

## 점원 오염부하 제어에 의한 광양만의 수질관리

이대인<sup>(1)</sup>, 박청길<sup>(1)</sup>, 조현서<sup>(2)</sup>

### Water Quality Management of Kwangyang Bay by Point Pollution Source Control

by

Dae-In Lee<sup>(1)</sup>, Chung-Kil Park<sup>(1)</sup> and Hyeon-Seo Cho<sup>(2)</sup>

#### 요 약

광양만의 수질현황을 파악하고 환경변동에 따른 수질을 예측해서 부영양화를 억제하고 수질 환경회복을 위한 적절한 수질관리대책을 제시하기 위해서 생태·유체역학 수치모델을 이용하였다. 광양만에 대한 점원 오염부하량의 약 90%가 폐수배출부하량이 차지하는 것으로 나타났다으며, 부영양화 기준인 Chl. *a* 10 $\mu$ g/L이하와 해역수질환경기준 II등급인 COD 2mg/L이하를 지속적으로 유지하기 위해서는 현재의 점원 오염부하량의 약 35%이상 저감하는 대책이 요구되는 것으로 예측되었다.

#### Abstract

The eco-hydrodynamic model was used to simulation water quality of Kwangyang Bay according to the environmental variation for appropriate water quality management. The mean concentration of COD was 3.3mg/L, this exceeded the third class of water quality criteria. Waste water discharging loads showed approximately 90% of total pollutant loads. For satisfaction to below 10 $\mu$ g/L of Chl. *a* and 2mg/L of COD, above 35% reduction of present pollutant loads of point sources are needed.

Keywords : Eco-hydrodynamic Model, Water Quality Management, COD, Pollutant Load, Point Source

#### 1. 서 론

광양만은 묘도를 중심으로 광양제철소, 섬진강 하구의 하동, 여수반도와 남해로 둘러 쌓인 반 폐쇄적 내만으로 1970년대 말에 남쪽 해안선을 따라 여천공단이 조성되었고, 1980년대에 섬진강

하구역과 북쪽 해안에 광양제철소가 조성되었다. 뿐만 아니라 울촌공단, 컨테이너부두, 화력발전소 건설 등 크고 작은 매립공사와 공단이 조성됨으로써 많은 지형변화가 일어나고 있는 실정이다(여수대학교 수산과학연구소[1997], 여수지방 해운항만청[1997], 한국과학기술연구원[1996]).

(1) 정회원, 부경대학교 환경시스템공학부  
(2) 정회원, 여수대학교 해양시스템학부

그러나, 이러한 산업활동의 증가와 개발로 인한 오염물질의 유입으로 광양만을 포함한 섬진강 하구해역은 부영양화가 진행되었고, 또한 적조현상이 유발되고 있는 등 수질과 저질 생태계가 변화되고 있다(심 등[1994], 조 등[1994], 강 등[1996], 국립수산진흥원[1997], 조 등[2000]). 이러한 상황에서 본 연구에서는 섬진강 하구 및 광양만권 개발에 따른 연안해역의 환경변동에 따른 수질을 예측해서 연안해역의 부영양화를 저감하고 수질기준목표를 달성하기 위한 적절한 수질관리대책을 제시하기 위해서 수치모델링을 실시하였다. 수치모델은 연안해역에서 장래의 수질예측 뿐만 아니라 수질회복을 위한 수질관리대책을 제시할 수 있어서 많은 연구자들에 의해 유용하게 적용되어져 왔다(中田喜三郎 等[1985], Cerco[1995], 武岡英隆 等[1997], 최[1993], 김[1994], 김[1995], 김[1999]).

따라서 본 연구에서는 3차원 해수유동모델을 이용해서 대상해역의 조석류 및 잔차류를 파악해서 물질운송의 유동장을 알아본 후 생지화학적인 조건을 고려한 물질순환모델을 이용하여 육상유입 오염부하량의 변동에 따른 식물플랑크톤과 화학적 산소요구량을 시뮬레이션하여 적절한 수질관리방안을 강구하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 대상해역 및 현황조사

본 연구를 위한 대상해역은 Fig. 1과 같이 광양만과 섬진강 하구해역을 포함한 광역해역이다.

수질현황과 생태계모델의 보정을 위해서 정점(1~8)과 해수유동 검증을 위한 정점(A와 B)의 자료는 여수대학교 수산과학연구소[1999]를 이용

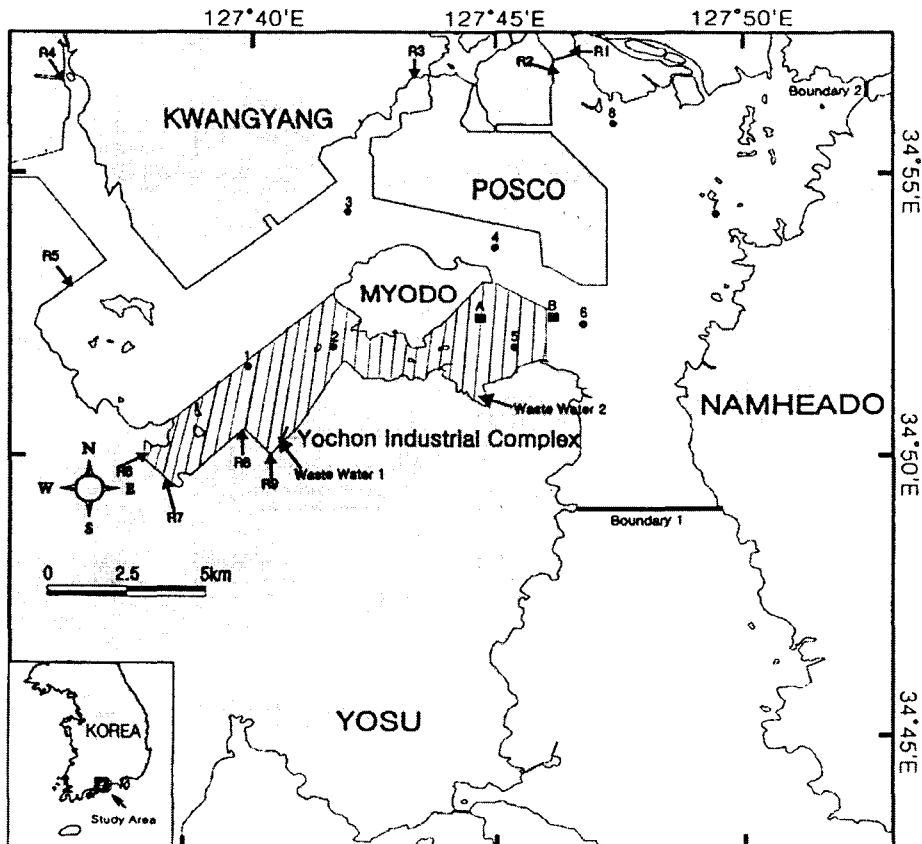


Fig. 1 The location of sampling stations and open boundaries in the study area.

하였다. 광양만은 Fig. 1의 빗금친 부분과 같이 여천공단 인근지역인 묘도 남측은 해역수질환경 III등급으로 그리고 나머지 구역은 II등급으로 지정되어 있는 실정이다.

## 2.2 생태-유체역학 모델

생태-유체역학 모델(Eco-hydrodynamic model)은 해수유동 시뮬레이션을 위한 층계모델(Multi-level model: COSMOS)과 수질 시뮬레이션을 위한 생태계모델(Ecosystem model: EUTRP 2)로 구성되어 있다. Fig. 2와 같이 해수유동모델을 이용하여 조석류와 잔차류를 시뮬레이션하고 잔차류성분을 생태계모델의 유동장으로 입력하여 수질을 예측할 수 있다. 해수유동과 생태계모델의 개요 및 수식화는 이[2000]의 방법에 따랐다.

## 2.3 생태-유체역학 모델의 입력자료

### 2.3.1 해수유동모델의 입력자료

대상해역의 모델영역은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 여수반도와 남해도를 연결하는 Boundary 1과 노량진 지역의 Boundary 2의 안쪽 해역으로서 광양만과 섬진강 유역을 포함하는 광역해역으로 설정하였다.

해수유동모델의 입력자료는 Table 1과 같이 격자의 크기는 X, Y 방향으로 각각 58, 34 cell로 격자망을 구성하였고, Z 방향으로는 3층으로 나누었다.

모델영역내의 해수유동을 재현하기 위해서 탁월분조인 M<sub>2</sub>분조를 이용하고, 수온, 염분 등의 초기치 및 경계치와 하천부하는 문헌조사(이[1994])하거나 실측을 통해서 입력하였고, 조위와 위상의 경계치는 수로국[1992], 한국해양연구소[1996] 및 여수대학교 수산과학연구소[1999]의 자료를 이용하였다.

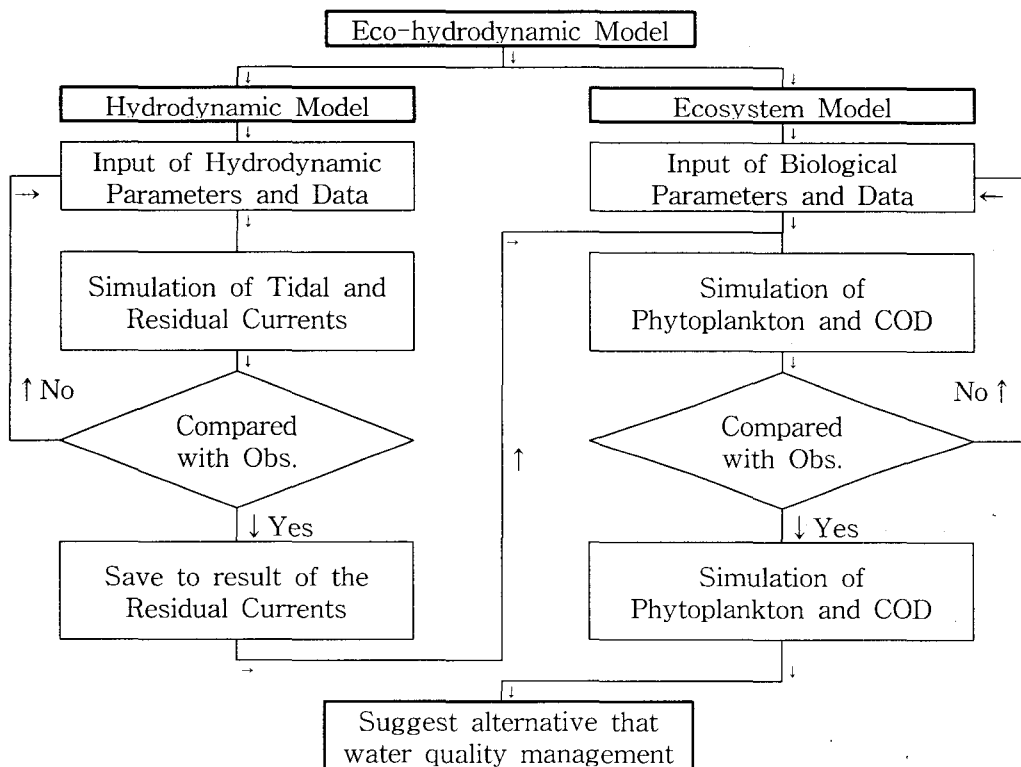


Fig. 2 The schematic diagram of an eco-hydrodynamic model for the flow of simulation.

Table 1 Input data for a hydrodynamic model

| Parameters                                  | Input value  |
|---|--|
| Mesh size                                   | $\Delta x = \Delta y = 500\text{m}$                                |
| Total mesh value                            | $58 \times 34 \times 3 = 5916$                                     |
| Water depth                                 | chart datum + MSL  |
| Time interval                               | 10sec  |
| Level                                       | 1: 0~3m<br>2: 3~8m<br>3: below 8m                                  |
| Tidal level and degree at open boundary     | Boundary 1:<br>101.0cm, 254.00°<br>Boundary 2:<br>107.0cm, 259.00° |
| Water temp. and chlorinity at open boundary | 1: 16.5°C, 18.35‰<br>2: 16.0°C, 18.37‰<br>3: 15.5°C, 18.40‰        |
| Coriolis coefficient                        | $f = 2\omega \sin\phi$   |
| Surface friction coefficient                | 0.0013   |
| Internal friction coefficient               | 0.0013   |
| Bottom friction coefficient                 | 0.0025   |
| Horizontal viscosity coefficient            | $1.0\text{E}5 \text{ (cm}^2/\text{s)}$                             |
| Horizontal diffusion coefficient            | $1.0\text{E}5 \text{ (cm}^2/\text{s)}$                             |
| Calculation time                            | 20 tidal cycles  |

해저마찰계수는 심해의 최적치로서 일반적으로 해의 안정성을 주는  $R = 0.0025$ 를 적용하였으며, 수평확산계수는 일본의 경우는 대부분 내만에서  $10^3 \sim 10^6 \text{cm}^2/\text{s}$ 의 범위로 측정되고 있는데, 본 모델에서는  $1.0 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{s}$ 를 적용하였다. 연직확산계수의 경우는 1층에서 3층까지  $0.1 \text{cm}^2/\text{s}$ 를 적용하였다. 또한 Coriolis coefficient가 위도에 따라서 일정한  $f$ -plane을 이용하였고, 바람의 영향은 시·공간적으로 불규칙해서 없는 것으로 가정하여 해수유동을 시뮬레이션하였다. 그 밖에 해수유동재현에 필요한 각종 파라메타는 기존 모델에 사용된 값과 문헌조사를 통해 적절히 산정해서 입력하였다.

### 2.3.2 생태계모델의 입력자료

생태계모델의 모델영역은 해수유동모델에 사용된 원격자망과 동일하게 적용하였다.

생태계모델의 입력자료는 Table 2와 같다. 초

기치와 경계치는 대상해역의 실측치와 문헌조사를 토대로 입력하였다. 물질의 수평 및 연직확산계수는 유동모델에 적용된 동일한 계수값을 사용하였다.

모델영역내로 유입되는 육상부하원은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 섬진강을 포함한 총 9개(R1~R9)의 하천과 2개의 폐수방류지점(Waste Water 1과 2)으로 고려하고 생태계모델의 구성요소에 대한 하천부하량은 1995년에 실측한 평균값을 이용하였고 폐수부하량은 2000년 폐수종말처리장의 처리수량자료를 참조받아 Table 3에 나타내었다. 섬진강의 년평균 유량은 여수대학교 수산과학연구소[1999]를 참조하여  $120\text{m}^3/\text{s}$ 로 입력하였다. 대기로부터의 유입부하 등 비점오염부하는 고려하지 않았다. 확산계수 및 그 밖의 모델에 입력되는 파라메타는 기존의 측정된 자료와 문헌조사를 통하여 적절하게 선정하였다.

Table 2 Input data for an ecosystem model

| Parameters   |                | Input values   |                               |      |       |        |                                |       |
|--|----------------|--|-------------------------------|------|-------|--------|--------------------------------|-------|
| Mesh size  |                | $\Delta x = \Delta y = 500\text{m}$  |                               |      |       |        |                                |       |
| Water depth  |                | chart datum + MSL  |                               |      |       |        |                                |       |
| Time interval  |                | 900sec   |                               |      |       |        |                                |       |
| Initial condition for compartments                                       |                |  |                               |      |       |        |                                |       |
| Level  | DO<br>( mg/L ) | COD  | DIP<br>( $\mu\text{g-at/L}$ ) | DIN  | POC   | DOC    | PHYTO<br>( $\text{mg-C/m}^3$ ) | ZOO   |
| 1  | 8.89           | 1.27   | 2.41                          | 3.97 | 340.0 | 3270.0 | 498.65                         | 35.00 |
| 2  | 8.50           | 1.20   | 2.50                          | 3.70 | 387.0 | 3590.0 | 335.87                         | 35.00 |
| 3  | 8.22           | 1.17   | 2.59                          | 3.64 | 482.0 | 3450.0 | 153.65                         | 35.00 |
| Boundary condition for compartments                                      |                |  |                               |      |       |        |                                |       |
| Level  | DO<br>( mg/L ) | COD  | DIP<br>( $\mu\text{g-at/L}$ ) | DIN  | POC   | DOC    | PHYTO<br>( $\text{mg-C/m}^3$ ) | ZOO   |
| 1  | 9.45           | 1.21   | 2.74                          | 2.25 | 500.0 | 3500.0 | 426.37                         | 35.00 |
| 2  | 9.00           | 1.00   | 2.60                          | 1.70 | 500.0 | 3500.0 | 275.13                         | 35.00 |
| 3  | 8.64           | 0.61   | 2.56                          | 1.29 | 500.0 | 3500.0 | 153.65                         | 35.00 |
| 1  | 8.34           | 2.16   | 1.62                          | 3.28 | 700.0 | 3500.0 | 458.56                         | 35.00 |
| 2  | 8.20           | 1.80   | 1.80                          | 2.60 | 700.0 | 3500.0 | 335.87                         | 35.00 |
| 3  | 8.00           | 1.41   | 2.06                          | 2.21 | 700.0 | 3500.0 | 153.65                         | 35.00 |
| Horizontal viscosity coefficient and<br>Horizontal diffusion coefficient |                | Level 1 : $1.0\text{E}5(\text{cm}^2/\text{s})$<br>Level 2 : $1.0\text{E}5(\text{cm}^2/\text{s})$<br>Level 3 : $1.0\text{E}5(\text{cm}^2/\text{s})$ |                               |      |       |        |                                |       |
| Vertical diffusion coefficient   |                | Level 1~3 : $0.1(\text{cm}^2/\text{s})$  |                               |      |       |        |                                |       |
| Water Temp. and Sal.   |                | Level 1 : $18.92^\circ\text{C}$ , 31.25psu<br>Level 2 : $16.50^\circ\text{C}$ , 31.50psu<br>Level 3 : $15.00^\circ\text{C}$ , 31.83psu             |                               |      |       |        |                                |       |
| Calculation time   |                | 200 tidal cycles   |                               |      |       |        |                                |       |

Table 3 The pollutant loads from rivers flowing into the model region

| Name of river | Pollutant loads    |        |          |          |          |          |  |
|---------------|--------------------|--------|----------|----------|----------|----------|--|
|               | COD<br>( ton/day ) | DO     | DIP<br>( | DIN      | POC      | DOC      |  |
|               |                    |        | kg/day   |          |          |          |  |
| River 1       | 13.65              | 112.04 | 189.38   | 9701.80  | 20736.11 | 41472.23 |  |
| River 2       | 0.17               | 1.20   | 4.45     | 156.02   | 237.25   | 474.51   |  |
| River 3       | 0.03               | 0.20   | 0.35     | 14.81    | 39.92    | 79.83    |  |
| River 4       | 0.45               | 1.02   | 16.58    | 325.61   | 272.33   | 544.67   |  |
| River 5       | 0.05               | 0.24   | 1.31     | 26.07    | 40.26    | 80.53    |  |
| River 6       | 0.11               | 0.52   | 4.97     | 143.12   | 106.27   | 212.54   |  |
| River 7       | 0.37               | 0.54   | 17.00    | 229.74   | 132.54   | 265.08   |  |
| River 8       | 0.44               | 0.81   | 86.24    | 121.82   | 207.88   | 415.76   |  |
| River 9       | 0.11               | 0.58   | 9.79     | 29.62    | 101.95   | 203.90   |  |
| Waste Water 1 | 32.00              | -      | 988.00   | 32326.40 | -        | -        |  |
| Waste Water 2 | 24.00              | -      | 1224.00  | 40239.20 | -        | -        |  |

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 해수유동 시물레이션

Fig. 3과 같이 조석잔차류, 취송류 및 밀도류에 의한 잔차류는 다소 복잡한 양상을 띠고 있으나, 묘도를 중심으로 왼쪽에서 약 5~10cm/s 정도의 반시계방향의 환류가 생성되고 있으며, 만 서쪽에는 2cm/s미만의 약한 흐름이 존재하고 있다. 묘도를 중심으로 오른쪽인 만 입구에서는 약 12cm/s 정도의 유속으로 여수해만쪽으로 유출하는 남향류가 우세한 양상을 보이고 있었다.

이렇게 시물레이션된 해수유동이 어느 정도 실제의 유동상황과 맞는지 알아보기 위해서 Fig. 1에서 표시한 정점 B에서 실측된 조류타원도(여수대학교 수산과학연구소[1999])와 시물레이션된 조류타원도를 비교한 것을 Fig. 4에 나타내었다. 유속과 유향면에서 실측치와 계산치가 거의 일치하여 대상해역의 유동상황을 충분히 반영하고 있다고 판단되었다.

#### 3.2 생태계 시물레이션

##### 3.2.1 생태계모델의 보정

생태계모델이 실제 대상해역의 수질상황을 잘 재현하는지를 알아보기 위해서 광양만을 중심으로 8개의 표층 정점에서 예측된 Chl. *a*와 화학적 산

소요구량을 9월에 실측된 값(여수대학교 수산과학연구소[1999])과 각각 비교한 결과를 Table 4에 나타내었다.

Chl. *a*의 경우 예측치와 실측치의 상대오차가 1층의 경우 0.9~33.3%범위로 평균 16.1%를, 화학적 산소요구량은 0.0~64.7%범위로 평균은 22.0%를 나타내어 본 생태계모델은 광양만내부의 수질상황을 어느 정도 충분히 반영하고 있다고 사료되었다.

##### 3.2.2 Chlorophyll *a*와 COD 시물레이션

위에서 검증된 생태계모델을 이용하여 대상해역의 하계 Chl. *a*와 화학적 산소요구량의 분포를 Fig. 5에 나타내었다.

식물플랑크톤 현존량을 나타내는 Chl. *a*의 분포를 살펴보면 광양만 내부의 묘도 서남쪽에서 10 $\mu$ g/L 이상을 보이고 만 입구쪽으로 갈수록 5 $\mu$ g/L 이하로 감소하는 양상을 보였다. 광양만의 평균은 약 8.2 $\mu$ g/L로 계산되었다. 실측된 광양만내의 평균은 약 9.6 $\mu$ g/L로 National Academy of Sciences(1972)에 의한 부영양화 단계기준인 10 $\mu$ g/L와 유사한 농도였다. 그렇지만, 현재의 유입부하량에서 약 10%만 증가되어도 평균 Chl. *a*는 10 $\mu$ g/L 이상을 나타내어 부영양화 현상이 심화되는 것으로 예측되었다.

화학적 산소요구량도 광양만 내부의 묘도 서남쪽에서 4.0mg/L 이상의 고농도를 보였고 만외로

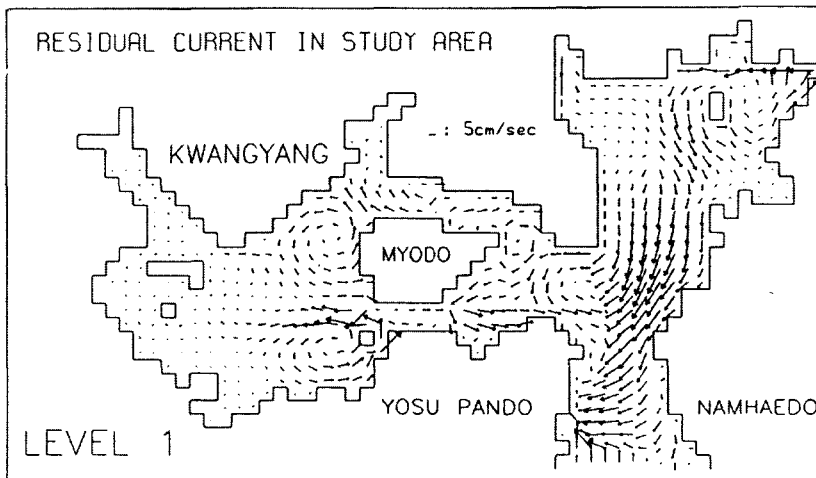


Fig. 3 The computed residual current at surface level.

Table 4 Comparison of simulation results with observed Chl. a and COD at surface layer

| Level 1 |                                  |          |        |           |          |        |
|---------|----------------------------------|----------|--------|-----------|----------|--------|
| St.     | Chlorophyll a( $\mu\text{g/L}$ ) |          |        | COD(mg/L) |          |        |
|         | Computed                         | Observed | R.E(%) | Computed  | Observed | R.E(%) |
| 1       | 10.6                             | 10.7     | 0.9    | 4.5       | 5.0      | 10.0   |
| 2       | 9.4                              | 9.9      | 5.1    | 4.5       | 3.4      | 32.3   |
| 3       | 9.8                              | 10.8     | 9.3    | 3.4       | 2.4      | 41.7   |
| 4       | 7.1                              | 8.7      | 18.4   | 2.6       | 2.9      | 10.3   |
| 5       | 6.8                              | 8.9      | 23.6   | 3.6       | 3.4      | 5.6    |
| 6       | 6.8                              | 8.7      | 21.8   | 2.9       | 2.6      | 11.5   |
| 7       | 2.6                              | 3.9      | 33.3   | 0.8       | 0.8      | 0.0    |
| 8       | -                                | -        | -      | 1.2       | 3.4      | 64.7   |
| Mean    | 6.6                              | 8.8      | 16.1   | 2.9       | 3.0      | 22.0   |

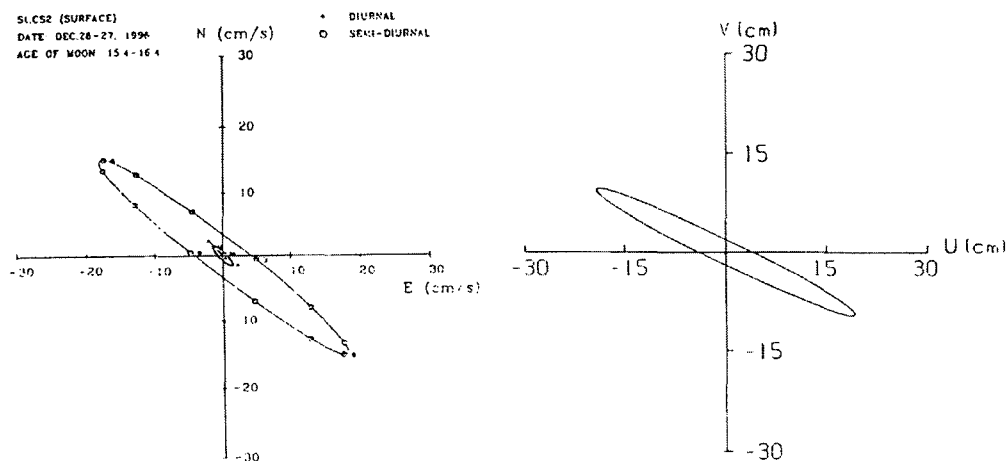


Fig. 4 The comparison of the tidal current ellipses between observed(left) and computed(right) results.

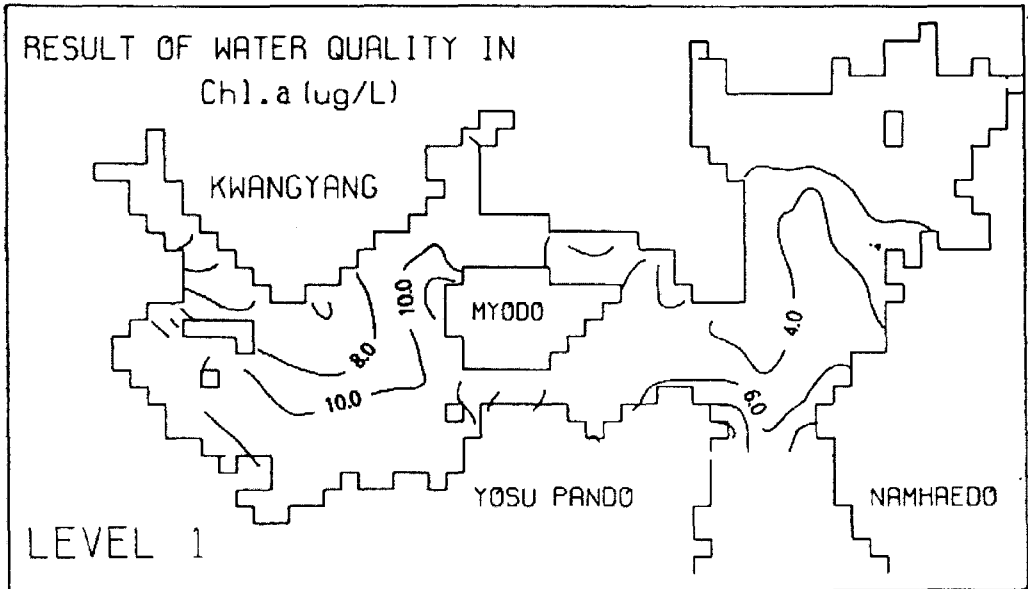
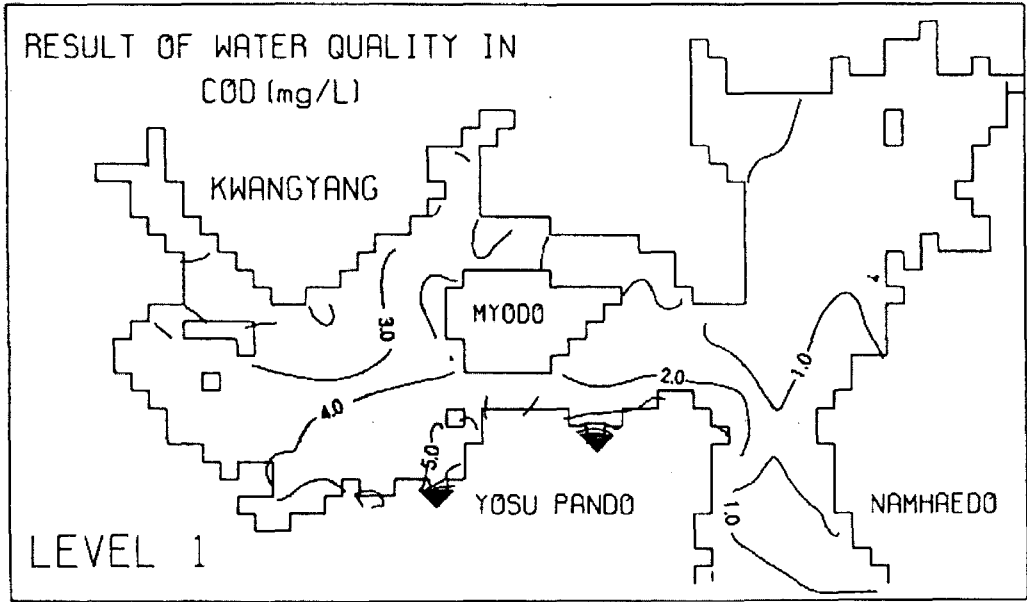


Fig. 5 The distribution of COD(mg/L) and Chl. a( $\mu\text{g/L}$ ) in summer.



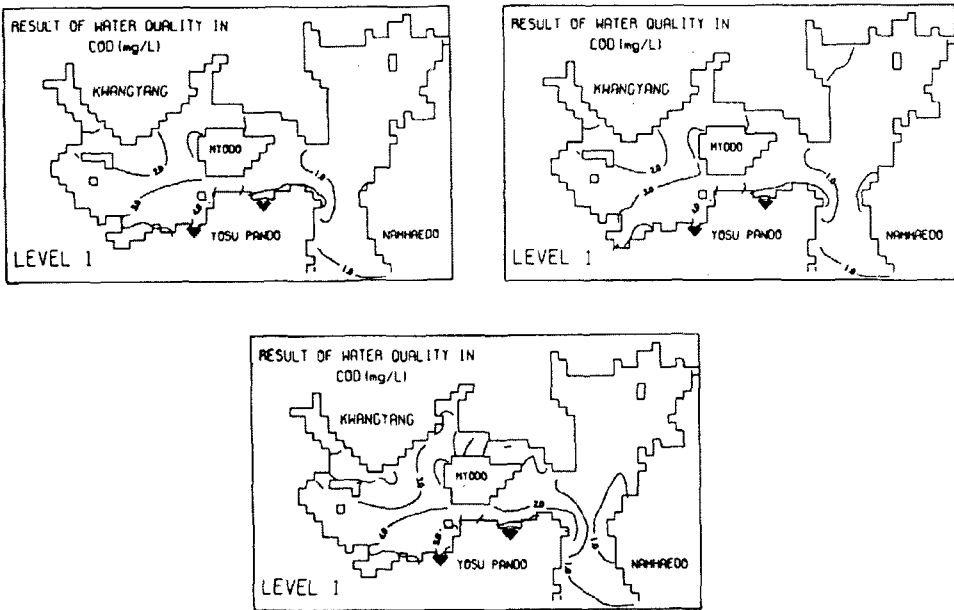


Fig. 6 The predicted COD distribution of summer depending on 25% decrease of pollutant loads from the point sources(Left: All sources, Right: Waste water, Bottom: River).

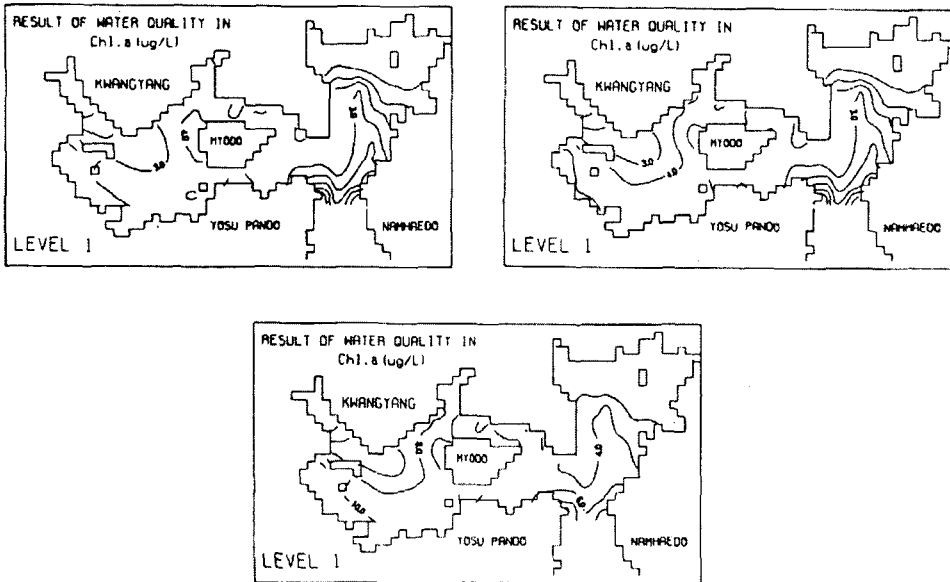


Fig. 7 The predicted phytoplankton distribution of summer depending on 25% decrease of pollutant loads from the point sources(Left: All sources, Right: Waste water, Bottom: River).

점원 오염부하 제어에 의한 광양만의 수질관리

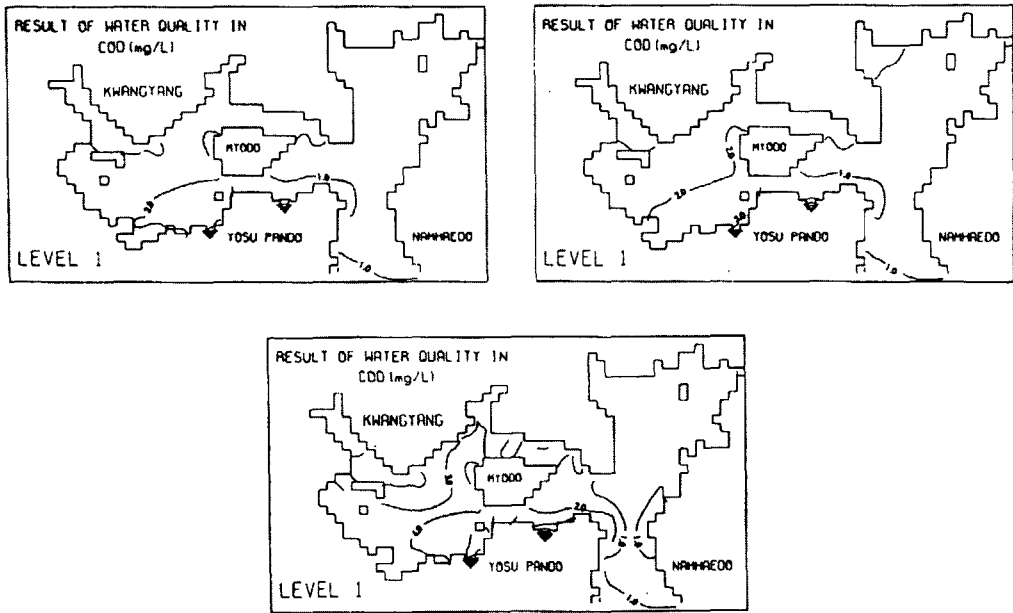


Fig 8. The predicted COD distribution of summer depending on 50% decrease of pollutant loads from the point sources(Left: All sources, Right: Waste water, Bottom: River).

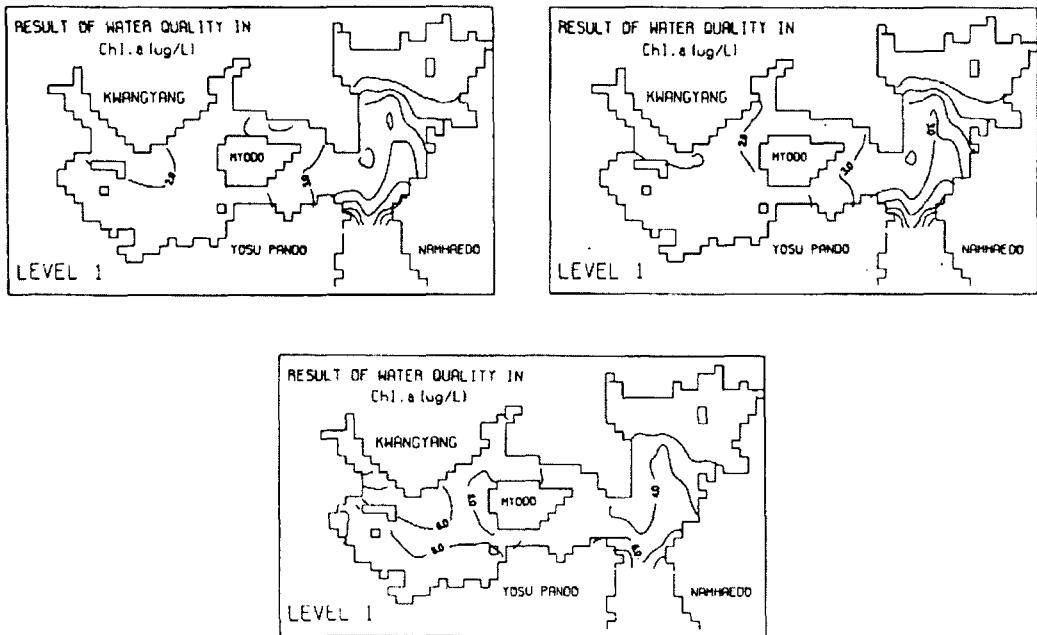


Fig 9. The predicted phytoplankton distribution of summer depending on 50% decrease of pollutant loads from the point sources(Left: All sources, Right: Waste water, Bottom: River).

갈수록 감소하는 경향을 보였다. 광양만내의 평균은 약 3.2mg/L(실측치는 3.3mg/L)로 계산되어 해역수질환경기준 III등급을 초과하였다.

이와 같이 본 대상해역은 육상에서 유입하는 오염부하와 다양한 해상활동으로 인해서 수질이 악화되고 있다. 따라서 본 연구에서는 적절한 수질관리방안을 위해서 육상에서 유입되는 오염부하량의 변동에 따라서 대상해역의 Chl. *a*를 부영양화기준인 10 $\mu$ g/L이하, 그리고 COD를 해역수질 II등급인 2mg/L이하로 수질목표달성기준으로 세우고 부하삭감 시뮬레이션을 실시하였다.

### 3.3 수질관리 시뮬레이션

#### 3.3.1 유입부하량 25% 삭감시나리오

Fig. 6과 같이 대상해역으로 유입하는 각 하천 및 폐수부하원의 COD, 영양염 등 6개 항목의 유입부하량을 일률적으로 모두 25% 삭감한 경우 광양만내의 COD는 평균 약 2.50mg/L로 해역수질환경기준 III등급으로 나타났다. 또한 폐수배출부하량만을 25% 삭감시켜도 유사한 효과가 나타나지만, 하천부하량만을 25% 삭감시키면 현재의 수질상황에 비해 수질개선이 이루어지기 힘든 것으로 예측되었다.

Chl. *a*의 분포는 Fig. 7과 같이 하천 및 폐수배출부하량 또는 폐수배출부하량만을 25% 삭감시키면 만내는 약 5 $\mu$ g/L이하로 감소하지만, 하천부

하량만을 25% 삭감시키면 큰 변화가 없는 것으로 예측되었다.

#### 3.3.2 유입부하량 50% 삭감시나리오

Fig. 8과 같이 하천 및 폐수유입부하원의 부하량을 일률적으로 모두 50% 삭감한 경우 광양만내의 COD는 평균 약 2.0mg/L이하로 해역수질환경기준 II등급으로 나타났다. 또한 폐수배출부하량만을 50% 삭감시켜도 유사한 효과가 나타났다.

Chl. *a*의 분포는 Fig. 9와 같이 하천 및 폐수배출부하량 또는 폐수배출부하량만을 50% 삭감시키면 만내는 약 3 $\mu$ g/L이하로 감소하지만, 하천부하량만의 감소는 수질회복에 큰 효과가 없는 것으로 시뮬레이션되었다.

Fig. 10에는 각 유입부하원의 25%, 50% 오염부하 삭감에 따른 광양만내의 평균 COD를 나타냈으며, Chl. *a* 10 $\mu$ g/L와 COD 2mg/L이하를 지속적으로 만족하기 위한 시뮬레이션 결과 현재의 점원 오염부하량을 약 35%이상 저감하는 수질관리대책이 요구되는 것으로 예측되었다.

## 4. 결론

광양만해역의 종합적인 수질관리를 위해서 부하삭감을 통한 수질회복 시뮬레이션을 수행한 결과는 다음과 같다.

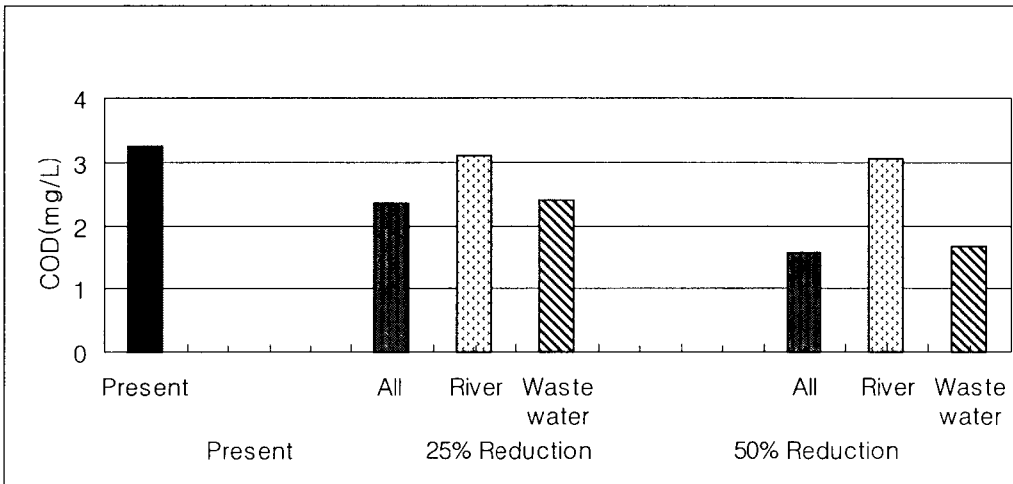


Fig. 10 The predicted COD according to the reduction of loads by point pollution sources.

1) 잔차류 시물레이션 결과 묘도를 중심으로 만 서쪽에는 2cm/s미만의 약한 흐름이 존재하였고, 오른쪽인 만 입구에서는 약 12cm/s정도의 유속으로 여수해만쪽으로 유출하는 남향류가 우세한 양상을 보이고 있었다.

2) 광양만 내부의 묘도 서남쪽에서 Chl. *a* 10 $\mu$ g/L 이상을 보이고, 만 입구쪽으로 갈수록 Chl. *a* 5 $\mu$ g/L 이하로 감소하는 양상을 보였다. 광양만내의 실측 평균은 약 9.6 $\mu$ g/L로 나타났다.

3) 화학적 산소요구량도 묘도 서남쪽에서 4.0mg/L 이상의 고농도를 보였고, 실측 평균은 약 3.3mg/L로 해역수질환경기준 III등급을 초과하였다.

4) Chl. *a* 10 $\mu$ g/L와 COD 2mg/L이하를 지속적으로 만족하기 위해서는 현재의 점원 부하원의 오염부하량 또는 폐수배출부하량 약 35%이상 저감하는 수질관리대책이 요구되는 것으로 예측되었다.

## 감사의 글

본 연구는 1997년도 교육부 학술연구조성비(해양과학분야) 특별공모과제로 수행된 연구결과의 일부분입니다.

## 참고문헌

[1] 강화성, 이광우, 1996, "광양만, 마산만 및 울산만 퇴적물 중의 미량금속과 퇴적속도", 한국수질보전학회지, 12(4), 455-461.  
 [2] 김광수, 1995, 생태계모델을 이용한 황해의 환경용량 산정, 부산수산대학교 대학원 박사학위논문.  
 [3] 김동명, 1999, 생태계모델을 이용한 황해의 부영양화 모델링, 부경대학교 대학원 박사학위논문.  
 [4] 김종구, 1994, 진해만 해역의 하계 부영양화 모델링, 부산수산대학교 대학원 박사학위논문.  
 [5] 수로국, 1992, 조석·조류개론.  
 [6] 심재형, 신윤근, 이원호, 1994, "광양만 식물플랑크톤 분포에 관한 연구", 한국해양학회지, 19(2), 172-186.  
 [7] 여수대학교 수산과학연구소, 1997, 여천공단 환경오염대책을 위한 정밀조사대책(해양분야).

[8] 여수대학교 수산과학연구소, 1999, 광양항 광역개발 기본계획에 따른 어업피해영향 조사보고서.  
 [9] 여수지방 해운항만청, 1997, 묘도 준설토 투기장 가호안 축조공사 환경영향 평가서.  
 [10] 이대인, 2000, 낙동강 하구해역의 식물플랑크톤 극대역 변동에 관한 수치시물레이션, 부경대학교 대학원 박사학위논문.  
 [11] 이석우, 1994, 한국항만수리지, 집문당.  
 [12] 조기안, 위인선, 최철일, 1994, "광양만 식물플랑크톤의 생태학적 연구", 환경생물학회지, 12(2), 137-150.  
 [13] 조영길, 이창복, 고철환, 2000, "광양만 표층 퇴적물의 중금속 함량 및 분포", 한국해양학회지, 5(2), 131-140.  
 [14] 조은일, 1996, 생태계모델을 이용한 어장환경용량 산정, 부경대학교 대학원 박사학위논문.  
 [15] 최우정, 1993, 진해만의 빈산소수괴 형성에 관한 시물레이션, 부산수산대학교 대학원 박사학위논문.  
 [16] 한국과학기술연구원, 1996, 여천공단 주변바다를 환경영향 및 대책에 관한 연구.  
 [17] 한국해양연구소, 1996, 한반도 주변 조석 조화상수 자료집.  
 [18] 해양수산부, 1999, 해양환경기준개선 연구용역 -해양환경기준(수질) 개선연구-.  
 [19] Cerco, C. F., 1995, "Response of Chesapeake Bay to Nutrient Load Reductions", Journal of Environmental Engineering, 121(8), 549-557.  
 [20] National Academy of Sciences, 1972, A report of the committee on water quality criteria, Washington, DC.  
 [21] 國立水産振興院, 1997, 韓國 沿岸의 赤潮.  
 [22] 武岡英隆, 村尾肇, 1997, "窒素, 磷의 流入負荷量의 削減に 對する 水質의 應答", 沿岸海洋研究, 第 34卷, 第 2号, 183-190.  
 [23] 中田喜三郎, 石川公敏, 松川康夫, 1985, "內灣의 流動場의 數値實驗", 沿岸海洋研究ノート, 22(2), 96-108.