

# 이매패의 생물정화 기작을 이용한 마산만의 수질개선방안

홍 석 진\* / 엄 기 혁\*\* / 장 주 형\*\*\* / 박 종 수\*\*\*\*

김 동 명\*\*\*\*\*+ / 권 정 노\*\*\*\*\*

## Water quality management by bio-purification of bivalve, *Mytilus galloprovincialis*, in Masan Bay

Sok Jin Hong\*+ / Eom Ki Hyuk\*\* / Ju Hyung Jang\*\*\* / Jong Su Park\*\*\*\*

Dong Myung Kim\*\*\*\*\*+ / Jung No Kwon\*\*\*\*\*

**요약** : 마산만은 한국의 대표적인 반 폐쇄성 내만으로 유속이 느리며, 해수의 순환이 제한되어 입자물질의 침강이 주로 일어나고 있다. 특히, 육상기원 오염물질 유입은 환경오염문제를 일으켜, 부영양화, 적조, 저층 빈산소 현상 등의 문제가 빈번히 발생하고 있다. 본 연구에서는 생태계 모델을 이용하여, 이매패류를 포함하는 생태계 시스템에서 물질순환 과정의 계산을 수행하였으며, 여과식자인 이매패류에 의한 COD와 식물플랑크톤 같은 입자유기물질의 제거 효과도 계산하였다. 또한, 이매패류 양식장의 입식위치와 입식량을 산정하여, 생물학적 수질관리에 적용하고자 하였다. 모델결과에서, 최적 입식위치는 해양 물리적 과정을 참고로 하여 식물플랑크톤의 집적이 일어나는 곳을 선정하였으며, 최적 입식밀도는 35 개체/m<sup>3</sup>였고, 최적 입식 면적은 약 500 ha로 나타났다. 이매패류가 최적의 성장을 보인다고 가정하면, 육상부하의 삭감에 관한 노력 없이도 수중의 COD 농도의 18%의 개선 효과가 나타났다.

**핵심용어** : 해수수질, 육상기원 오염부하, 생태계 모델, 이매패류, COD, 생물정화, 마산만

**Abstract** : Masan Bay is a representative semi-closed bay acted as a sedimentation reservoir with a slow current velocity and a poor water circulation in Korea. The pollutants from terrestrial sources into the Masan Bay have apparently environmental pollution problems, such as eutrophication, red tied, and hypoxia. In this study, An ecological modeling work was performed to estimate the material circulation including the growth of bivalve in ecosystem. Furthermore, the effect of water purification was calculated by filter feeding bivalve to particulate organic matter just like COD and phytoplankton. And Water quality management strategy by bio-purification of bivalve is derived through selection of location, quantification of bivalve aquaculture farm. The results showed that the optimum location for bivalve farming is where phytoplankton accumulation by physical processes is maximized and the optimum density and area of bivalve are 35 individuals m<sup>-3</sup> and ca. 500 hectare, respectively. When assuming conditions for the optimum growth of bivalve, COD could decrease by up to 18% even without other reduction of pollution loads.

**Keywords** : coastal water quality, land-based pollution load, ecological model, bivalve COD, bio-purification, Masan Bay

+ Corresponding author : dmkim@pknu.ac.kr  
\* 국립수산과학원 환경연구팀  
\*\* 국립수산과학원 환경연구팀  
\*\*\* 국립수산과학원 환경연구팀  
\*\*\*\* 국립수산과학원 환경연구팀  
\*\*\*\*\* 부경대학교 생태공학과 교수  
\*\*\*\*\* 국립수산과학원 연구기획팀

## 1. 서 론

마산만은 만내 유속이 느리고 해수유통이 원활하지 못해 소량의 오염물질이 유입되어도 외해로 확산되지 못하고 만내에 계속 머물게 되어 해역의 오염이 가중되고 있고, 만내에서 증식한 식물플랑크톤과 하천을 통하여 유입된 오염물질은 해저에 침강되어 분해·무기화를 거쳐 영양염이 다시 수중으로 공급되어 부영양화, 적조, 빈산소 등을 유발, 생태계 건강도를 악화시키고 있다.

마산만의 수질오염실태 및 관련연구를 보면 최근까지 부영양화와 적조에 관한 많은 연구가 진행되었다. 최우정(1993)은 마산만의 빈산소를 해소하기 위해서는 수치모델을 이용한 해역의 환경용량 산정 후 육상유입 부하와 저질용출 부하를 60% 이상 삭감해야 한다고 하였다. 김종구(1994)는 부영양화 제어를 위해서는 육상유입 오염원의 질소, 인을 95% 이상 제거할 수 있는 고차처리시설의 도입 필요성을 제시하였는데, 특히 폐쇄된 내만 해역은 자생 COD가 30~40%를 차지하고 있어 식물플랑크톤 증식의 원인이 되는 질소와 인의 저감이 가장 중요한 문제이다(Nakanishi, 1990). 그러나 마산만으로 유입하는 영양염을 저감하기 위해서는 하수처리장의 고차처리시설 확충과 신·증설, 하수관거 및 차집 관거 정비 등 막대한 비용이 수반된다.

최근 들어 외국에서는 해역의 수질개선 기법으로 이매패류나 해조류 등의 해양생물을 이용하여 비용 절감과 함께 부가적인 이익을 창출하는 연구가 활발히 진행 중이다(Kohata 등, 2003; Verdelhos 등, 2005). 우리나라에서는 해양생물의 증금속 흡착, 영양염 흡수 등의 기초적인 연구(김용술과 문태석, 1998; 최태석과 김광용, 2002)가 수행되었을 뿐, 해양생물을 이용한 수질개선연구는 진행된 바 없었다. Yanagi 등(1999)은 도카이만에서 수치모델을 이용한 빈산소와 적조저감방안의 연구에서 영양염의 농도를 줄이기 위해 이매패나 해조류를 양식하는 방안이 필요함을 주장하였고, Kohata 등(2003)은 부유섭식 이매패류의

유기물 제거(식물플랑크톤)에 대해 보고하였다. 또한, Verdelhos 등(2005)은 해초지대 조성을 통한 부영양화와 이매패의 관계를 연구하였는데, 유럽과 일본 등에서는 수질정화 기작으로 수확한 이매패는 주로 양식사료, 가축사료 등으로 활용하거나 육상으로 폐기하고 있다. 한편, 담치류는 해양환경의 모니터링과 오염평가에 널리 사용되어 왔으며 오염에 내성이 강한 것으로 알려져 있다(Golberg와 Bertine, 2000; Wedderburn 등, 2000; Geffard 등, 2001; Smolder 등, 2004). 특히, 지중해 담치는 대서양연안, 지중해, 홍콩, 그리고 일본 남부 등지에 분포하며 우리나라에서는 전국 연안에서 채집되는데, 양식대상 종으로 매우 유용하며 주로 수하식양식을 하고 있다. 우리나라의 경우 양식시설물 및 양식장의 오손 생물로서 취급되기도 하지만(Je 등, 1988), 양식산업의 급성장으로 2005년의 양식생산량은 32,625 M/T 으로서 패류양식 전체 생산량의 약 10%를 차지하고 있다(해양수산부, 2006). 이 종은 유럽이 원산지이나 전 세계에 퍼져있고, 수심 40 m까지도 서식할 수 있으나, 주로 조간대의 암반 및 각종 구조물들에 부착하여 서식하고 있다. 서식에 적합한 수온은 5~24℃, 염분은 14~33인데 수명은 2년으로 알려져 있다. 산란기는 그 습성에 따라 일정치 않으나 우리나라에서는 1~6월이고, 1회 산란량은 모패의 크기에 따라 달라질 수 있으나 대략 난경 70 μm정도인 약 500만개~2,000만개를 산란한다. 산란 후 식물플랑크톤과 유기세편을 먹이로 하여 성장하기 때문에(국립수산과학원, 1996) 특히 식물플랑크톤에 의한 2차적인 유기오염과 육상기원 유기세편이 풍부한 마산만에서 대량 양식될 경우 수질 정화의 효과가 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 이매패의 생리 및 개체군 성장모델을 포함하는 생태계모델을 이용하여 이매패를 포함한 생태계 내 물질순환 구조를 해석하고, 최적 양식장 위치, 최적 양식생물 시설량을 정량화하여 생태공학적인 내만 수질개선 방안을 도출하고자한다.

## 2. 실험 및 방법

### 2.1 이매패류 성장모델

Fig. 1에는 수온, 염분 등의 물리적 요소와 섭이하는 먹이량의 시간 변화에 따른 이매패류의 성장 과정을 나타낸 것이다. 이매패류 성장 모델은 먹이 섭이량에 근거한 에너지 전환 수치가 산정된 후, 생리학자들이 과학적으로 체계화시킨 “scope for growth” 개념을 이용하여 시간의 종속 함수로서 양식 생물의 성장 과정을 수치적으로 해석한 것이다(Bayne 등, 1990).

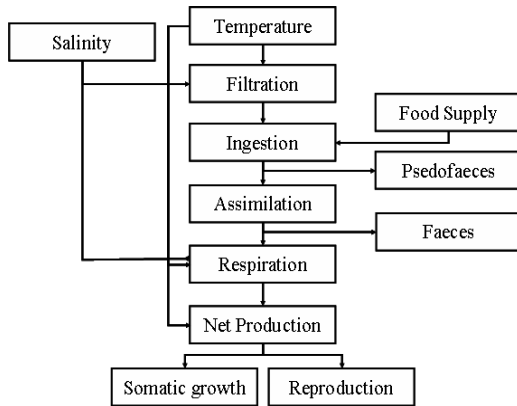


Fig. 1. The Schematic diagram of the bivalve physiology model

이매패류의 생리 과정은 먹이 여수율, 섭이, 소화, 배설, 호흡 및 재생산으로 이루어져 있고, 이매패류 성장의 지배 방정식은 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{dB}{dt} &= P_g + P_r = \text{Assimilation} - \text{Respiration} \\ &= \text{Ingestion} - \text{Biodeposition} - \text{Respiration} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $dO/dt$  : 시간 변화에 따른 이매패류 성장

$P_g$  : 이매패류의 체세포 조직의 성장

$P_r$  : 이매패류의 재생산

여수율은 이매패류의 에너지 전환 과정의 중요한 요소로서 수온, 염분, 먹이량, 먹이질 등의 환

경 인자에 영향을 받는 것으로 알려져 있다 (Powell 등, 1992). 5종의 이매패를 대상으로 개체 크기와 수온이 여수율에 미치는 영향을 조사한 결과, Walne(1972)은 건조 육중량이 생물 크기를 가장 잘 반영하기 때문에 건조 육중량을 독립 변수로 하여 여수율을 구해야 한다고 하였다. 그래서, Powell 등(1992)은 여수율을 수온과 건조 육중량 함수로 수식화하기 위하여 Hibbert(1977)가 *Mercenaria mercenaria* 종을 대상으로 구한 육중량대 각장의 관계식을 Doering과 Oviatt(1986)의 여수율에 적용하였으며, 각장 0~10 cm 크기의 모든 이매패류에 적용 가능함을 입증하였다.

$$FR_d = \frac{SL^{0.96} T^{0.95}}{2.95} \quad (2)$$

$$SL = W^{0.317} 10^{0.669} \quad (3)$$

여기서,  $FR_d$  : 여수율 (mL/g dry-wt·min)

SL : 각장 (cm)

W : 건조 육중량 (g)

그러나, 육중량과 각장의 관계식인 식 (3)은 지중해 담치보다는 경조개(*Mercenaria mercenaria*)를 대상으로 구한 식이기 때문에 이원찬 등 (2002a, 2002b)이 진해만을 대상으로 실험을 통해 얻어진 값과 현장 실험치를 참고하여 건조 육중량대 각장의 관계식을 식 (2)에 적용하여 지중해 담치에 대한 여수율을 식 (4)과 같이 정립하였다.

$$2.0g < W_d : FR_w = 2.51 W_d^{0.279}$$

$$W_d \leq 2.0g$$

$$: FR_w = 0.117 W_d^3 - 0.15 W_d^2 + 3.09 W_d + 0.133$$

$$FR = \frac{FR_w T^{0.5}}{4.47} \quad (4)$$

여기서, FR : 여수율 (L/g dry-wt · h)

Wd : 건조 육중량 (g)

2.2 생태계 모델과의 연계

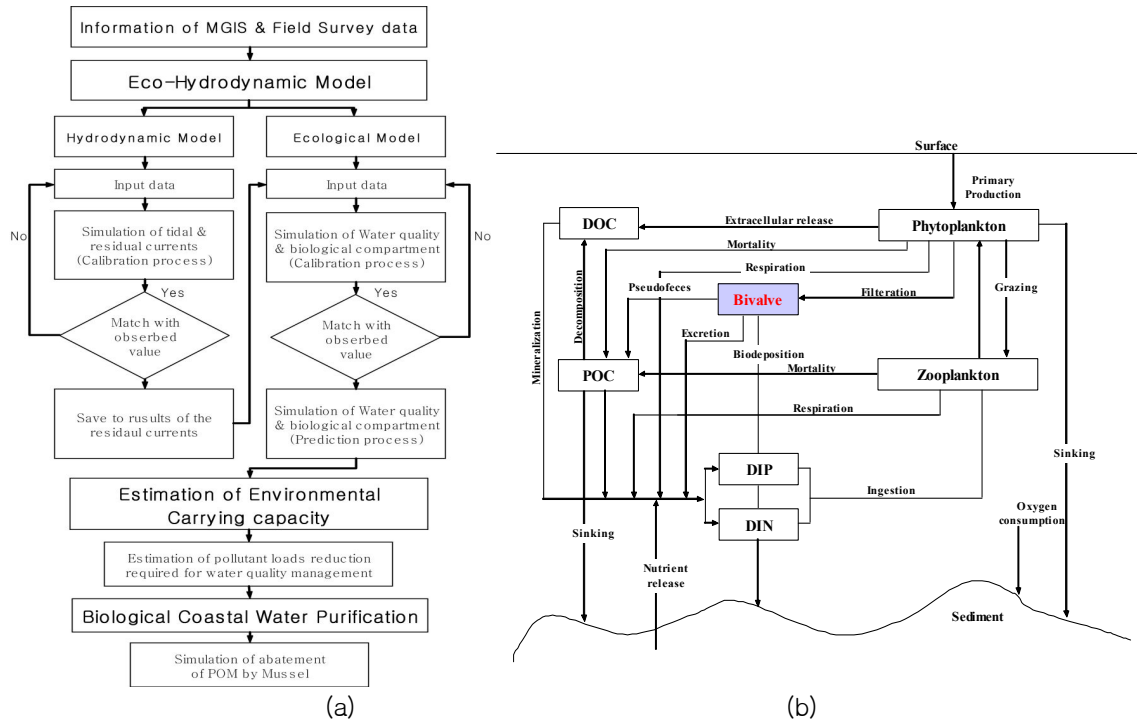


Fig. 2. Schematic diagram of eco-hydrodynamic model with bivalve(a) and biogeochemical cycle(b) in the ecological model with bivalve

본 연구에 사용된 생태-유체역학모델은 해수유동 모델과 생태계 모델로 구성되어 있으며, 해수유동 모델은 中田 등(1985)에 의해 개발 적용되어진 다층모델이며 생태계 모델은 Kremer와 Nixon(1978)에 의해 개발, 적용된 모델의 지배방정식을 바탕으로 Nakata(1982) 등에 의해 grid 모델 형태로 구성되어 있다. 이 모델링 시스템은 이원찬 등(2002a, 2002b)에 의하여 이매패류를 포함한 생물과정을 국내 연안에 적용하여 양식어장의 환경용량 산정에 이용되어 왔다(Fig. 2).

2.3 모델의 민감도 분석

민감도 계수는 양의 변화와 음의 변화에 대한 평균값으로 모델의 주요 변수인 식물플랑크톤, 화학적산소요구량, 용존무기질소, 용존무기인, 입자성 비생물 유기물, 용존성 유기물에 대한 계산 결

과를 Table 1에 나타내었다. 모델의 상태변수에 영향을 미치는 인자에 대한 민감도는 초기치를 이용하여 시뮬레이션한 계산 값과 초기치 인자를 ±10%로 조절하여 시뮬레이션한 계산 값을 아래와 같은 식을 이용하여 도출된 민감도 계수를 이용하여 평가하였다(Dowd, 1997).

$$S = \left| \frac{\Delta V/V}{\Delta \text{parameter}/\text{parameter}} \right| \quad (5)$$

여기서, S : 민감도 계수

V : 초기치를 이용한 상태변수 결과값

ΔV : 초기치와 초기치 변화에 의한 상태변수 증감값

denominator : 초기치의 변화폭

### 2.4 이매패류의 생물정화 설계 인자

생물에 의한 수질정화 기작을 확인하기 위해서는 실제 현장해역에서 시설을 설치하여 직접 관찰하는 것이 가장 확실하다고 볼 수 있으나, 해양생태계 모델링 도구를 이용하여, 현장작업에서의 어려움은 물론 시간과 비용을 감소시키며, 전체적인 과정의 판단을 용이하게 한다.

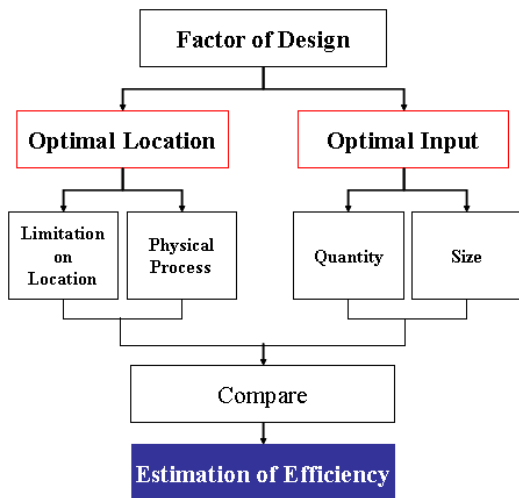


Fig. 3. Making process of design factor for sea water quality management using eco-engineering method by bivalve

이매패류의 생물정화기작을 이용한 수질개선방안의 적용을 위한 설계인자의 도출을 위해서 고려할 사항은 양식장 위치 요소와 입식생물량, 즉

생물 개체수에 관한 요소라고 볼 수 있는데(Fig 3), 각각의 요소에 대한 최적 조건을 수질개선 효율관점에서 정량화하여 비교하고자 한다.

위치선정에 관해서는 1차적으로 입지 가불가에 관한 제한사항을 고려할 필요가 있으며, 다음 단계로 최적 위치 선정을 위한 고려방안에 대해 논의하여야 한다. 입식 생물량요소는 단위 체적 당(/m<sup>3</sup>) 입식 개체수가 우선되어야 하고 또한, 양식장의 설치비용과 관련하여 중요한 의미를 가지는 입식면적에 대해 고려하여야 할 것이다.

### 3. 수질개선효과분석

#### 2.3 모델의 민감도 분석 결과

민감도 분석(Sensitivity analysis)이란 수치 시뮬레이션을 통하여 모델 인자들의 적은 변화가 상태 변수들의 결과에 미치는 영향을 결정하기 위한 것이다. 민감도 분석 방법은 다양하며 모델의 타당성을 시험하는 간단한 방법으로서 생태계 모델에 가장 일반적으로 사용되고 있다. 식물플랑크톤과 높은 민감도계수를 가진 인자는 식물플랑크톤의 성장, 사망속도, 동물플랑크톤 증식 및 사망속도였고, 퇴적물로부터 용존무기질소 용출속도의 영향은 거의 없었다. 화학적산소요구량에 높은 민감도를 가진 인자는 식물플랑크톤의 성장 및 사망속도, 용존유기물질 분해속도, 동물플랑크톤 증식 및 사망속도였다.

Table 1. Sensitivity coefficients of the model variables to 10% change of some parameters

Parameter	Phyto	COD	DIN	DIP
Phytoplankton mortality	0.582	0.151	0.011	0.491
Phytoplankton growth rate	0.788	0.714	0.045	3.133
Detritus mineralization rate	0.077	0.134	0.067	0.063
DOM mineralization rate	0.088	0.323	0.106	0.063
Zooplankton grazing rate	3.480	1.297	0.290	3.750
Zoolankton death rate	2.972	1.008	0.253	2.769
Benthic nutrient release rate(nitrogen)	0.000	0.000	0.091	0.000
Benthic nutrient release rate(phosphorus)	0.306	0.168	0.001	0.316

### 3.2 최적 입식 위치

이때패류를 이용한 해수수질 정화를 위한 위치 선정 시 우선사항은 육상으로부터 입자 유기물질의 대량 유입지점 즉, 하천수의 합류 및 유출지점이나, 하수처리장 방류구 부근 또는 Outfall의 유출부, 하수토구 부근에 인접할수록 수질 정화에 유리하다고 볼 수 있다. 또한, 식물플랑크톤 Bloom 발생 빈발지점인 만의 내측지점이나, 유동장 등의 물리적인 요소가 안정적인 지점이 유리한데, 이것은 증육을 목적으로 하는 양식장의 입지선정을 위한 고려사항과도 의미가 통한다고 볼 수 있다. 입지선정시 제한사항으로 볼 수 있는 것은 선박의 항행을 위한 항로부 및 군 작전통제지역 항행 금지 구역부근에는 근본적으로 입지가 불가능하다고 볼 수 있다(Fig. 4(a)).

어떤 해역에서 이류확산 등의 물리적 영향에 의해서 물질이 공간적으로 집적될 것인가, 확산될 것인가를 식물플랑크톤 현존량에 대한 물리과정의 비율로서 평가한 것(김동명, 1999)을 Fig. 4(b)에 나타내었다. 식물플랑크톤은 해역의 기초생산과 생물생산과정의 중심이 되며, 수질정화에 이용되는 생물의 먹이원이 되는 중요한 의미를 지

니게 된다. 계산된 식물플랑크톤 현존량에 대한 물리과정의 기여율을 (+)항과 (-)항으로 크게 구분 할 수 있는데, (+)항은 물리적인 과정에 의해 증가되므로 물리적인 집적과정이라 판단되고, (-)항은 반대로 물리적 과정에 의해 다른 공간으로 이류확산되어 이송된다고 할 수 있다. 또한, 물리과정량의 비율이 0으로 나타나면 이류확산과 집적이 평형을 이룬다고 평가할 수 있다. Fig. 5에 나타난 마산만의 식물플랑크톤 물리과정량의 비율을 살펴보면, (+)항과 (-)이 거의 비슷한 분포로 존재하고 있음을 알 수 있다. 만 내측에서 주로 집적이 일어나고 있으며, 만 내측에서 이류확산이 관측되는 지점은 하천 혹은 하수처리장 방류구에서의 담수 유입이 활발한 지점으로 생각되며 그 외의 이류확산측의 지점들도 대부분 0에 가까운 수준을 보이고 있어서, 전체적으로 볼 때 마산만은 강 혼합형이라기보다는, 집적 혹은 약한 이류확산이 지배적이라고 여겨진다. 또한, 잔차류의 패턴에서도 관찰 할 수 있듯이, 거제도 북쪽고k 진해만 중심해역을 제외한 모든 해역에서 비교적 안정적인 유동장을 보이기 때문에 양식장의 입식에 큰 제한을 받는다고 보이지는 않는다. 따라서, 양식장의 입식 위치에 따른 구분은

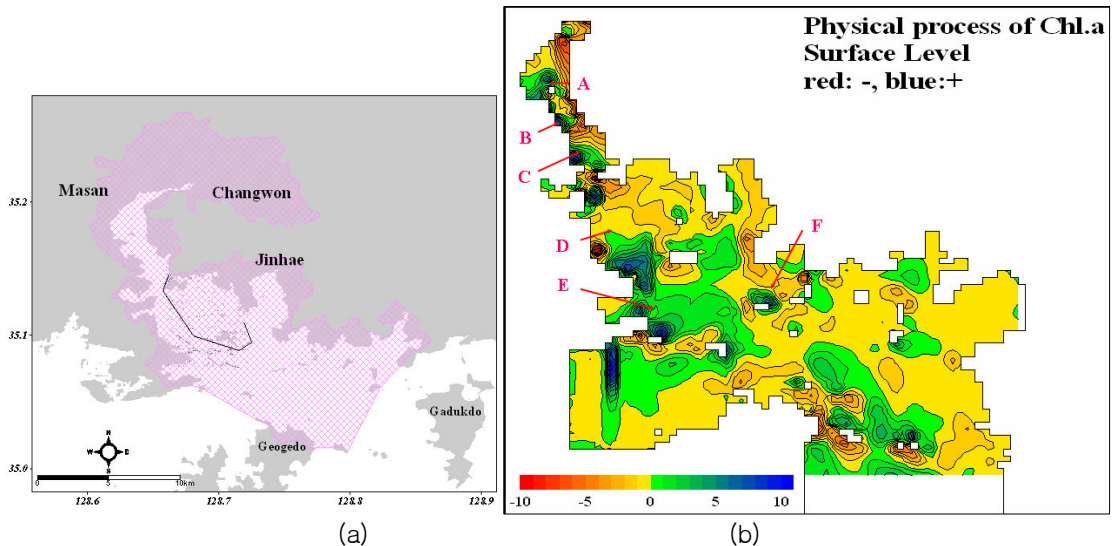


Fig. 4. Masan bay special management area(a, solid line : Military Sailing inhibition area) and the distribution of contributed physical process to phytoplankton at surface level(b)

Fig. 4(b)의 식물플랑크톤 물리과정량을 바탕으로 하고 시설기준은 연승수하식 표준설계 (국립수산과학원, 1996)를 고려한 35 개체/m<sup>3</sup>를 적용하여 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 만 내측의 A~C 지점 (300 ha)과 이를 포함한 A~F지점(924 ha)에 입식하는 것으로 구분하여 모델링을 실시하였다.

지중해 담치의 양식장 입식이 없는 경우와 입식이 있는 두 가지 시뮬레이션의 COD 농도분포를 살펴보면 마산만 내측에만 입식한 경우(Case B1)와 내 외측의 물리과정량의 집적구역에 입식한 경우(Case C1)를 양식장이 없는 경우와 비교한 결과를 Table 2에 나타내었는데, COD의 경우 양식장 입식이 없는 경우에 비해 Case B1은 7.6%, Case C1은 17.7%의 감소를 나타내었고 식물플랑크톤은 각각 10.0%, 22.8%의 감소를 보

였다.

COD의 수평분포는 Case B1과 Case C1 모두 해역수질 II등급을 만족하는 것으로 나타났고 식물플랑크톤은 Case B1보다는 Case C1이 감소가 컸다. DIN은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다 (Fig. 6~8). 따라서, Case C1이 최적입식위치이며 또한, 이 경우 COD 삭감률은 마산만 전체로 보면 17.7%이나 오염이 심화된 내측의 경우는 50%에 가까운 것으로 판단된다.

### 3.3 최적 입식 개체수

최적입식위치로 나타난 Case C1을 기준으로 하여 최적입식개체수를 구하기 위해 연승수하식 표준설계(국립수산과학원, 1996)를 고려한 35 개체/m<sup>3</sup>(Case C2)와 그 절반인 17 개체/m<sup>3</sup>(Case

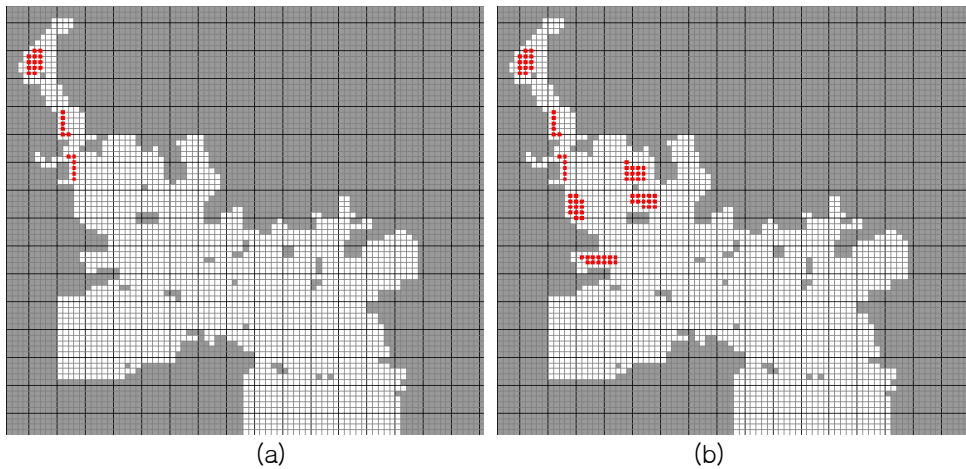


Fig. 5. Comparison of modeling case for choosing optimal culture site(a : case B1, b : case C1).

Table 2. Control condition of modeling & comparison of modeling results at case B1, C1

Item		Case B1	Case C1
Condition	Site	A~C	A~F
	Area	300 ha	924 ha
	Quantity	35 ind./m <sup>3</sup>	35 ind./m <sup>3</sup>
Reduction Efficiency	Phytoplankton	10.0 %	22.8 %
	POC	5.8 %	13.7 %
	DIN	-0.1 %	-1.3 %
	COD	7.6 %	17.7 %

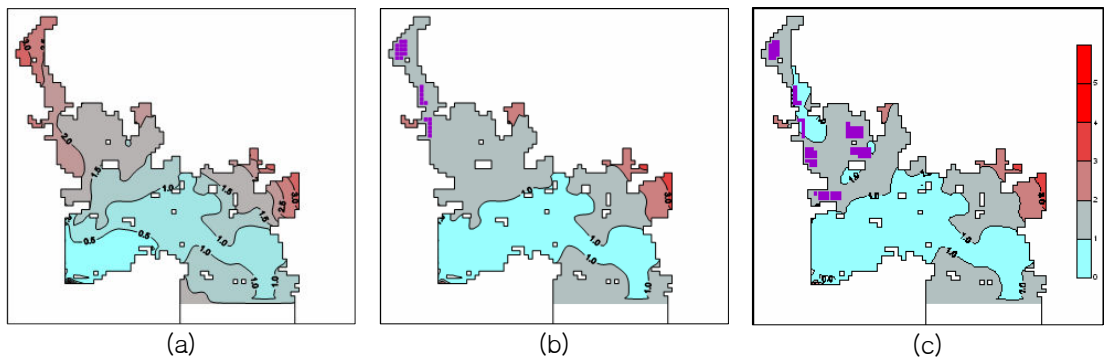


Fig. 6. The distribution of simulated COD for choosing optimal culture site  
(a : Case A1(No Mussel condition), b : Case B1, c : Case C1)

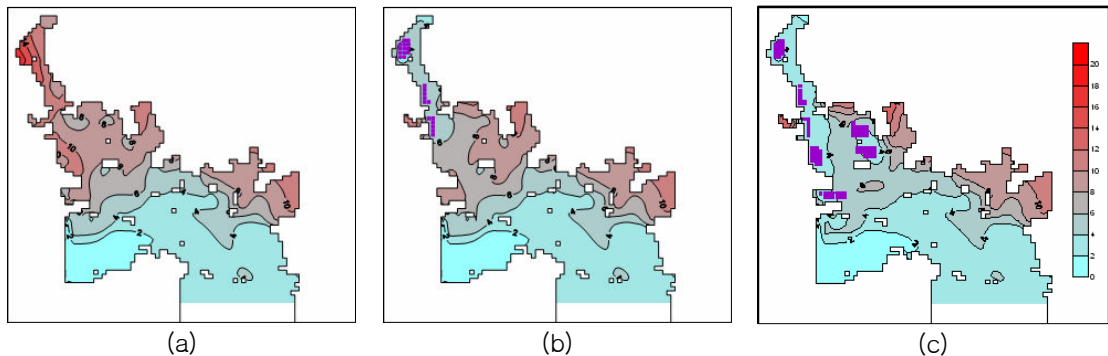


Fig. 7. The distribution of simulated Chl. a for choosing optimal culture site  
(a : Case A1(No Mussel condition), b : Case B1, c : Case C1)

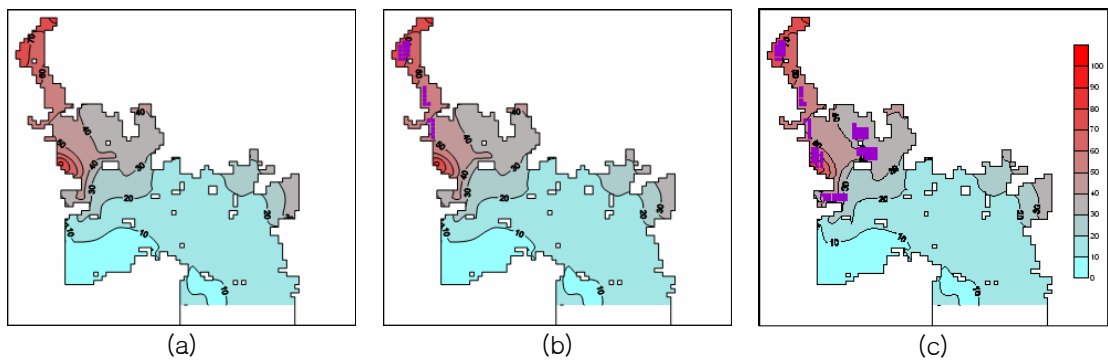


Fig. 8. The distribution of simulated DIN for choosing optimal culture site  
(a : Case A1(No Mussel condition), b : Case B1, c : Case C1)

B2)를 입식하여 양식장이 없는 경우와 비교한 결과를 Table 3에 나타내었는데 COD의 경우 양식장 입식이 없는 경우에 비해 Case B2는 8.2%,

Case C2는 17.7%의 감소를 나타내었고, Phytoplankton은 각각 13.6%, 22.8%의 감소를 보였다. COD의 수평분포는 Case B2는 내측에서



해역수질 II등급을 초과하는 지역이 일부 있었고 Case C2는 해역수질 II등급을 만족함에 따라 Case C2가 최적입식개체수인 것으로 나타났다. 식물플랑크톤은 Case B2보다는 Case C2에서 농도의 감소가 컸으며 DIN은 거의 변화가 없었다 (Fig. 9~11).

### 3.4 최적 입식 면적

양식장 설치 및 유지관리비용과 관련하여 중요한 의미를 가지는 입식면적에 있어 최적입식 위치로 나타난 A~F 지점과 최적입식개체수인 35 개체/m<sup>3</sup> 그리고 마산만 전체 수면적의 3.8 %(Case E3 : 924 ha)를 기준으로하여 입식면적을 각각 0.8%(Case B3:192 ha), 1.6%(Case C3:384 ha), 2.4%(Case D3:576 ha)에 대해 양식장이 없는 경

우와 비교한 결과를 Table 4에 나타내었는데 COD의 경우 양식장 입식이 없는 경우에 비해 Case B3는 3.4%, Case C3는 6.9%, Case D3는 10.2%, Case E3는 17.7%의 삭감효과가 나타났고 Phytoplankton은 각각 6.2%, 11.6%, 15.9%, 22.8 %의 감소를 보였다. COD의 수평분포는 Case D3과 Case E3 모두 해역수질 II등급을 만족하는 것으로 나타났고 COD의 저감은 Case E3가 더 컸다. 식물플랑크톤은 Case B3에서 Case E3로 양식장 입식면적이 증가할수록 감소가 컸으며 DIN은 Case B3에서 Case D3까지는 거의 변화가 없었으나 Case E3의 경우 약간 증가하였다(Fig. 12~14). 따라서, 마산만의 수질개선을 위한 지중해 담치 양식의 최적입식면적은 약 500 ha정도가 효율적인 것으로 나타났다.

Table 3. Control condition of modeling & comparison of modeling results at case B2, C2

Item		Case B2	Case C2
Condition	Site	A~F	A~F
	Area	924 ha	924 ha
	Quantity	17 ind./m <sup>3</sup>	35 ind./m <sup>3</sup>
Reduction Efficiency	Phytoplankton	13.6%	22.8 %
	POC	4.5%	13.7 %
	DIN	-0.4%	-1.3 %
	COD	8.2%	17.7 %

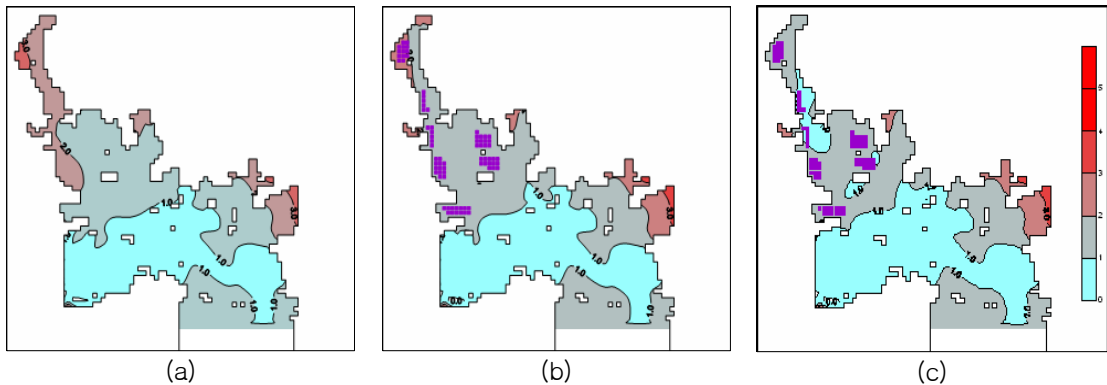


Fig. 9. The distribution of simulated COD for choosing optimal culture quantity (a: Case A2(No Mussel condition), b: Case B2, c : Case C2)

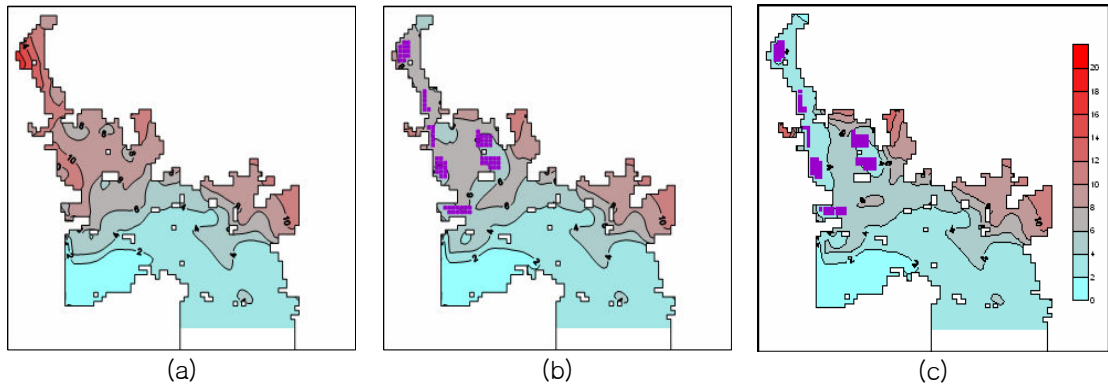


Fig. 10. The distribution of simulated Chl. a for choosing optimal culture quantity (a : Case A2(No Mussel condition), b: Case B2, c : Case C2)

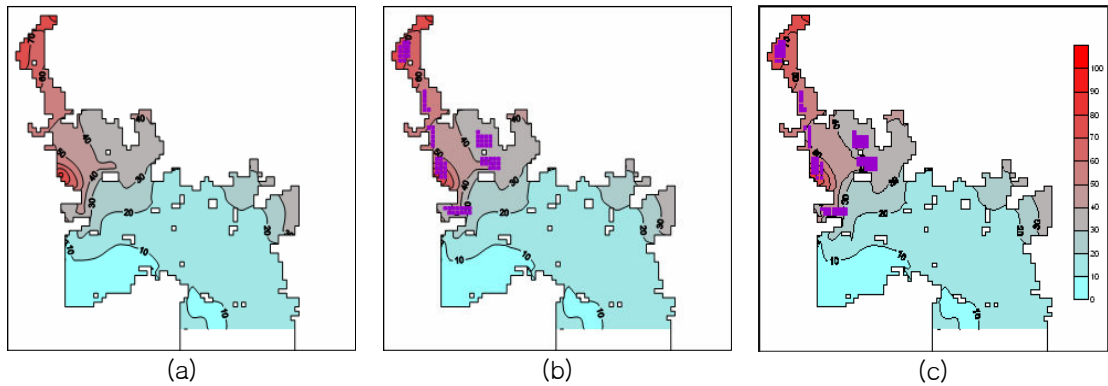


Fig. 11. The distribution of simulated DIN for choosing optimal culture quantity (a : Case A2(No Mussel condition), b : Case B2, c : Case C2)

Table 4. Control condition of modeling & comparison of modeling results at case B3~E3

Item		Case B3	Case C3	Case D3	Case E3
Condition	Site	A~F	A~F	A~F	A~F
	Area	192 ha(0.8%)	384 ha(1.6%)	576 ha(2.4%)	924 ha(3.8%)
	Quantity	35 ind./m <sup>3</sup>	35 ind./m <sup>3</sup>	35 ind./m <sup>3</sup>	35 ind./m <sup>3</sup>
Reduction Efficiency	Phytoplankton	6.2%	11.6%	15.9%	22.8 %
	POC	1.5%	3.7%	6.2%	13.7 %
	DIN	-0.2%	-0.3%	-0.4%	-1.3 %
	COD	3.4%	6.9%	10.2%	17.7 %

\* The % value in the parenthesis is that the partial of whole surface area.

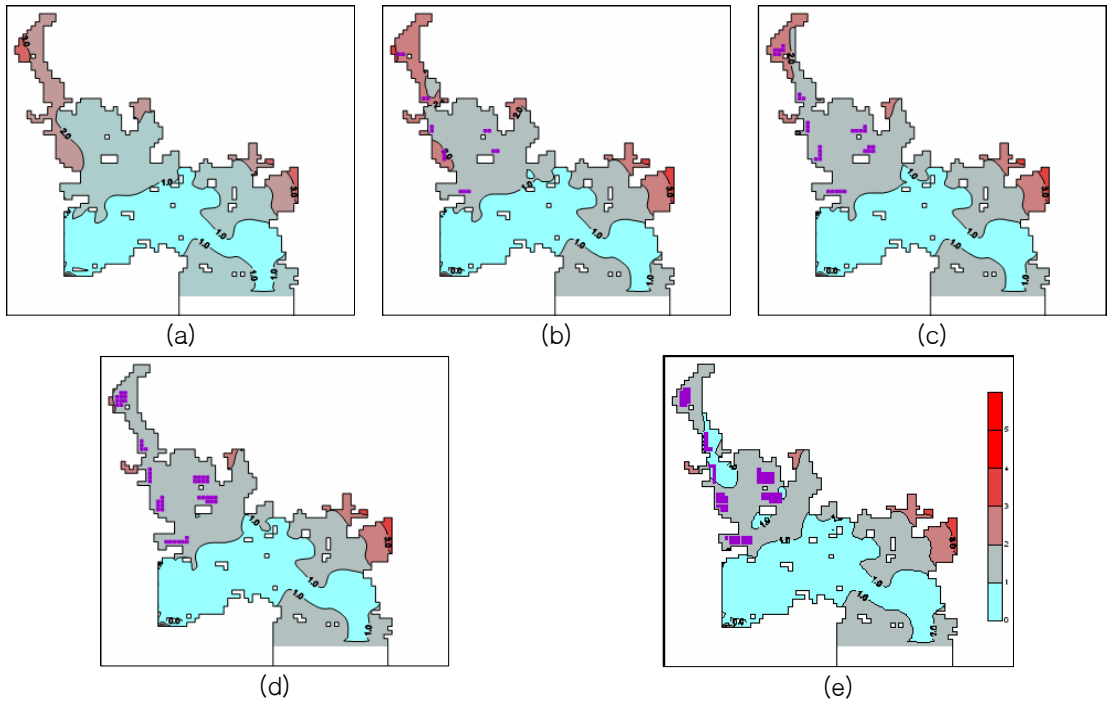


Fig. 12. The distribution of simulated COD for choosing optimal culture area size(a : Case A3(No Mussel condition), b : Case B3, c : Case C3, d : Case D3, e : Case E3)

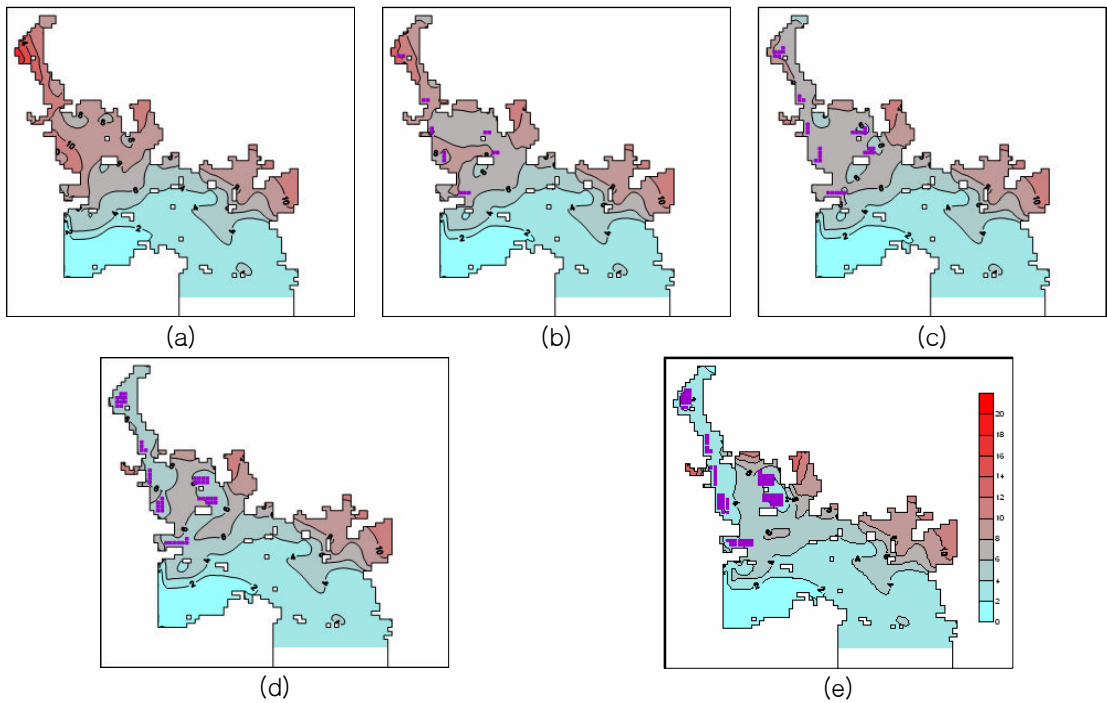


Fig. 13. The distribution of simulated Chl. a for choosing optimal culture area size(a : Case A3(No Mussel condition), b : Case B3, c : Case C3, d : Case D3, e : Case E3)

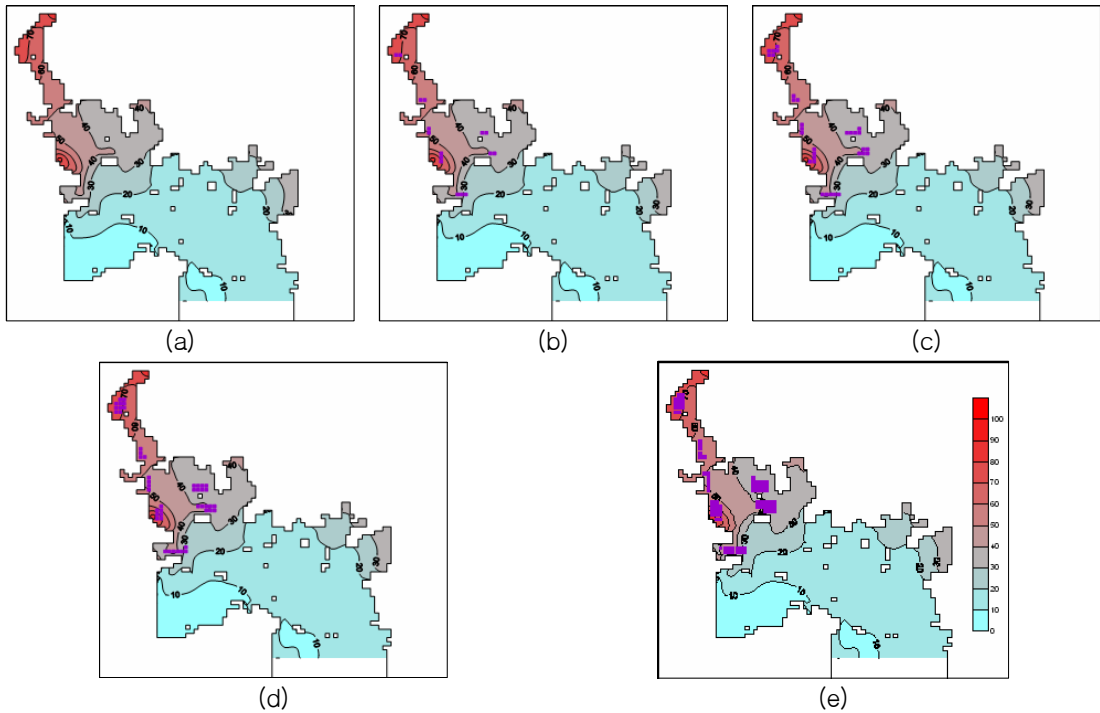


Fig. 14. The distribution of simulated DIN for choosing optimal culture area size(a : Case A3(No Mussel condition), b : Case B3, c : Case C3, d : Case D3, e : Case E3)

## 감사의 글

이 연구는 국립수산물학원의 사업과제(연안어장환경용량산정연구, RP-2007-ME-XXX)의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고 문헌

김동명, 생태계모델을 이용한 황해의 부영양화 모델링, 박사학위논문, 부경대학교, p. 143, 1999.  
 김중구, 진해만 해역의 하계 부영양화 모델링, 박사학위논문, 부산수산대학교, p. 130, 1994.  
 김용술, 문태석, 수온과 개체크기에 따른 양식산미더덕, 흰명게, 진주담치의 여수율, 한국수산학회지, 제 31권 제 2호, pp. 272-277, 1998.  
 이원찬, 김형철, 최우정, 박청길, 이필용, 구준호,

패류양식해역 환경용량 산정 모델 구축-1. 모델 검정 및 민감도 분석, 한국수산학회지, 제 35권 제 4호, pp. 386-394, 2002a.  
 이원찬, 김형철, 최우정, 박종수, 박청길, 김동명, 구준호, 굴 양식수역의 환경용량 산정-2. 거제, 한산만의 환경용량, 한국수산학회지, 제 35권 제 4호, pp. 408-416, 2002b.  
 최우정, 진해만의 빈산소수괴 형성에 관한 시뮬레이션, 박사학위논문, 부산수산대학교 p. 97, 1993.  
 국립수산물학원, 주요 양식 품종별 설계도(연승수하식 표준설계). 양식자료집, 제27호, 1996.  
 최태섭, 김광용, 잘피밭에서 생육하는 구멍갈파래(Ulva pertusa Kjellman)의 생장과 영양염흡수의 시간적 변화. 한국조류학회지, 제 17권 제 4호, pp. 249-257, 2002.  
 해양수산부, 전국 품종별 패류생산 통계 ([http://fs.fips.go.kr/index3\\_1.jsp](http://fs.fips.go.kr/index3_1.jsp)), 2006.

- 中田喜三郎 · 石川公敏 · 松川康夫. 1985. 内灣の流動場の數値實驗. 沿岸海洋研究ノート, Vol. 22, No. 2, pp. 96-108, 1985.
- Bayne, B. L., A. J. S. Hawkins, Filter-feeding in bivalve molluscs: control on energy balance. In: J. Mellinger(Editor), Animal nutrition and transport processes, Vol. 1. Nutrition in wild and domestic animals. Karger, Basel, pp. 70-83, 1990.
- Doering, P. H. and C. A. Oviatt, Application of filtration rate models to field populations of bivalves : An assessment using experimental mesocosms. Marine Ecology Progress Series, Vo. 31, pp. 265-275, 1986.
- Dowd, M. On predicting the growth of cultured bivalves. Ecological Moddeling, Vol. 104, pp. 113~131, 1997.
- Geffard, O., E. His, H. Budzinski, M. Seaman, P. Garrigues, Qualite biologique de l'eau de merevalue in situ par le test embyro-larvaire de *Crassostrea gigas* et *Mytilus galloprovincialis*, Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Serie III, Science de la Vie, 324, pp. 1149-1155, 2001.
- Goldberg, E. D., K. K. Bertine, Beyond the mussel watch-new directions for monitoring marine pollution, The Science of the Total Environment. Vol. 247, No.2-3, pp. 165-174, 2000.
- Hibbert, C. J., Growth and survivorship in a tidal-flat population of the bivalve *Mercenaria mercenaria* from Southampton Water. Marine Biology, Vol. 44, pp. 71-76, 1977.
- Je, J. G., J. S. Hong, S. K. Yi, A study on the fouling organisms in the pearl oyster culture grounds in the southern coast of Korea. Ocean Reaserch, Vol. 10, No. 1, pp. 85-105, 1988.
- Kremer J., Nixon. S. W., A coastal marine ecosystem: Simulation and analysis, Springer-Verlag, pp.16, 1978.
- Kohata, K., T. Hiwatari, T. Hagiwara, Natural water purification system observed in a shallow coastal lagoon: Matsukawa-ura, Japan, Marine Pollution Bulletin, Vol. 47, pp. 148-154, 2003.
- Nakanish, H., Inflowing pollution loads relation to eutrophication of water bodies and their control. Science Forum of the Seto inland Sea, Vol. 1, No. 3, pp. 31-43, 1990.
- Nakata, K., Taguchi, K., Numerical simulation of eutrophication process in coastal bay by eco-hydrodynamic model, (2)Ecological modeling, Bulletin of the National Research Institute Pollution and Resources 12, pp. 17-36, 1982,
- Powell, E. N., E. E. Hofmann, J. M. Klink, S. M. Ray, Modeling oyster populations. I. A commentary on filterlration rate. Is faster always better?. J. shellfish Res., Vol. 11, No. 2, pp. 387-398, 1992.
- Smolders, R., L. Bervoet, R. Blust, In situ and laboratory bioassays to evaluate the impact of effluent discharges on receiving aquatic ecosystems. Environmental Pollution, Vol. 132, No. 2, pp. 231-243, 2004.
- Verdelhos, T., J. M. Neto, J. C. Marques, M. A. Parda, The effect of eutrophication abatement on the bivalve *Scrobicularia plana*. Estu. coast. and shelf science, Vol. 63, pp. 261-268, 2005.
- Walne, P. R. The influence of current speed, body size and water temperature on the

- filtration rate of five species of bivalves. J. Mar. Biol. Assoc. U.K., Vol. 52, pp. 345-374, 1972.
- Wedderburn, J., I. McFadzen, R. C. Sanger, A. Beesley, C. Heath, M. Hornsby, D. Lowe, The field application of cellular and physiological biomarkers, in the mussel *Mytilus edulis*, in conjunction with early life stage bioassays and adult histopathology. Marine Pollution Bulletin, Vol. 40, No. 3, pp. 257-267, 2000.
- Yanagi, T., M. Yamada, M. Suzuki, A challenge of water purification in Dokai bay. Marine pollution bulletin, Vol. 38, No. 12, pp. 1063-1069, 1999.