고 수온과 염소량은 현장관측치를 이용하였다.

해저마찰계수는 심해의 최저치로서 일반적으로 해

의 안정성을 주는 R=0.025를 적용하였다. 수평확산계수는 x, y방향 모두 1.0×10⁵cm²/sec를 적용하였다. 바람의 영향은 시기별로 풍향과 풍속이 다르기 때문에 고려하지 않았다. 총 계산시간은 계산치가 수치적으로 안정을 이루는 20조석까지 계산하였다.

2.2 생태계 모델 시뮬레이션을 하기 위해 보정과 검증에 사용된 입력자료

생태계 모델을 이용하면 식물플랑크톤의 단위 시간당 생산량 즉 기초생산력 (mgC/m³/d)을 구할 수 있고 이를 이용해서 어느 시각의 식물플랑크톤의 현존량 (mgC/m³)도 계산할 수 있다.

계산영역은 해수유동모델과 동일하며 해수유동 자료는 유동모델에서 계산된 잔차류를 기본 유동자료로 이용하였다. 굴양식을 하지 않을 때인 1994년 5월의 식물플랑크톤량을 계산치와 관측치를 비교하여 잘 일치할 때까지 각종 계수값을 보정을 하여 식물플랑크톤을 재현하였다. 시뮬레이션을 위한 초기값은 관측

Table 2. Input data for the ecosystem model in May 1994

| Parameters | | Input values | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|------------------------------|----------------|--------|------------------------------------|--------|--------|------|
| Mesh size | | $\Delta x = \Delta y = 250m$ | | | | | | |
| Water depth | | chart datum + MSL | | | | | | |
| Time interval | | 900sec | | | | | | |
| Initial condition for compartments | | | | | | | | |
| Level | DO | COD | DIP | DIN | POC | DOC | PHYTO | ZOO |
| | (mg/l) | | $(\mu g-at/l)$ | | (mgC/m^3) | | | |
| 1 | 8.40 | 2.07 | 0.620 | 7.000 | 340.0 | 3270.0 | 812.81 | 35.0 |
| 2 | 8.20 | 2.39 | 0.470 | 7.000 | 387.0 | 3590.0 | 777.40 | 35.0 |
| 3 | 8.10 | 2.25 | 1.000 | 6.000 | 482.0 | 3450.0 | 830.12 | 35.0 |
| Boundary condition for compartments | | | | | | | | |
| Level | DO | COD | DIP | DIN | POC | DOC | PHYTO | ZOO |
| | (mg/l) | | $(\mu g-at/l)$ | | (mgC/m^3) | | | |
| 1 | 8.20 | 2.30 | 1.000 | 10.000 | 400.0 | 3500.0 | 785.35 | 35.0 |
| A 2 | 8.10 | 2.30 | 1.000 | 10.000 | 400.0 | 3500.0 | 785.35 | 35.0 |
| 3 | 7.95 | 2.30 | 1.000 | 10.000 | 550.0 | 3500.0 | 785.35 | 35.0 |
| 1 | 8.65 | 1.43 | 0.550 | 5.210 | 438.0 | 2630.0 | 756.80 | 35.0 |
| B 2 | 8.55 | 2.22 | 0.500 | 7.860 | 318.5 | 3420.0 | 727.04 | 35.0 |
| 3 | 8.55 | 2.06 | 0.770 | 7.360 | 526.1 | 3260.0 | 778.66 | 35.0 |
| 1 | 8.65 | 1.43 | 0.550 | 5.210 | 438.0 | 2630.0 | 756.80 | 35.0 |
| C 2 | 8.55 | 2.22 | 0.500 | 7.860 | 318.5 | 3420.0 | 727.04 | 35.0 |
| 3 | 8.55 | 2.06 | 0.770 | 7.360 | 526.1 | 3260.0 | 778.66 | 35.0 |
| 1 | 8.65 | 1.43 | 0.550 | 5.210 | 438.0 | 2630.0 | 756.80 | 35.0 |
| D 2 | 8.55 | 2.22 | 0.500 | 7.860 | 318.5 | 3420.0 | 727.04 | 35.0 |
| 3 | 8.55 | 2.06 | 0.770 | 7.360 | 526.1 | 3260.0 | 778.66 | 35.0 |
| Horizontal viscosity coefficient | | | | | 1.0E5(cm ² /S) | | | |
| Horizontal diffusion coefficient | | | | | 1.0E5(cm ² /S) | | | |
| Vertical diffusion coefficient | | | | | level 1~3: 0.1(cm ² /s) | | | |
| Calculation time | | | | | 100 tidal cycle | | | |

자료를 평균값으로 계산하여 일률적으로 적용하였으며, 경계농도는 경계역의 현장관측자료를 적용하였다. 그리고 駕莫灣으로 유입되는 하천은 총 7개를 고려했으며 하천부하량은 麗水水産大學 水産科學研究所 (1991)에서 조사한 자료를 이용하였다. 그리고 보정에 적용한 계수값은 실측 자료와 기존 측정된 자료를 비교 검토하여 적용하였으며 모델 parameter는 광범위하여 대부분은 문헌 조사를 통하여 선정하였고 식물플랑크톤과 동물플랑크톤에 대한 계수들은 駕莫灣에서 기존 조사 (Lee et al., 1991; 麗水水産大學 水産科

學研究所, 1991)되어 있는 종에 대한 문헌값을 이용하였다.

모델의 적용성을 검토하기 위해 다른 때의 조건인 1990년 5월 자료로서 모델 검증을 하였다. 입력자료 (Table 3)로 초기값과 경계값은 1990년 5월에 조사한 관측자료 (麗水水産大學 水産科學研究所, 1991)를 이용하여 각각 평균농도와 경계지점의 농도를 입력하였고, 생물학적 계수값은 보정에 적용한 값을 이용하였다. 그리고 일사 조건은 기상연보 (1990)의 자료를 이용하였다.

Table 3. Input data for the ecosystem model in May 1990

| Parameters | | Input values | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|------------------------------|----------------|-------|------------------------------------|--------|--------|--------|------|
| Mesh size | | $\Delta x = \Delta y = 250m$ | | | | | | | |
| Water depth | | chart datum + MSL | | | | | | | |
| Time interval | | 900sec | | | | | | | |
| Initial condition for compartments | | | | | | | | | |
| Level | DO | COD | DIP | DIN | POC | DOC | PHYTO | ZOO | |
| | (mg/l) | | $(\mu g-at/l)$ | | (mgC/m^3) | | | | |
| 1 | 6.94 | 3.36 | 0.810 | 4.810 | 340.0 | 3270.0 | 730.59 | 35.0 | |
| 2 | 6.47 | 3.36 | 0.810 | 4.810 | 387.0 | 3590.0 | 688.30 | 35.0 | |
| 3 | 6.00 | 3.36 | 0.810 | 4.810 | 482.3 | 3450.0 | 646.02 | 35.0 | |
| Boundary condition for compartments | | | | | | | | | |
| Level | DO | COD | DIP | DIN | POC | DOC | PHYTO | ZOO | |
| | (mg/l) | | $(\mu g-at/l)$ | | (mgC/m^3) | | | | |
| A | 1 | 6.94 | 3.36 | 0.810 | 4.801 | 400.0 | 3500.0 | 685.00 | 35.0 |
| | 2 | 6.47 | 3.36 | 0.810 | 4.801 | 400.0 | 3420.0 | 685.00 | 35.0 |
| | 3 | 6.00 | 3.36 | 0.810 | 4.801 | 550.0 | 3260.0 | 685.00 | 35.0 |
| B | 1 | 7.25 | 2.00 | 0.484 | 4.000 | 438.0 | 2630.0 | 340.00 | 35.0 |
| | 2 | 7.25 | 2.00 | 0.484 | 4.000 | 318.5 | 3420.0 | 345.00 | 35.0 |
| | 3 | 7.25 | 2.00 | 0.484 | 4.000 | 526.1 | 3260.0 | 350.00 | 35.0 |
| C | 1 | 7.25 | 2.00 | 0.484 | 4.000 | 438.0 | 2630.0 | 340.00 | 35.0 |
| | 2 | 7.25 | 2.00 | 0.484 | 4.000 | 318.5 | 3420.0 | 345.00 | 35.0 |
| | 3 | 7.25 | 2.00 | 0.484 | 4.000 | 526.1 | 3260.0 | 350.00 | 35.0 |
| D | 1 | 7.25 | 2.00 | 0.484 | 4.000 | 438.0 | 2630.0 | 340.00 | 35.0 |
| | 2 | 7.25 | 2.00 | 0.484 | 4.000 | 318.5 | 3420.0 | 345.00 | 35.0 |
| | 3 | 7.25 | 2.00 | 0.484 | 4.000 | 526.1 | 3260.0 | 350.00 | 35.0 |
| Horizontal viscosity coefficient | | | | | 1.0E5(cm ² /S) | | | | |
| Horizontal diffusion coefficient | | | | | 1.0E5(cm ² /S) | | | | |
| Vertical diffusion coefficient | | | | | level 1~3: 0.1(cm ² /s) | | | | |
| Water Temp. and Salinity | | | | | 1: 19.65°C, 33.34‰ | | | | |
| | | | | | 2: 19.65°C, 33.34‰ | | | | |
| | | | | | 3: 19.65°C, 33.34‰ | | | | |
| Calculation time | | | | | 100 tidal cycle | | | | |

모델에 대한 보정과 검증에 사용된 모델 구성요소의 값은 Table 2와 Table 3에 나타내었으며 생물학적 파라메타는 Table 4에 나타내었다. 그리고 계산결과가 실측치와 어느 정도 일치하는지의 판단하기 위하여 Fig. 1에서 나타난 14개 정점에 대하여 계산치와 관측치를 나타내었다.

3. 양식장이 없는 경우의 월별 식물플랑크톤량의 예측

1994년 5월의 자료를 초기자료로 하여 실제 굴을 양식하는 기간동안 양식장이 없는 조건으로 식물플랑크톤의 양을 예측하였다. 이 때의 입력값으로 월별로 변화될 수 있는 하천부하량, 수온, 염분량과 일사조건

Table 4. The biological parameters in the ecosystem model for the Kamak Bay

| Symbol | Description | Unit | Input values | Typical values | Remark |
|------------|--|---|--------------|----------------|------------------------------|
| α_1 | maximum growth rate of phytoplankton at 0°C | day ⁻¹ | 2.10 | 0.55~3.40 | Collins and |
| β_1 | temperature coefficient | °C ⁻¹ | 0.0633 | | Wlosinski(1983) |
| α_2 | respiration rate of phytoplankton at 0°C | day ⁻¹ | 0.05 | 0.05~0.59 | 〃 |
| β_2 | temperature coefficient | °C ⁻¹ | 0.0524 | 0.044~0.0524 | |
| α_3 | maximum grazing rate of zooplankton at 0°C | day ⁻¹ | 0.180 | 0.180 | Kremer and |
| β_3 | temperature coefficient | °C ⁻¹ | 0.0693 | 0.058~0.12 | Nixon(1975) |
| α_4 | death rate of phytoplankton at 0°C | day ⁻¹ | 0.03 | 0.03 | Jorgensen(1979) |
| β_4 | temperature coefficient | °C ⁻¹ | 0.0693 | | |
| α_5 | natural death rate of zooplankton at 0°C | day ⁻¹ | 0.05 | 0.05 | Scavia et al.(1976) |
| β_5 | temperature coefficient | °C ⁻¹ | 0.0693 | | |
| α_6 | mineralization rate of POC at 0°C | day ⁻¹ | 0.075 | 0.001~0.237 | Bansal(1975) |
| β_6 | temperature coefficient | °C ⁻¹ | 0.07 | 0.041~0.070 | |
| α_7 | mineralization rate of DOC at 0°C | day ⁻¹ | 0.003 | 0.0017~0.25 | Ogura(1975) |
| β_7 | temperature coefficient | °C ⁻¹ | 0.0693 | | |
| α_8 | oxygen consumption rate of sediment at 0°C | day ⁻¹ | 1.000 | | - |
| β_8 | temperature coefficient | °C ⁻¹ | 0.0693 | | |
| K_{SP} | half saturation constant for uptake of PO ₄ ³⁻ -P at 0°C | μg-at/l | 0.536 | 0.032~5.263 | Jorgensen(1979) |
| K_{SN} | half saturation constant for uptake of DIN at 0°C | μg-at/l | 8.571 | 0.214~66.07 | Jorgensen(1979) |
| I_{opt} | optimum intensity of radiation for photosynthesis | ly/day | 195.8 | | Observed |
| I_{max} | maximum intensity of sunlight at sea surface | ly/day | 461.5 | | 〃 |
| D | length of day | day | 0.51 | | 〃 |
| k_0 | dissipation coefficient of light independent of Chla | m ⁻¹ | 0.34 | 0.34~1.7 | 〃 |
| k | constant of dissipation coefficient depending on Chla | m ⁻¹ (mgChl/m ³) ⁻¹ | 0.0179 | | - |
| γ | Ivlev index of zooplankton grazing | (mgC/m ³) ⁻¹ | 0.01 | 0.004~0.025 | Frost(1972) |
| P* | function of grazing | mgC/m ³ | 70.0 | 40.0~190.0 | Steele&Baird(1962) |
| μ | digestion efficiency of zooplankton | % | 70.0 | 39.0~98.0 | Jorgensen(1979) |
| λ | total growth efficiency of zooplankton | % | 30.0 | 4.0~50.0 | 〃 |
| κ | percentage of the quantity decomposed from POC to DOC to the quantity mineralized from POC | % | 35 | 21~35 | Ishikawa and Nishimura(1983) |
| K_{DO}^1 | half concentration of DO for mineralization of POC | mg/l | 1.000 | 0.0035~1.000 | Painter(1975) |
| K_{DO}^2 | half concentration of DO for mineralization of DOC | mg/l | 1.000 | 0.0035~1.000 | 〃 |
| W_p | settling velocity of phytoplankton | m/day | 0.100 | 0.005~0.4 | Jorgensen(1979) |
| W_{POC} | settling velocity of detritus (POC) | m/day | 0.300 | 0.0~2.0 | 〃 |
| W_z^1 | maximum upward velocity at night for diurnal perpendicular motion of zooplankton | m/day | 0 | | - |
| W_z^2 | maximum downward velocity in the daytime for diurnal perpendicular motion of zooplankton | m/day | 0 | | - |
| K_a | reaeration coefficient at sea surface | day ⁻¹ | 0.25 | 0.025~0.650 | - |

Table 5. Monthly input data used in an ecosystem model for the prediction of phytoplankton biomass in condition of no oyster culture grounds

| Year | | 1994 | | | | | | | | | | 1995 | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Level | Month | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | mean |
| Temp. (°C) | S | 19.31 | 22.92 | 26.53 | 27.81 | 24.27 | 20.73 | 17.17 | 9.43 | 6.24 | 6.02 | 10.45 | 17.35 |
| | M | 18.74 | 22.13 | 25.52 | 27.44 | 23.90 | 20.36 | 16.74 | 9.44 | 6.21 | 5.83 | 10.37 | 16.97 |
| | B | 18.00 | 20.50 | 23.00 | 27.57 | 24.03 | 20.49 | 16.63 | 9.16 | 5.61 | 5.54 | 10.00 | 16.41 |
| Sal. (‰) | S | 33.46 | 33.64 | 33.81 | 31.81 | 32.09 | 32.38 | 32.66 | 33.27 | 33.61 | 33.74 | 33.76 | 33.11 |
| | M | 33.40 | 33.60 | 33.79 | 31.87 | 32.15 | 32.44 | 32.64 | 33.26 | 33.68 | 33.81 | 33.86 | 33.14 |
| | B | 33.25 | 33.52 | 33.78 | 31.74 | 32.02 | 32.31 | 32.66 | 33.30 | 33.64 | 33.85 | 33.97 | 33.09 |
| I_{max} (ly/d) | | 461.5 | 414.3 | 528.1 | 463.6 | 475.3 | 351.3 | 298.3 | 215.7 | 275.1 | 353.2 | 389.7 | 359.2 |
| I_{opt} (ly/d) | | 195.8 | 175.8 | 224.1 | 196.7 | 201.7 | 149.1 | 126.6 | 91.5 | 116.7 | 149.9 | 165.4 | 163.0 |
| DL | | 0.51 | 0.40 | 0.67 | 0.63 | 0.73 | 0.64 | 0.68 | 0.64 | 0.75 | 0.72 | 0.61 | 0.63 |

을 입력하였고, 초기값, 경계값 그리고 생물학적 계수 값은 그대로 사용하여 식물플랑크톤량을 월별로 예측하였다. 駕莫灣에서 굴양식은 여수어촌지도소에서 조사한 바에 의하면 5월말부터 6월초에 양식굴을 수하하여 양식을 시작하고 채취는 11월부터 시작하여 3월과 4월중에 종료되기 때문에 실제 굴이 식물플랑크톤을 섭취하는 양식기간을 1994년 6월부터 1995년 3월까지 총 10개월로 가정하였다. 월별 식물플랑크톤의 양을 시뮬레이션할 때 입력자료로서 초기치와 경계치는 Table 2 그리고 생물학적 파라메타의 값은 Table 4의 계수값을 그대로 적용하였다. 또한 월별로 변화하는 수온, 염분량은 1994년 5월부터 1996년 3월까지 조사한 관측치를 이용하였고, 일사량과 일조시간은 기상월보를 이용하였으며 이들에 대한 월별 자료는 Table 5에 나타내었다.

4. 식물플랑크톤에 대한 기초생산력 산정

식물플랑크톤의 현존량을 계산해서 굴양식을 시작하지 않을 때인 5월의 식물플랑크톤 현존량을 현장 측정값으로 생태계 모델을 이용하여 보정 및 검증한 후 검증된 생태계 모델에 적용된 생물학적 계수값을 이용하여 기초생산력을 구하였다. 기초생산력은 각 월별로 구하였고, 기초생산력 (mgC/m³/d)을 구하는 수식은 다음과 같으며 식물플랑크톤량, 동물플랑크톤량, DIP 그리고 DIN량은 월별로 예측된 평균농도를 이용하였다.

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\{1 - \mu_3(P)\} \cdot V_1(T) \cdot \mu_1(DIP, DIN) \cdot \mu_2(I) \cdot P}{\text{Growth by Photosynthesis}} - \frac{V_2(T) \cdot P}{\text{Respiration}} - \frac{V_3(T) \cdot Z}{\text{Assimilation of zooplankton}} - \frac{V_4(T) \cdot P}{\text{Mortality}} - \frac{W_p \frac{dP}{dz}}{\text{Sinking}}$$

- 여기서 P: 식물플랑크톤 현존량 (mgC/m³)
- Z: 동물플랑크톤 현존량 (mgC/m³)
- $\mu_3(P)$: 세포외 분열속도
- $V_1(T)$: 성장속도
- $\mu_1(DIP, DIN)$: 영양염에 의한 비성장속도
- $\mu_2(I)$: 광합성속도 (mgC/mg Chl. α /day)
- $V_2(T)$: 0°C에 있어서 호흡속도 (day⁻¹)
- $V_3(T)$: 동물플랑크톤의 섭식속도 (day⁻¹)
- $V_4(T)$: 0°C에 있어서 고사속도 (day⁻¹)
- $W_p \frac{dP}{dz}$: 식물플랑크톤의 침강 플럭스

結果 및 考察

1. 수질특성

駕莫灣의 수질특성을 파악하기 위해 1994년 5월부터 1995년 3월까지 14개 지점에서 표층수, 중층수 그리고 저층수를 채취하여 분석하였고, 월별 평균수질

Table 6. Values of water quality and eutrophication index in Kamak Bay

| Parameter | Temp. °C | Sal. ‰ | DO | | COD | PO ₄ ⁻³ -P | | DIN | INDEX |
|-----------|-------------|-----------|--------|------|------|----------------------------------|------|-----|-------|
| | | | (mg/l) | | | (µg-at/l) | | | |
| May | 18.68 | 33.37 | 8.23 | 2.24 | 0.57 | 6.64 | 2.47 | | |
| July | 25.02 | 33.79 | 6.73 | 2.57 | 0.43 | 6.51 | 2.10 | | |
| August | 27.61 | 31.81 | - | 1.60 | 0.62 | 1.31 | 0.38 | | |
| November | 17.51 | 32.65 | 8.10 | 1.74 | 0.74 | 1.79 | 0.56 | | |
| December | 9.34 | 32.28 | 9.17 | 1.51 | 0.48 | 3.54 | 0.75 | | |
| January | -6.02 | 33.64 | 12.27 | 2.03 | 0.37 | 2.95 | 0.65 | | |
| February | 5.80 | 33.80 | 10.53 | 1.98 | 0.46 | 0.94 | 0.25 | | |
| March | 10.27 | 33.86 | 9.84 | 2.69 | 0.26 | 1.75 | 0.26 | | |

은 각각 Table 6에 나타내었다.

전 조사기간에 걸쳐 월별 평균 수온분포를 보면 5.80~27.61°C를 나타내었으며 2월이 가장 낮은 분포를 보였고 8월이 가장 높은 수온분포를 보였다.

해역에서 유기오염의 일반 지표인 COD의 농도분포를 보면, 전 조사기간에 걸쳐 평균농도가 1.51~2.69 mg/l의 범위를 나타내었고 만 내 전체 평균값은 2.05 mg/l로 전 해역에 걸쳐 III등급해역에 속하였다. 월별로는 7월과 3월이 각각 2.57 mg/l과 2.69 mg/l로 높았고 12월이 1.53 mg/l로 가장 낮은 값을 보였다.

생물의 서식, 양식 및 산란에 적합한 환경의 지표로 사용되는 용존산소의 농도분포는 전 조사 기간에 걸쳐 평균농도가 6.73~12.27 mg/l의 범위를 나타내었다. 월별 농도 변화를 보면 7월 이후 농도가 증가하는 것을 알 수 있고, 1월이 평균 12.27 mg/l로 가장 높은 값을 나타내었으며 7월이 6.73 mg/l로 가장 낮은 값을 나타내었다. 전 조사기간을 통해 생물에 악 영향을 일으키는 한계농도인 4.3 mg/l (Yanaki, 1989)보다는 높은 값을 보여 마산만이나 진해만의 경우처럼 빈산소 수괴는 형성되지 않았다.

해수 중에서 식물플랑크톤의 양을 나타내는 Chl.a의 분포를 보면, 전 조사기간에 걸쳐, 표층에서 1.00~23.28 µg/l, 중층에서 1.27~29.97 µg/l 그리고 저층에서 1.23~23.08 µg/l의 범위를 나타내었다. 월별 농도변화는 7월이 각 층별로 16.53 µg/l, 17.11 µg/l 그리고 17.83 µg/l로 매우 높은 값을 보였는데 이 값은 식물플랑크톤이 성장하기 좋은 일사량과 풍부한 영양염으로 인하여 대량 번식한 것으로 사료되며, 12월이 각 층별로 2.95 µg/l, 2.59 µg/l 그리고 2.86 µg/l으로 가장 낮았는데

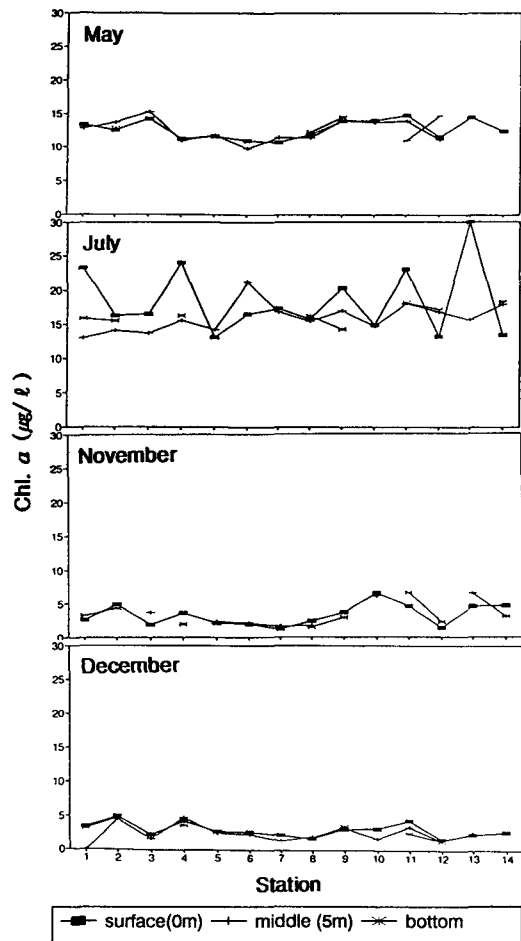


Fig. 3. Variation of Chl. a concentration at each station in Kamak Bay.

이 값은 식물플랑크톤이 성장하는데 나쁜 환경요인과

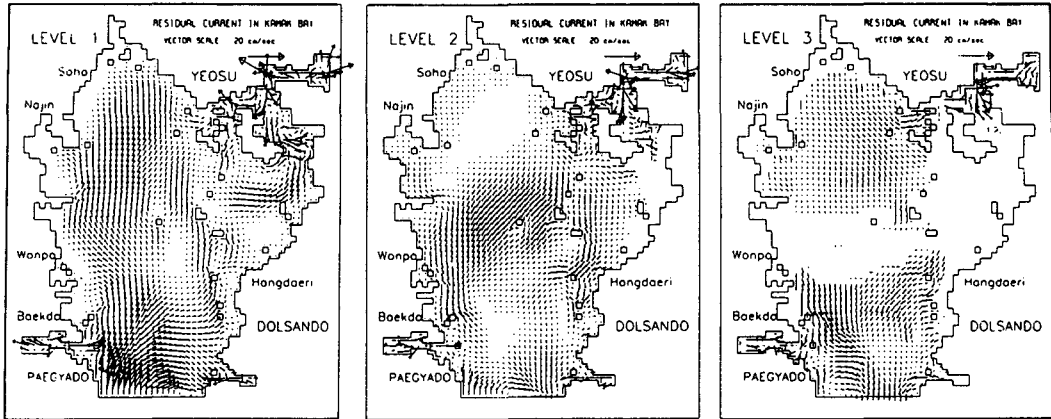


Fig. 4. Computed residual current at 1st, 2nd and 3rd level.

더불어 양식생물이 식물플랑크톤을 섭취하기 때문으로 사료된다. 지점별로 보면 만 입구인 St. 7, 8이 대체적으로 낮은 값을 보이는 것을 알 수 있다. 지점별 농도분포는 Fig. 3에 나타내었다.

해역의 부영양화에 관계되며 영양염중 암모니아 질소, 아질산 질소 그리고 질산 질소의 합계량으로 나타내는 총무기질소 분포를 보면, 전 조사기간에 걸쳐 0.94~15.14 $\mu\text{g-at/l}$ 의 범위를 나타내었고 인산 염의 농도분포를 보면, 전 조사기간에 걸쳐 0.26~0.74 $\mu\text{g-at/l}$ 이었으며 월별 농도 변화를 보면 총무기질소와는 반대의 경향을 보이고 11월에 최대값, 3월에 최소값이었다.

駕莫灣의 월별 수질결과에서 계산한 부영양도 지수 값은 5월과 7월에 높은 영양염의 농도로 인해 2.47과 2.10으로 1을 초과하여 적조가 발생할 가능성이 높았으나 그 외 조사기간에는 1 이하의 낮은 값을 보였다.

2. 생태-유체역학 모델 시뮬레이션

2.1 해수유동 시뮬레이션

생태계 시뮬레이션을 위해 우선 3차원 해수유동 모델의 유동장을 시뮬레이션 하였다. 총 계산시간은 계산값의 안정성을 고려하여 수치가 안정이 되는 20조석 주기를 택하였으며 마지막 1조석에 대하여 매 20분 간격으로 조석류를 저장하였고, 마지막 한 조석에서 잔차류를 계산하여 생태계 모델의 입력자료로 이용하였다. 駕莫灣에서 시뮬레이션된 잔차류의 계산결과는 Fig. 4에 나타내었다.

駕莫灣에서 잔차류의 패턴을 보면 해수가 출입하는 북쪽 협수도 (C1)에서는 남향류가 강한 것을 알 수 있으며, 이 결과는 Lee (1993)가 보고한 결과와 유사하며 駕莫灣의 해수교환은 북쪽 협수도에서 외해수가 유입하는 것을 알 수 있고, 유속 크기는 약 15 cm/sec로 Lee (1993)가 보고한 값인 18~36 cm/sec보다는 작은 값을 나타냈다. 남쪽 만구부에서는 시뮬레이션 결과, 동향류가 우세하며, 시계방향의 환류가 강하게 나타나고 송도 앞 부근에서는 남향류가 나타나는데 이 결과는 송도 앞부근에서 남향류가 우세하다고 조사한 Lee (1993)의 결과와 유사하였다. 만 내부의 잔차류를 보면 나진포 앞에 반시계방향의 환류가 형성되고, 대경도와 소경도 아래 부근에 시계방향의 환류가 형성되는 것을 알 수 있는데 이 결과는 Lee (1992)가 駕莫灣에 수치모형 실험을 하여 계산된 잔차류 결과와 유사하게 나타났다. 그리고 저층으로 갈수록 유속이 약해지는 것을 알 수 있었다.

해수유동 시뮬레이션의 타당성을 검토하기 위해 대표지점에서 관측치와 계산치를 조류타원도를 이용하여 검토하였다. 비교점은 Fig. 1에 나타난 C1, C2와 C3의 3개 지점을 이용하였고 관측치와 계산치의 비교는 Fig. 5에 나타내었다. 관측치는 동계와 하계인 1990년 1월과 6월 대조기에 25시간 연속 측류한 자료를 이용하여 최소자승법으로 조화 분해하여 얻은 조류타원도와 비교하였다. 우선 관측치의 조류타원도를 보면 駕莫灣은 반일주조류가 탁월하게 나타나는 것을 알 수 있다. 지점별 관측치와 계산치의 유형·유속을 보면

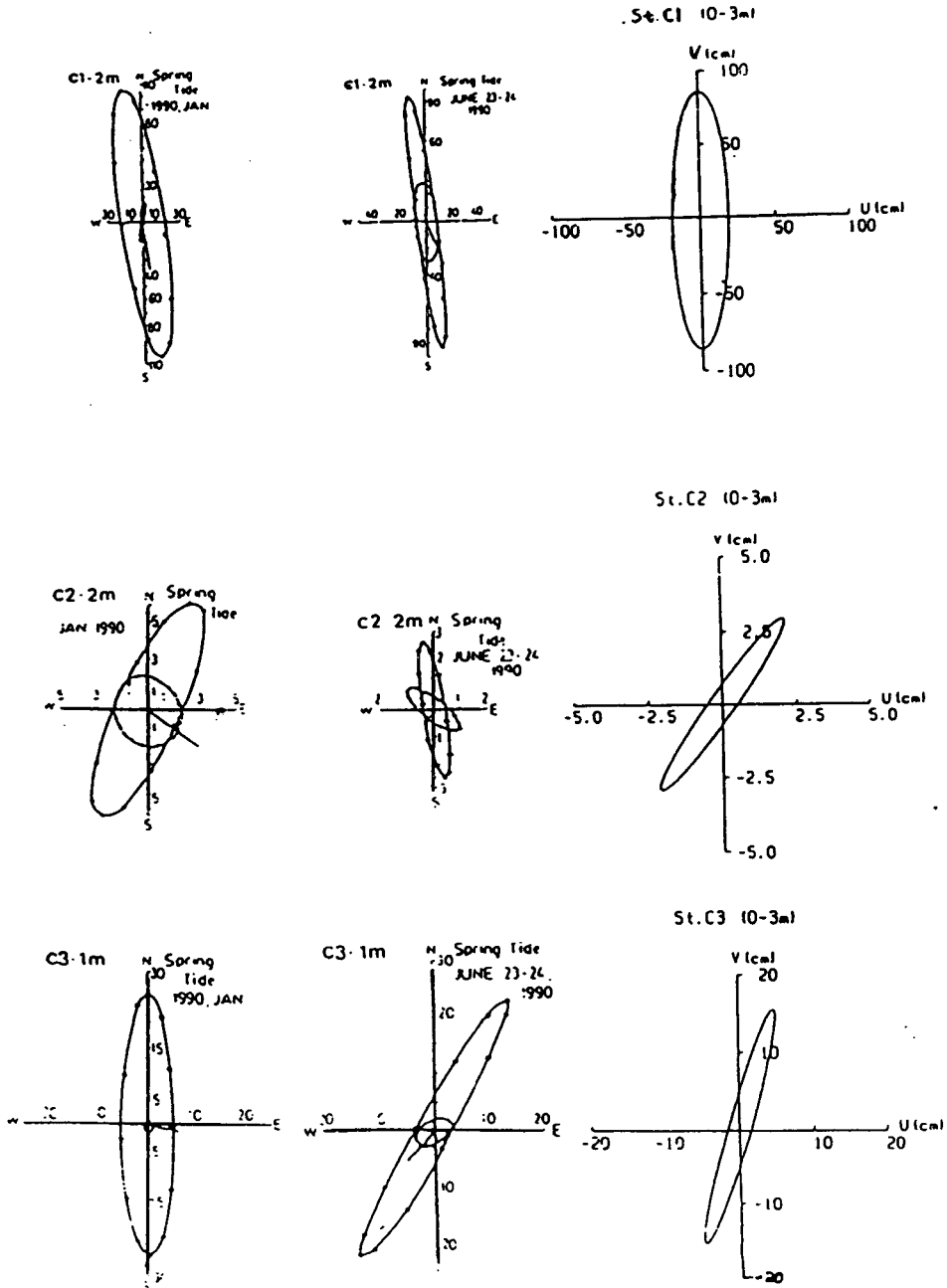


Fig. 5. Comparison of tidal current ellipses Between computed and observed results.

북쪽 협수도의 여수항 (C1)에서의 유향은 모두 남북 방향으로 크게 나타나는 것을 알 수 있으며 유속은 계산치가 작게 나타났고, 북서내만역의 소호 (C2)에서는 동계에 관측된 유향과 유사했으며 유속은 작게 나타나고, 평사부근 (C3)의 유향은 하계의 관측치와 유

사하게 시뮬레이션 되는 것으로 보아 본 결과는 駕莫 灣의 유동을 유사하게 재현하고 있음을 알 수 있다.

2.2 생태계 모델 시뮬레이션

생태계 모델을 이용하여 굴양식을 하지 않는 1994년 5월의 식물플랑크톤량을 각종 계수값을 보정하여

Table 7. Comparison of computed phytoplankton biomass with the observed results at surface (S), middle (M) and bottom (B) levels in Kamak Bay, in May 1994

| Level | St. | Computed(A) (mgC/m ³) | Observed(B) (mgC/m ³) | Error(B-A) (mgC/m ³) | R.E. B-A /B(%) |
|-------|------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 1(S) | 1 | 832.94 | 843.05 | 10.20 | 1.20 |
| | 2 | 897.36 | 793.24 | -104.12 | 13.13 |
| | 3 | 852.08 | 895.89 | 43.81 | 4.89 |
| | 4 | 1098.50 | 718.53 | -379.97 | 52.88 |
| | 5 | 813.54 | 741.61 | -71.93 | 9.70 |
| | 6 | 890.32 | 699.70 | -190.62 | 27.24 |
| | 7 | 840.87 | 683.91 | -156.96 | 22.95 |
| | 8 | 745.37 | 756.80 | 11.43 | 1.51 |
| | 9 | 733.50 | 881.32 | 147.82 | 16.77 |
| | 10 | 861.66 | 879.49 | 17.83 | 2.03 |
| | 11 | 926.72 | 931.12 | 4.40 | 0.47 |
| | 12 | 893.97 | 734.93 | -159.04 | 21.64 |
| | 13 | 828.77 | 912.90 | 84.13 | 9.22 |
| | 14 | 861.34 | 785.35 | -75.99 | 9.68 |
| | Mean | 862.64 | 804.13 | -58.51 | 13.81 |
| 2(M) | 1 | 804.73 | 810.25 | 5.52 | 0.68 |
| | 2 | 844.78 | 854.31 | 19.53 | 2.26 |
| | 3 | 671.54 | 790.21 | 118.67 | 15.02 |
| | 4 | 818.02 | 698.49 | -119.53 | 17.11 |
| | 5 | 690.65 | 750.12 | 59.47 | 7.93 |
| | 6 | 681.09 | 626.21 | -54.88 | 8.76 |
| | 7 | 709.60 | 728.86 | 19.26 | 2.64 |
| | 8 | 699.43 | 727.04 | 27.61 | 3.80 |
| | 9 | 590.02 | 879.49 | 289.47 | 32.91 |
| | 10 | 779.72 | 864.31 | 84.59 | 9.79 |
| | 11 | 793.16 | 877.67 | 84.51 | 9.63 |
| | 12 | 703.53 | 711.85 | 8.32 | 1.17 |
| | Mean | 732.19 | 777.40 | 45.21 | 9.31 |
| 3(B) | 2 | 792.98 | 809.64 | 16.66 | 2.06 |
| | 3 | 615.75 | 965.14 | 349.39 | 36.20 |
| | 4 | 739.82 | 713.07 | -26.75 | 3.75 |
| | 8 | 674.37 | 778.66 | 104.29 | 13.39 |
| | 9 | 567.39 | 912.29 | 344.90 | 37.81 |
| | 11 | 711.57 | 702.74 | -8.83 | 1.26 |
| | 12 | 646.59 | 929.30 | 282.71 | 30.42 |
| | Mean | 678.35 | 930.12 | 151.77 | 17.84 |

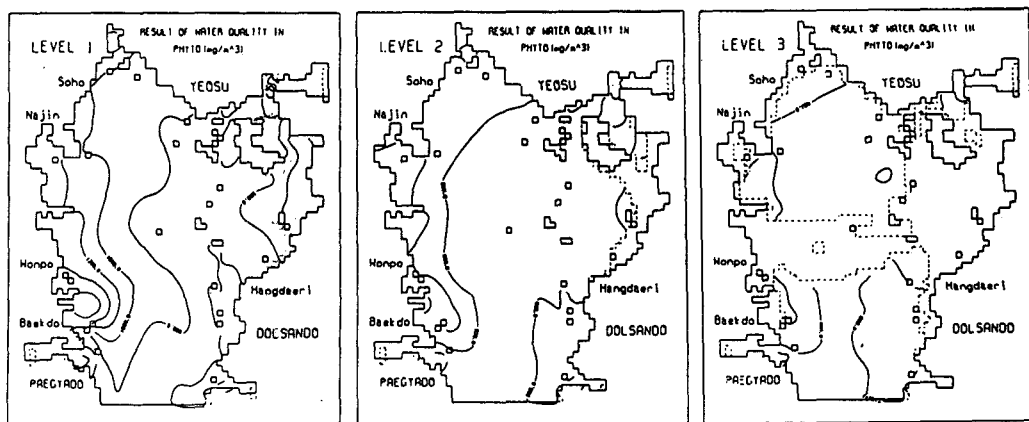


Fig. 6. Distribution of computed phytoplankton biomass in Kamak Bay, May, 1994.

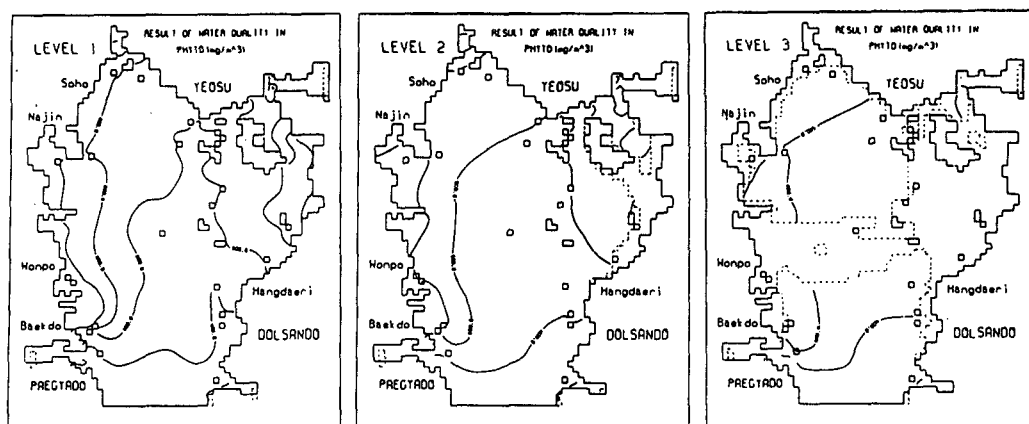


Fig. 7. Distribution of computed phytoplankton biomass in Kamak Bay, May, 1990.

시뮬레이션한 결과를 Table 7에 계산치와 관측치의 지점별 상대오차를 이용하여 비교하였고, 각 층별 식물플랑크톤의 농도분포는 Fig. 6에 각 층별로 나타내었다. 각 층별로 상대오차를 이용하여 계산치와 관측치를 비교한 결과로 표층, 중층 그리고 저층이 각각 13.81%, 9.31% 그리고 17.84%의 상대오차를 보였고, 지점별로 보면 표층에서 St. 4가 계산치가 1098.5 mgC/m³, 관측치가 718.53 mgC/m³으로 계산치가 높게 나타내어 52.88%의 높은 상대오차를 보였으며, St. 9에서 중층과 저층에서의 상대오차 32.91%와 37.81%를 보였으나 이들 지점을 제외한 나머지 지점에서는 각 층별로 각각 27.24%, 17.11% 그리고 36.20% 이하의 비교적 낮은 상대오차를 보였다. 각 층별 농도분포를 보면 표층에서 700~1,600 mgC/m³, 중층에서

600 mgC/m³~1,200 mgC/m³ 그리고 저층에서 560 mgC/m³~1,000 mgC/m³의 범위를 보였고, 표층과 중층에서 많은 하천이 유입이 되는 만내부와 연등천의 오염 부하가 미치는 북쪽의 협수도에서 높은 식물플랑크톤의 농도를 보이는 것을 알 수 있으며 해수유동 영향으로 인해 원포 앞 부근에서 높은 식물플랑크톤의 농도분포를 보이는 것을 알 수 있었다.

모델의 적용성을 검토하기 위해 다른 때의 조건인 1990년 5월 자료로서 모델 검증용 하였으며 계산결과는 Table 8에 계산치와 관측치의 지점별 상대오차를 이용하여 비교하였고, 각 층별 식물플랑크톤의 농도분포는 Fig. 7에 각 층별로 나타내었다. 각 층의 상대오차를 보면 20.91%, 20.55% 그리고 30.16%의 상대오차를 보였고, 층별 평균 농도를 보면 계산치가 관

Table 8. Comparison of computed phytoplankton biomass with the observed results at surface (S), middle (M) and bottom (B) levels in Kamak Bay, in May 1990

| Level | St. | Computed(A) (mgC/m ³) | Observed(B) (mgC/m ³) | Error(B-A) (mgC/m ³) | R.E. B-A /B(%) |
|-------|------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 1(S) | 1 | 669.85 | 821.79 | 151.94 | 18.49 |
| | 2 | 716.56 | 1236.04 | 519.48 | 42.03 |
| | 3 | 653.67 | 691.81 | 38.14 | 5.51 |
| | 4 | 861.06 | 1028.91 | 167.85 | 16.31 |
| | 5 | 604.87 | 832.12 | 227.25 | 27.31 |
| | 6 | 624.96 | 821.79 | 196.83 | 23.95 |
| | 7 | 499.76 | 707.60 | 207.84 | 29.37 |
| | 8 | 342.06 | 338.30 | - 3.76 | 1.11 |
| | 9 | 460.29 | 369.88 | - 90.41 | 24.44 |
| | 10 | 779.95 | 676.01 | - 103.94 | 15.37 |
| | 11 | 725.00 | 815.72 | 90.72 | 11.12 |
| | 13 | 697.98 | 472.54 | - 225.44 | 47.71 |
| | 14 | 747.13 | 685.13 | - 62.00 | 9.05 |
| | | Mean | 644.86 | 730.59 | 85.73 |
| 2(M) | 1 | 650.59 | 741.31 | 90.72 | 12.24 |
| | 2 | 687.31 | 1093.61 | 406.31 | 37.15 |
| | 3 | 538.07 | 722.79 | 184.72 | 25.56 |
| | 4 | 663.13 | 1038.94 | 375.81 | 36.17 |
| | 5 | 549.68 | 811.17 | 261.50 | 32.24 |
| | 6 | 540.34 | 759.23 | 218.90 | 28.83 |
| | 7 | 490.81 | 619.23 | 128.42 | 20.74 |
| | 8 | 379.31 | 343.16 | - 36.15 | 10.53 |
| | 9 | 413.55 | 361.68 | - 51.87 | 14.34 |
| | 10 | 690.14 | 678.14 | - 12.00 | 1.77 |
| | 11 | 642.17 | 602.83 | - 39.34 | 6.53 |
| | Mean | 567.73 | 706.55 | 138.82 | 20.55 |
| 3(B) | 2 | 645.60 | 951.17 | 305.57 | 32.13 |
| | 3 | 491.43 | 753.76 | 262.33 | 34.80 |
| | 4 | 596.15 | 1048.96 | 452.81 | 43.17 |
| | 8 | 375.25 | 348.02 | - 27.23 | 7.82 |
| | 9 | 408.74 | 353.48 | - 55.26 | 15.63 |
| | 11 | 574.74 | 389.93 | - 184.81 | 47.39 |
| | Mean | 441.70 | 640.89 | 125.57 | 30.16 |

측치보다 낮게 나타났고, 각 지점별 상대오차를 보면 표층의 St. 13에서 47.71%, 중층의 St. 2에서의 37.15% 그리고 St. 4에서 43.17%를 보였으나 이들 지점을 제외한 나머지 지점에서는 비교적 낮은 상대오차를

보였다. 농도 분포를 보면 각 층별로는 표층에서 400~1,000 mgC/m³, 중층에서 400 mgC/m³~1,000 mgC/m³ 그리고 저층에서 375 mgC/m³~800 mgC/m³의 범위를 보였으며, 만 전체의 농도분포는 1994년 5월의

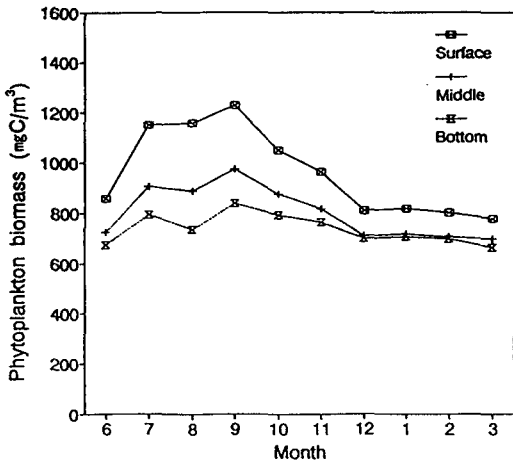


Fig. 8. Monthly phytoplankton biomass calculated on the assumption that there were no oyster culturing facilities.

식물플랑크톤의 농도 분포를 시뮬레이션한 것과 거의 유사한 패턴을 보였다.

이상의 결과를 보면 식물플랑크톤량을 시뮬레이션 하기 위해 적용한 생태계 모델은 駕莫麟의 식물플랑크톤의 분포를 매우 유사하게 재현하고 있음을 알 수 있었다.

3. 양식장이 없는 경우의 월별 식물플랑크톤량

양식장이 없는 경우의 월별 식물플랑크톤을 예측한 결과를 Fig. 8와 Table 9에 나타내었다. 월별 식물플랑크톤량의 변화를 보면 6월부터 증가하기 시작하여 9월이 평균 1011.14 mgC/m³로 가장 높은 식물플랑크톤량을 보이고 9월부터 12월까지 급격히 감소하다가 그 이후 3월까지 서서히 감소하여 3월이 평균 709.45

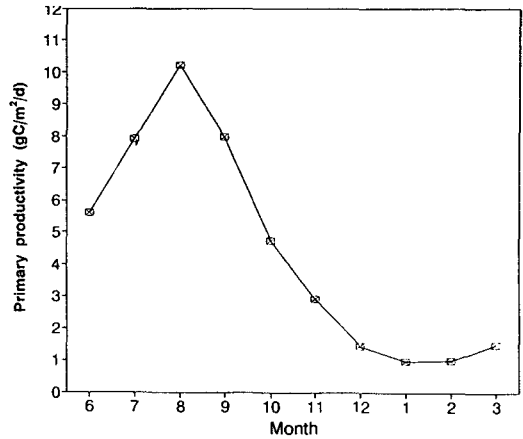


Fig. 9. Monthly primary productivity calculated on the assumption that there were no oyster culturing facilities.

mgC/m³로 가장 낮은 식물플랑크톤량을 보이는 것을 알 수 있으며, 층별로 보면 전체적으로 표층이 높고 저층이 낮은 것을 알 수 있으나 12월부터 2월까지 중층과 저층의 식물플랑크톤의 양이 큰 차이가 없는 것을 알 수 있었다.

4. 식물플랑크톤에 대한 기초생산력 산정

양식장이 없는 조건에서 월별 식물플랑크톤에 대해 계산한 기초생산력은 Fig. 9와 Table 10에 나타내었다. 양식기간 동안 기초생산력의 범위는 0.99~10.20 gC/m²/d로 평균 4.43gC/m²/d이었다. 월별 기초생산력의 변동을 보면 6월부터 급격하게 증가하기 시작하여 8월에 10.20gC/m²/d로 가장 높은 생산력을 보이며 8월 이후 12월까지 급격히 감소하다가 1월에는 0.99gC/m²/d로 가장 낮은 생산력을 보이며 그 이후 3월까지 서

Table 9. Monthly phytoplankton biomass calculated on the assumption that there were no oyster culturing facilities

| Year | Month | (unit: mgC/m ³) | | | | | | | | | |
|---------|-------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1994 | | | | | 1995 | | | | |
| Level | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 |
| Surface | | 853.97 | 1147.42 | 1157.26 | 1226.77 | 1047.19 | 962.63 | 807.06 | 813.90 | 798.73 | 774.15 |
| Middle | | 722.01 | 902.39 | 884.48 | 971.03 | 872.27 | 814.97 | 709.05 | 713.74 | 703.27 | 693.96 |
| Bottom | | 670.34 | 789.89 | 731.64 | 835.63 | 791.64 | 760.29 | 696.42 | 702.67 | 694.87 | 660.23 |
| Mean | | 748.77 | 946.57 | 924.46 | 1011.14 | 903.70 | 845.96 | 737.51 | 743.43 | 732.29 | 709.45 |

Table 10. Primary productivity calculated on the assumption that there were no oyster culturing facilities

| Item | Year Month | 1994 | | | | | | 1995 | | | |
|---|---------------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 |
| Primary productivity ¹⁾ (mgC/m ³ /d) | | 748.76 | 1056.63 | 1363.18 | 1065.36 | 634.11 | 390.19 | 194.16 | 131.99 | 134.19 | 200.01 |
| Primary productivity ²⁾ (mgC/m ² /d) | | 5.60 | 7.91 | 10.20 | 7.97 | 4.75 | 2.92 | 1.45 | 0.99 | 1.09 | 1.50 |

¹⁾ Primary productivity(mgC/m³/d):

$$\left(\frac{dp}{dt}\right) = \{1 - \mu_3(P)\} \cdot V_1(T) \cdot \mu_1(DIP, DIN) \cdot \mu_2(I) \cdot P - V_2(T) \cdot P - V_3(T) \cdot Z - V_4(T) \cdot P - W_p \frac{\partial P}{\partial z}$$

²⁾ Primary productivity(gC/m²/d) = Primary productivity¹⁾(mgC/m³/d) × 7.5³⁾(m)

³⁾ Mean depth(m)

서히 증가하는 경향을 알 수 있었다. 이러한 경향은 1989년 12월부터 1990년 10월까지 駕莫灣에서 10개의 지점에 대해 麗水水産大學 水産科學研究所 (1991)가 월별로 기초생산력을 조사한 것과 비교해 보면 거의 같은 패턴을 보이는 것을 알 수 있었다. 그리고 8월에 10.20gC/m²/d의 높은 생산력을 보였는데 이 값은 駕莫灣에서 1990년 8월에 St. 3번에서 측정한 10.50gC/m²/d 및 Yamaguchi and Shibata (1979)가 東京灣에서 조사한 1972년 8월과 9월에 규조 *Skeletonema costatum*에 의해 적조가 발생했을 때에 나타난 최대 11.6gC/m²/d보다 낮은 값이었으며, Saijo et al. (1978)이 식물플랑크톤에 의해 적조가 발생했을 때는 7~13gC/m²/d까지 증가한다고 보고한 값과는 비슷한 값이었다.

要 約

駕莫灣의 식물플랑크톤에 대한 기초생산력을 산정하기 위해 해수유동모델과 생태계 모델을 이용하였다. 이를 위해 양식기간동안 양식장이 없는 조건으로 식물플랑크톤에 대한 기초생산력을 산정하였으며 그 결과는 다음과 같다.

양식장이 없는 경우로 월별 식물플랑크톤을 예측한 결과로 월별 식물플랑크톤량의 변화를 보면 6월부터 증가하기 시작하여 9월이 가장 높은 식물플랑크톤량

을 보이고 9월부터 12월까지 급격히 감소하다가 그 이후 3월까지 서서히 감소하였다.

양식장이 없는 경우로 월별 식물플랑크톤에 대해 계산한 기초생산력을 보면 양식기간 동안 범위는 0.99~10.20gC/m²/d로 평균 4.43gC/m²/d이었다. 월별 변동을 보면 6월부터 급격하게 증가하기 시작하여 8월에 가장 높은 생산력을 보이고 8월 이후 12월까지 급격히 감소하다가 1월 이후에 3월까지 서서히 증가하는 경향을 보였다.

참 고 문 헌

- Bansal, M.K. 1975. Deoxygenation in natural streams. *Water Res. Bull.*, 11, 491~504.
- Collins, C.D. and J.H. Wlosinski. 1983. Coefficients for Use in the U.S. Army Corps of Engineers Reservoir Model, CE-QUAL-R1. U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Jorgensen, S.E. 1979. *Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters*. International Society for Ecological Modeling.
- Lee, B.D., H.K. Kang and Y.J. Kang. 1991. Primary production in the oyster farming bay. *J. Kor. Fish. Soc.*, 24(1), 39~51 (in Korean).

- Lee, G.H. 1993. Fisheries oceanographical studies on the production of the farming oyster in Kamak Bay. Ph.D. Thesis, Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan, pp. 1~180 (in Korean).
- Lee, S.N. 1992. Numerical model of pollutant dispersion due to tidal flow. Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Chonnam National University, pp. 1~100.
- Ogura, N. 1975. Further studies on decomposition of dissolved organic matter in coastal seawater. *Mar. Biol.*, 31, 101~111.
- Okaichi, T. 1985. The cause of red-tide in neritic waters. *Japan Fish. Res. Conv. Ass.*, 58~75.
- Painter, H.A. 1975. Microbial transformations of inorganic nitrogen. In: Conference on Nitrogen as a Water Pollution Vol. 1. Session A1 Copenhagen.
- Saijo, Y., A. Yagi and O. Mitamura. 1978. Chemical environment and primary production in Ise and Mikawa Bays. *Bull. Coastal Oceanogr.*, 16(1), 57~64.
- Scavia, D., B.J. Eadie and A. Robertson. 1976. An ecological model for Lake Ontario-model formulation, calibration and Preliminary evaluation. National Oceanic and atmospheric administration, Boulder, Colorado. NOAA Tech. Rept. ERL 371-GLERL 12.
- Steele, J.H. and I.E. Baird. 1962. Farther relations between primary production, chlorophyll and particulate carbon. *Limnol. Oceanogr.*, 7, 42~47.
- Yamaguchi, Y. and Y. Shibata. 1979. Recent status of primary production in Tokyo Bay. *Bull. Coastal Oceanogr.*, 16(2), 106~111.
- Yanagi, T. 1989. A summary of Symposium on Oxygen-Deficient Water Mass. *Bull. Coastal Oceanogr.*, 26(2), 141~145.
- 麗水水産大學 水産科學研究所. 1991. 駕莫灣 環境汚染 實態 및 保全對策 調査報告書, pp. 1~922.
- 日本通商産業省 資源環境技術總合研究所. 1986. “浜名湖・磐田地區産業公害總合事前調査, -水質 豫測シミュレーション報告書-”

1996년 3월 15일 접수

1996년 5월 4일 수리