

論 文

생태계모델을 이용한 울산만의 수질 시뮬레이션

김 광 수*

A Numerical Simulation of Marine Water Quality in Ulsan Bay using an Ecosystem Model

G. S. Kim

Key Words : 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand), 부유물질(Suspended solid), 생태계모델(Ecosystem model), 해양수질관리(Management of marine water quality), 수질변화예측(Prediction of water quality change), 연안개발(Coastal developments), 방파제(Breakwater), 해양시설(Marine facilities)

Abstract

The distributions of chemical oxygen demand (COD) and suspended solid (SS) in Ulsan Bay were simulated and reproduced by a numerical ecosystem model for the practical application to the management of marine water quality and the prediction of water quality change due to coastal developments or the constructions of breakwater and marine facilities. Comparing the computed with the observed data of COD and SS in Ulsan Bay, the results of simulation were found to be good enough to satisfy the practical applications.

1. 서론

세계적으로 지구환경문제가 제기되고 해양환경 보전에 대한 관심이 고조되면서 해양오염문제도 크게 부각되고 있다. 신해양경쟁시대에 일류해양국가로 발전하기 위해서는 연안 및 항만의 수질관리 문제가 선결되어야 할 당면 과제의 하나이다.

연안 해역의 해수는 해상운송, 수산·양식, 염전,

공업용수와 냉각수, 심미적·오락적 향유 등 다양한 분야에 이용되는 수자원으로서 그 가치는 무한하다. 그러나 인구의 증가, 도시화에 따른 인구의 집중, 공업화에 따른 연안 및 항만의 개발 등으로 인하여 파생되는 수질오염은 이미 사회적인 문제로 부각되었다. 특히 폐쇄성이 강한 내만이나 연안해역은 해수의 흐름이 제약을 받아 해수교환율이 저조하기 때문에 유입하는 오염물질이 쉽게

* 정회원, 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

회석·확산되지 못하고 점점 축적됨으로써 수질오염 및 저질오염이 가속화되고 있는 실정이다. 부영양화, 적조, 빈산소수괴 형성 등 환경악화현상이 발생하면 수산·양식에 막대한 피해를 유발할 뿐만 아니라 연안해역의 다양한 이용에 막대한 지장을 초래할 정도로 바다의 기능이 현저하게 저하된다. 또한 항만개발이나 해안매립과 같은 인위적 연안·항만개발은 개펄이나 양식장을 소멸시키고 해역의 자정능력을 저하시켜 연안생태계를 파괴시킴으로써 그로 인한 피해도 엄청나다. 그러므로 연안해역의 환경을 보전하면서 연안해역의 용도에 적합한 수질을 유지하기 위한 관리가 필요하다. 해양 수질 관리를 위해서는 먼저 물리, 화학, 생물, 지질 등 여러 분야에서 조사·분석한 자료를 축적함으로써 수질, 저질, 생물상 등의 현황을 정확히 해석하고 진단하는 등 생태 환경의 현황을 상세히 파악한 후, 해양의 환경조건이 변함에 따라 수질이 어떻게 변동하는지를 예측할 수 있어야 한다. 그래서 수질 예측이 가능하면 적절한 수질관리방안이 도출될 수 있으며, 이러한 수질 예측을 위한 도구로서는 수치모델이 널리 이용되고 있다(中田 등, 1985).

일반적으로 연안 해역의 수질에 영향을 주는 가장 중요한 요소는 해역으로 유입하는 오염부하이고, 이렇게 유입된 해수중의 질소와 인과 같은 영양염류가 식물플랑크톤에 섭취되면 내부생산이 증가하여 COD 상승의 원인이 되기 때문에 COD 외에도 질소와 인은 부영양화의 수질지표이다. 그래서 복잡한 물질순환 관계를 가진 부영양화 해역의 수질이 쉽게 개선되지 않기 때문에, 수질 관리 항목인 COD, 질소, 인에 대한 환경기준을 강화하여 오염부하를 줄이고, 저질을 준설하거나 저질을 피복하여 용출부하를 억제하며, 수중구조물을 설치하여 통기를 활성화하고, 수로를 만들거나 변경함으로써 해역의 흐름을 변화시켜 해수교환량을 촉진시키는 공학적 수법을 도입하며, 수역의 환경용량을 고려하여 양식밀도를 적정 수준으로 유지하는 등 수질개선을 위한 여러 가지 방안이 제기되고 있다(환경처, 1991). 이러한 수질관리방안의 선택을 결정하거나, 선정된 방안의 정량적 검토를 위해서는 수질모델이 이용되며, 무엇

보다 생태계모델이 가장 유용하다. 생태계모델은 비보존성 물질인 유기물, 질소·인 등의 영양염류 및 동·식물플랑크톤 등 생물의 구성요소를 포함하고 있어서 물질순환의 해석이 가능하고 또한 유체역학 모델의 해수유동 결과와 연계되어 있기 때문에, 연안의 수질을 보다 정확히 예측할 수 있다. 따라서 생태계모델은 오염부하 삭감량 또는 환경용량을 산정하는데 이용될 수 있기 때문에(中田과 藏本, 1992) 수질관리방안을 제시하기 위한 강력한 도구이다(中田과 石川, 1979).

서구의 선진국에서는 해양수질관리를 위한 수치모델이 다양하게 발전되어 왔다(Thomman, 1964; Leendertse and Gritton, 1971; Lung, 1988; Takeshi, 1988; Cerco and Cole, 1993; Jorgensen *et al.*, 1996). 일본에서는 수치생태계모델로서 연안생태계 모델(中田과 石川, 1979; 石川과 中田, 1993), 생태-유체역학모델(中田과 田口, 1982), 영양염순환의 관점에서 적조의 동태를 기술하기 위한 저차생태계 모델(池田과 中田, 1987), 양식장의 물질순환모델(武岡 등, 1988) 등 다양한 모델이 개발되어 수질예측 및 수질관리에 이용되어 왔으며, 최근에는 고영양단계 생물의 구성요소로서 어류를 포함시킨 연안생태계 모델(關根 등, 1994)을 개발하여 어류의 폐사 사고를 해석하기에 이르렀다. 국내의 경우, 수질모델은 주로 토사나 염분과 같은 보존성 물질의 분포 예측에 적용되는 2차원 모델이 대부분이며, 유기물과 같은 비보존성 물질을 보존성으로 취급하여 분포를 예측하는 경우가 많았다. 그래서 해수중에서의 물질순환을 해석할 수 있는 생태계모델의 개발과 적용이 필요한 실정이다. 최근에 최 등(1994)과 김 등(1994, 1995)이 3차원 생태계모델을 진해만에 적용함으로써 각각 용존산소와 식물플랑크톤의 농도 분포를 시뮬레이션하고 예측하여 수질관리방안을 제시하였고, 김 등(1996)도 3차원 생태계모델을 황해에 적용하여 환경용량을 산정한 바가 있다. 그러나 생태계모델을 울산만에 적용하여 연안수질을 재현한 연구는 찾아보기 어렵다.

그래서 본 연구는 연안수질을 예측하고 관리하는

기술에 관한 기본적 단계를 제시하기 위하여 항만의 개발과 이용이 활발한 울산만에 생태계모형을 적용함으로써 화학적 산소요구량(COD)과 부유물질(SS)의 분포를 재현하고자 하였다. 이러한 기법은 연안의 부영양화 및 적조에 대한 제어 등 수산·양식을 위한 해양수질관리를 비롯하여 항만 및 연안 개발에 따른 해양환경영향평가 등 다양한 측면에 활용될 수 있을 뿐만 아니라 해양환경관리에 관한 정책 결정 및 해양환경 분쟁에 대비한 기술 개발 등에 기여할 것으로 기대된다.

2. 생태계모델

2.1 생태-유체역학모델의 개요

본 연구에 이용된 생태-유체역학모델(Eco-hydrodynamic model)은 해수 유동 시물레이션을 위한 다층모델(Multi-level model : COSMOS)과 수질 시물레이션을 위한 생태계모델(Ecosystem model : EUTRP2)로 구성되어 있다(通商産業省, 1986).

Fig. 1과 같이 생태계모델을 이용하여 수질 시물레이션을 수행하기 위해서는 먼저 해수 유동이 재현되어야 하고, 그 중에서 잔차류의 결과를 생태계모델에 입력하여 수질 시물레이션을 실행한다(柳, 1993).

2.2 생태계모델의 개요

2.2.1 모델의 구성

생태계모델(EUTRP2)은 해역의 생태계를 Fig. 2와 같이 모델화하여 동·식물플랑크톤의 저차생산자를 중심으로 영양소(탄소(C), 질소(N), 인(P))의 생화학적 순환과정을 해석함으로써 COD의 내부생산뿐만 아니라, 용존산소(DO) 농도를 동적으로 예측할 수 있다.

생태계모델은 Table 1에 제시한 바와 같이 8개의 구성요소(compartment)로 구성되어 있으며, 각 구성요소들 사이에 질소(N), 인(P) 및 산소(O₂)의 생화학적 순환과정이 정량화되어 있다.

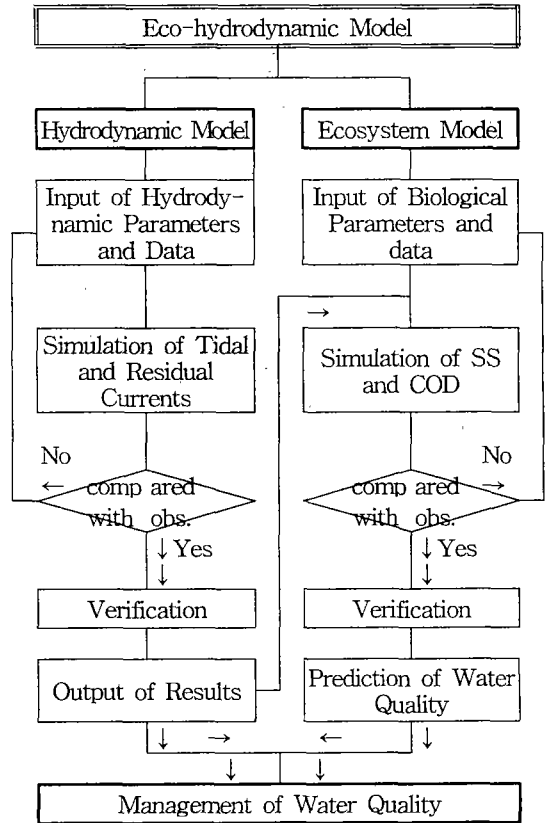


Fig. 1 Simulation flow by eco-hydrodynamic model.

Table 1. The compartments of an ecosystem model

	Compartment
Organic form (mg-C/m ³)	Phytoplankton (P) Zooplankton (Z) Particulate Organic Carbon (POC) Dissolved Organic Carbon (DOC)
Inorganic form (μmol/l)	Dissolved Inorganic Phosphorus (DIP) (PO ₄ ³⁻ -P) Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN) (NH ₃ -N + NO ₂ ⁻ -N + NO ₃ ⁻ -N)
Water quality (mg/l)	Dissolved Oxygen (DO) Chemical Oxygen Demand (COD)

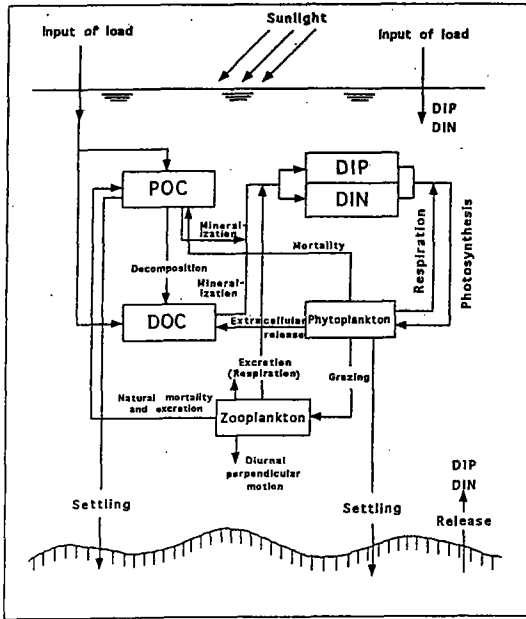


Fig. 2 The schematic diagram for the cycle of nutrients(N and P) in the marine ecosystem.

생태계모델은 생태계내 물질의 보존을 나타내는 미분방정식으로 구성되어 있지만, 모든 순환경로가 실험이나 관측 사실로부터 유도된 경험식에 따르고 있고, 기구에 있어도 유체역학모델과 같은 물리법칙에 근거한 모델과는 성격이 다르다. 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 인산염(DIP)과 용존성 전무기질소(DIN)가 있으며, 수질의 구성요소로서 용존산소(DO)와 화학적산소요구량(COD)이 정의되어 있다. 저생생물이나 퇴적물 등으로 이루어진 해저계도 환경인자로서 취급하여 모델의 변수로 되어 있다.

2.2.2 모델의 정식화

어떠한 구성요소에 대해서도 그의 현존량(또는

농도)은 다음과 같은 확산방정식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial B}{\partial t} = & -u \frac{\partial B}{\partial x} - v \frac{\partial B}{\partial y} - w \frac{\partial B}{\partial z} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} [K_x \frac{\partial B}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [K_y \frac{\partial B}{\partial y}] \\ & + \frac{\partial}{\partial z} [K_z \frac{\partial B}{\partial z}] + (\frac{dB}{dt})^* \quad (1) \end{aligned}$$

여기서, x, y, z는 직교좌표변수, t는 시간, u, v, w는 x, y, z방향의 유속성분, Kx, Ky, Kz는 x, y, z방향의 와동확산계수, B는 구성요소의 현존량(또는 농도), (dB/dt)*는 모든 생물-화학적 과정에 의한 단위시간당 구성요소의 변화량을 나타낸다.

상기의 확산방정식에는 해수유동(이류)에 의한 물질수송을 계산하는 항이 포함되어 있어서 생태계 모델은 다층유동모델(COSMOS)과 연결되어 있다. 유동모델에 의하여 계산된 유속성분(u,v,w)을 생태계 모델에 입력하여 각 구성요소의 현존량의 시간적, 공간적인 변화를 계산한다.

본 연구에서는 단지 부유물질(SS)과 화학적 산소요구량(COD)의 정식화에 관하여 간략히 설명한다.

2.2.3 부유물질(SS)

총부유물질(TSS)은 휘발성 부유물(VSS)과 강열잔부유물(FSS)로 구성되어 있으며, 그 중에서 휘발성 부유물(VSS)은 식물플랑크톤(P)과 동물플랑크톤(Z) 그리고 detritus인 현탁태 유기물(POC)로 이루어진다. 그래서 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$TSS = VSS + FSS = P + Z + POC + FSS \quad (2)$$

① 식물플랑크톤 구성요소

식물플랑크톤 생물량, P(mg C/m³)의 시간에 따른 농도 변화는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dt} = & \text{광합성에 의한 증식} - \text{세포외분비} - \text{호흡} \\ & - \text{동물플랑크톤에 의한 섭취} - \text{고사} - \text{침강} \quad (3) \end{aligned}$$

② 동물플랑크톤 구성요소

동물플랑크톤 생물량, $Z(\text{mg C/m}^3)$ 의 시간에 따른 농도 변화는 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{dZ}{dt} = \text{섭식} - \text{배분} - \text{배설} - \text{자연사망} \pm \text{일주수직이동} \quad (4)$$

③ 현탁태유기물 구성요소

현탁태 유기물 구성요소는 비생물태의 입자상유기물(detritus)를 의미하며, 현탁태 유기물(POC : mg C/m^3)의 시간에 따른 변화는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(\text{POC}) = & \text{식물플랑크톤 고사} + \text{동물플랑크톤} \\ & \text{배분} + \text{동물플랑크톤 자연사망} \\ & - \text{현탁태 유기물의 세균에 의한 분해} \\ & - \text{침강} + \text{계외로부터 유입} \end{aligned} \quad (5)$$

2.2.4 화학적 산소요구량(COD)

각 생물과정의 정식화를 통해서 해역내의 각 태의 유기물에 대한 단위시간당의 증감량이 구해진다.

즉, $(\frac{dP}{dt})$, $(\frac{dZ}{dt})$, $(\frac{d\text{POC}}{dt})$, $(\frac{d\text{DOC}}{dt})$

이 유기물의 변화량을 나타낸다.

이들은 탄소량으로 표현된 변화량이지만, 이 탄소량에 COD(mg/l)농도로 환산하는 각 계수 [COD : C_P], [COD : C_Z], [COD : C_{POM}], [COD : C_{DOM}]을 곱함으로써 구한 COD의 변화량, 즉 내부생산량은 다음의 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} (\frac{d\text{COD}}{dt}) = & [\text{COD} : C_P](\frac{dP}{dt}) \\ & + [\text{COD} : C_Z](\frac{dZ}{dt}) \\ & + [\text{COD} : C_{\text{POM}}](\frac{d\text{POC}}{dt}) \\ & + [\text{COD} : C_{\text{DOM}}](\frac{d\text{DOC}}{dt}) \end{aligned} \quad (6)$$

3. 재료 및 방법

3.1 현장 조사 및 채수

울산만의 수질현황을 조사하기 위해서 1995년 5월 13일 (대조기와 저조기의 중간에 해당하는 월령 13일), 오염물질이 하천으로부터 연안해역으로 완전히 유출되었다고 판단되는 저조시에, Fig. 3과 같이 10개의 정점을 선정하여 현장 관측과 동시에 표층 및 저층의 해수를 채취하여 실험실로 운반하여 분석하였다. 또한 정선관측지점을 선정하고 전자유속계를 이용하여 표층에서 10m 수심까지 매 1m마다 조류의 유향과 유속을 20분마다 측정하였으며, Drogue를 투척하여 해수유동을 관측하였다.

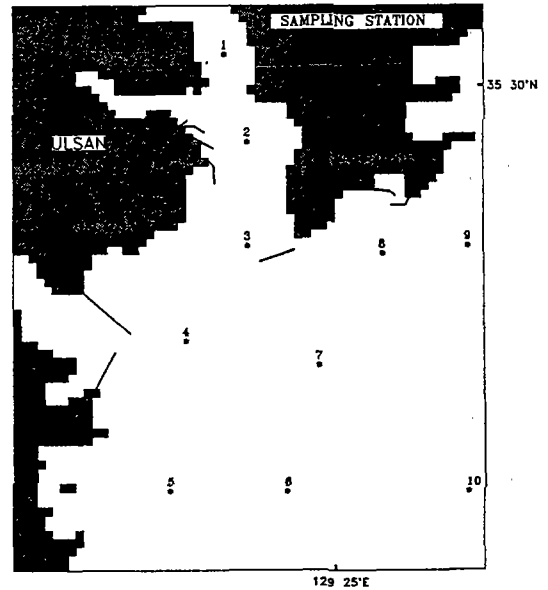


Fig. 3 Sampling stations in Ulsan Bay.

3.2 수질분석

해양 수질 시뮬레이션을 위한 분석 항목은 수온 (Temp.), 염분(Sal.), pH, 투명도(Trans.), 용존산소 (DO), 총부유물질(TSS), 휘발성 부유물질(VSS), 화

학적 산소요구량(COD), 아질산질소(NO_2^- -N), 질산질소(NO_3^- -N), 암모니아질소(NH_4^+ -N), 인산인(PO_4^{3-} -P), 클로로필 a (Chl-a), 입자유기질소(PON), 입자유기탄소(POC) 및 용존유기탄소(DOC)이다. 그리고 용존무기질소(DIN)는 NH_4^+ -N, NO_2^- -N, NO_3^- -N의 합계를 의미한다.

3.3 시뮬레이션 방법

3.3.1 모델 영역

모델 영역은 당원리에서 울기까지 울산만을 포함한 연안해역이고, 격자는 동서 및 남북 방향으로 185.2m의 정방격자이며, 격자수는 60×71 으로서 유한차분법에 의한 해수유동모델의 영역과 동일한 격자망을 구성하였다.

3.3.2 초기값 및 경계값

생태계모델(EUTRP2)은 3차원 시뮬레이션이 가능하지만, 본 연구에서는 2차원 시뮬레이션을 실행하기 위한 생태계 구성요소들의 초기값, 경계값 및 입력자료는 수질 분석 결과 등을 이용하였으며 Table 2에 정리하여 제시하였다. 해수유동 시뮬레이

Table 2 Input data for ecosystem model

Parameter	Input value		
Mesh size	$\Delta x = \Delta y = 185.2\text{m}$		
Water depth	Chart datum+MSL		
Time interval	60 sec		
Horizontal viscosity coef.	$3.0 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$		
Horizontal diffusion coef.	$3.0 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$		
Vertical diffusion coef.	1.0 cm^2/s		
Initial and boundary values of model domain, and pollution loads from Taehwa River			
Item	Initial	Boundary	Loads
DO (mg/ℓ)	6.55	6.57	10.7 t/day
COD (mg/ℓ)	2.00	2.12	24.5 t/day
DIP (mmol/m^3)	0.61	0.82	0.7 t/day
DIN (mmol/m^3)	11.85	3.18	7.0 t/day
POC (mgC/m^3)	251.80	329.37	3.5 t/day
DOC (mgC/m^3)	1250.00	1260.00	8.8 t/day
PHY (mgC/m^3)	145.50	107.60	-
ZOO (mgC/m^3)	5.10	5.10	-

션에 의하여 얻은 잔차류의 결과(Fig. 4)를 현장관측 자료와 비교하여 검증한 후, 생태계모델에 입력하여 수질 시뮬레이션을 실행하였다(柳, 1993).

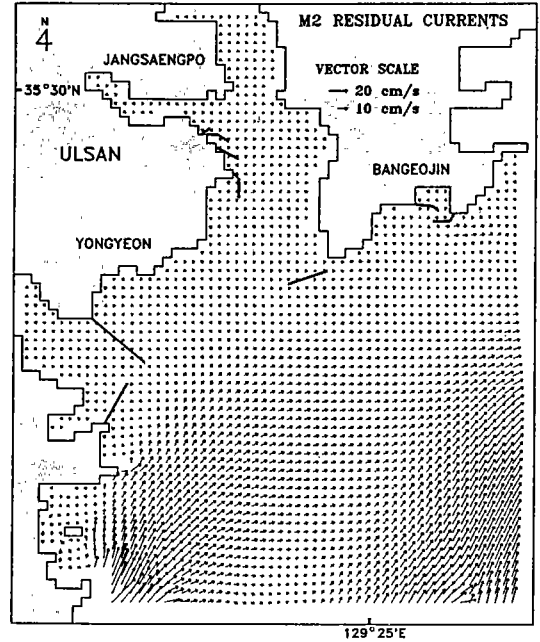


Fig. 4 Residual flows in Ulsan Bay

3.3.3 수질 항목

생태계모델의 모든 구성요소들에 대하여 수질 시뮬레이션 결과를 표현할 수 있지만, 본 연구에서는 대표적 수질항목으로 이용되는 부유물질과 화학적 산소요구량에 대한 결과만을 제시하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 수질분석 결과

울산만의 수질분석 결과는 단지 부유물질과 화학적 산소요구량에 대하여 간략히 설명하였다.

4.1.1 부유물질

부유물질(SS)은 표층의 경우 2.81~17.10 mg/ℓ , 저층의 경우 4.41~16.67 mg/ℓ 의 농도를 나타내었고

지점별로는 울산항에 위치한 1번 정점과 2번 정점이 만의 외해역에 비하여 높게 나타난 반면에, 만의 외해역에 위치한 정점 10에서 낮게 나타났다. 따라서 1번 정점을 제외하면 울산만의 부유물질은 해역수질환경기준 I 급수를 유지하고 있었다(Table 3).

Table 3 Comparason of the observed with the computed SS in Ulsan Bay

St. No.	WaterL ayer	Suspended Solid (mg/ℓ)				
		Obs.	Obs. Mean (A)	Compt (B)	Error (A-B)	R.E. (%) (A-B)/A
1	S	17.10	16.89	16.06	0.83	4.9
	B	16.67				
2	S	9.88	8.20	6.85	1.35	16.5
	B	6.51				
3	S	7.71	6.77	6.37	0.40	5.9
	B	5.83				
4	S	6.93	5.70	6.18	-0.48	- 8.4
	B	4.47				
5	S	6.88	5.92	6.12	-0.20	- 3.4
	B	4.95				
6	S	4.52	6.16	6.27	-0.11	- 1.8
	B	7.80				
7	S	6.54	6.33	6.55	-0.22	- 3.6
	B	6.11				
8	S	5.15	5.88	5.95	-0.07	- 1.2
	B	6.61				
9	S	3.91	4.20	3.50	0.70	16.7
	B	4.49				
10	S	2.81	3.61	4.02	-0.41	-11.4
	B	4.41				

4.1.2 화학적 산소요구량

화학적 산소요구량(COD)은 표층의 경우 1.74~3.53mg/ℓ, 저층의 경우 1.47~2.29mg/ℓ의 농도를 나타내었고 지점별로는 울산항에 위치한 1번 정점과 2번 정점이 만의 외해역에 비하여 다소 높게 나타났다. 따라서 1번 정점과 2번 정점을 제외하면 울산만

의 COD는 해역수질환경기준 II급수에 해당하였다 (Table 4).

Table 4 Comparason of the observed with the computed COD in Ulsan Bay

St. No.	WaterL ayer	Chemical Oxygen Demand (mg/ℓ)				
		Obs.	Obs. Mean (A)	Compt (B)	Error (A-B)	R.E. (%) (A-B)/A
1	S	3.53	2.91	3.03	-0.12	- 4.1
	B	2.29				
2	S	2.53	2.29	2.40	-0.11	- 4.8
	B	2.05				
3	S	1.79	1.85	2.11	-0.26	-14.1
	B	1.90				
4	S	1.86	1.72	1.86	-0.14	- 8.1
	B	1.57				
5	S	1.95	1.91	1.94	-0.03	- 1.6
	B	1.86				
6	S	1.81	1.84	1.90	-0.06	- 3.3
	B	1.87				
7	S	2.11	2.04	2.01	0.03	1.5
	B	1.97				
8	S	1.74	1.61	1.66	-0.05	- 3.1
	B	1.47				
9	S	2.05	1.96	1.00	0.96	49.0
	B	1.87				
10	S	2.13	2.07	1.97	0.10	4.8
	B	2.01				

4.2 수질 시뮬레이션의 결과

4.2.1 부유물질

부유물질(SS)의 농도 분포를 재현한 결과는 Fig. 5와 같다. 울산만의 전반적인 분포는 6.0~7.0mg/ℓ의 농도를 유지하고 있으며 수질조사 정점에서의 실측 결과와 대체로 일치하였다.

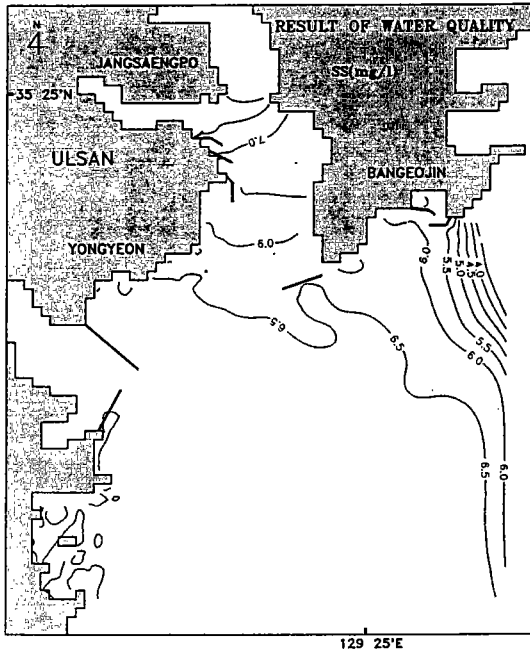


Fig. 5 Distribution of SS in Ulsan Bay simulated by an ecosystem model.

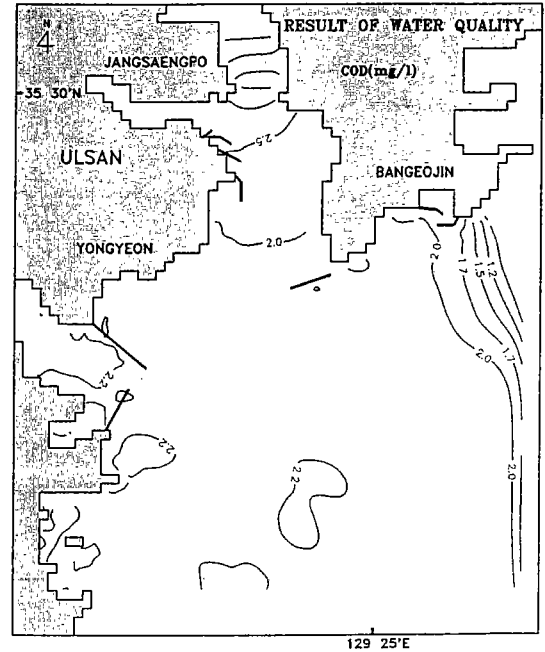


Fig. 6 Distribution of COD in Ulsan Bay simulated by an ecosystem model.

4.2.2 화학적 산소요구량

화학적 산소요구량(COD)의 농도 분포를 재현한 결과는 Fig. 6과 같다. 울산만의 전반적인 분포는 1.5~2.0mg/l의 농도를 유지하고 있으며 수질조사 정점에서의 실측 결과와 대체로 일치하였다.

4.3 수질 시뮬레이션의 검증

4.3.1 부유물질

Table 3에 제시한 바와 같이 울산만의 10개 정점에 대한 부유물질(SS)의 실측값과 계산값을 비교하면, 모든 정점에서 실측값에 대한 계산값의 오차는 $\pm 1.35\text{mg/l}$ 의 범위이며 상대오차 범위는 $\pm 16.7\%$ 로 나타났다. 2번과 9번 정점이 다른 정점에 비하여 상대적으로 큰 오차를 보인 것을 제외하면, 부유물질에 대한 시뮬레이션의 결과는 전체적으로 양호한 것으로 평가되었다.

4.3.2 화학적 산소요구량

Table 4에 제시한 바와 같이 울산만의 10개 정점에 대한 화학적 산소요구량(COD)의 실측값과 계산값을 비교하면, 9번 정점을 제외한 모든 정점에서 실측값에 대한 계산값의 오차는 $\pm 0.26\text{mg/l}$ 의 범위이며 상대오차 범위는 $\pm 14.1\%$ 로 나타났다. 모델영역의 경계에 위치하고 있는 9번 정점에서 실측값에 대한 계산값의 오차가 0.96mg/l 로서 다른 정점에 비하여 큰 오차를 보인 것을 제외하면, 전반적으로 화학적 산소요구량에 대한 시뮬레이션의 결과는 양호한 것으로 평가되었다.

5. 결론

생태계모형을 이용하여 울산만의 수질을 시뮬레이션한 결과를 실측값과 비교한 결과, 부유물질(SS)과 화학적 산소요구량(COD) 분포의 재현은 양호한

었다. 이러한 수질 시뮬레이션 기법은 연안이나 항만의 개발, 방파제나 해양구조물의 설치 등에 따른 해양수질 변화를 예측·평가하는 경우에 이용될 수 있을 뿐 아니라 연안의 부영양화 및 적조에 대한 제어 등 수산·양식을 위하여 해양수질을 합리적으로 예측하고 관리하는 경우에 실제적으로 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 1) 김광수·박청길·조은일 (1996), "생태계모형을 이용한 황해의 환경용량 산정", 한국수질보전학회지, 12(4), 383-399.
- 2) 김종구·박청길·김광수 (1994), "하계 마산만의 부영양화 제어를 위한 생태계모형의 적용", 한국환경과학회지, 3(3), 185-195.
- 3) 김종구·박청길·신성교 (1995), "진해만 해역의 하계 부영양화 모델링(I)-생태계모형을 이용한 식물플랑크톤 농도 분포 시뮬레이션", 대한환경과학회지, 17(2), 121-135.
- 4) 최우정·박청길·이석모 (1994), "진해만의 빈산소수괴 형성에 관한 수치실험", 한국수산학회지, 27(4), 413-433.
- 5) 환경처 (1991), "진해만일원 오염실태 조사 보고서".
- 6) 中田喜三郎·石川公敏 (1979), "沿岸生態系モデルに關する 研究", 公害, 14(5), 93-131.
- 7) 中田喜三郎·田口弘一 (1982), "生態-流體力學モデルを用いた内灣の富營養化過程に關する數値實驗(その2, 内灣の生態モデル)", 公害資源研究報告, 11(4), 47-69.
- 8) 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, 22(2), 96-108.
- 9) 中田喜三郎·藏本武明 (1992), "漁場環境容量-III. モデルによる檢討", 水産學シリーズ, 87, 69-84.
- 10) 池田三郎·中田英昭 (1987), "赤潮の科學", 岡市友利編, 恒星社厚生閣, 東京, 255-285.
- 11) 武岡英隆·橋本俊也·柳哲 雄 (1988), "水産海洋研究會報", 52, 213-220.
- 12) 關根雅彦·中西 弘·浮田正夫 (1994), "水域生態系モデリングツールSSEMを用いた水門工事に伴う魚のへい死事故の解析", 土木學會論文集, Vol. 491/II-27, 99-108.
- 13) 通商産業省 (1986), "富營養化水質汚染豫測手法開發事業", 資源環境技術總合研究所.
- 14) 柳哲雄 (1993), "海況モデル", 沿岸海洋研究ノート, 30(2), 187-195.
- 15) 石川公敏·中田喜三郎 (1993), "沿岸生態系モデルの實海域への適用 - 山口縣西部海域の場合", 資源と環境, 2(1), 61-91.
- 16) Cerco, C.F. and T. Cole (1993), "Three-dimensional eutrophication model of Chesapeake Bay", J. of Hydraulic Engineering, 119(6), 1006-1025.
- 17) Jorgensen, S.E., B. Halling-Sorensen and S.N. Nielsen (1996), "Handbook of environmental and ecological modelling", CRC Lewis Pub. USA, pp.672.
- 18) Leendertse, J.J. and E.C. Gritton (1971), "A water-quality simulation model for well mixed estuaries and coastal seas", RAND institute, R-708-NYC & R-709-NYC, pp.53, pp.73.
- 19) Lung, W.S. (1988), "The role of estuarine modelling in nutrient control", Wat. Sci. Tech., 20(6/7), 243-252.
- 20) Takeshi, H. (1988), "The role of modelling in the control of seawater pollution", Wat. Sci. Tech., 20(6/7), 277-286.
- 21) Thomman, R.V. (1964), "Estuarine water quality management and forecasting", J. ASCE, 5.