

진해만해역의 수질환경특성에 관한 연구

박영남 * · 국승기 * *

* 한국해양대학교 대학원, * * 한국해양대학교 해양경찰학과 교수

A Study on the Characteristics of Water Quality in the Jinhae Bay

Piao Yong-Nan * · Gug Seung-Gi * *

*Graduate school of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Department of Maritime police Science, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 본 논문에서는 진해만에서 수질환경에 대한 현장관측조사를 통하여 진해만 수질현황에 대한 해수유동 시뮬레이션을 실시하여 대상해역의 유동특성을 파악하고, 계산된 유동data를 이용하여 해양오염시뮬레이션을 행하였으며 해수유동시뮬레이션 결과를 해양조사원에서 실시한 조석 및 조류관측 자료를 이용하여 시뮬레이션 결과를 검증하였으며, 유동결과를 해양오염 시뮬레이션의 유동 입력 자료로 이용하였다. 해수유동 Data 및 해양관측 Data를 이용하여 수질확산시뮬레이션을 행하여 실측데이터와 비교분석하여 COD농도 분포를 계산하여서 진해만의 수질특성을 파악하고자 하였다.

핵심용어 : 해수유동시뮬레이션, 조석, 조류, 수질확산시뮬레이션

Abstract : Through spot-investigation and observation of water quality environment of Jinhae Bay, this conducts the sea movement simulation on the current water quality of Jinhae Bay, grasps the flowing characteristics of Jinhae Bay and carries out ocean pollution simulation by using the data collected. Sea movement simulation results are tested by using Ocean Investigation Bureau's data of tide and current, and are also used in the ocean pollution spreading simulation. Water quality spreading simulation is conducted by using the data of sea movement and data of observation and then the results are compared with data of spot investigation. COD condensity is calculated and the water quality characteristics of Jinhae Bay are grasped.

Key words : sea movement simulation, sea tide, sea current, water quality spreading simulation.

1. 서 론

해양은 옛날부터 어업·해운 등의 장소로서 넓게 이용되어 왔으며, 20세기 시대를 맞이한 오늘날 해양의 이용 정도는 한층 더 확대되어, 광물자원과 에너지 자원의 개발로부터 해상공항, 석유비축기지 등의 건설과 같은 해양공간의 이용 등에 이르기까지 해양개발 및 이용에 대한 중요도는 점점 확대되어 가고 있다.

그러나, 인류의 행복을 지향해야 할 인간의 활동은 급격한 발전에 의하여 변화됨에 따라 지구환경의 악화를 초래

하였다. 산업폐수, 도시배수 등의 유입, 해상의 선박 및 구조물 등의 오염물질 누설, 사고에 의한 오염 등에 따른 어업피해 및 경관파괴 등 여러 종류의 해양오염이 발생하고 있다.

해양환경악화를 원인별로 보면 (1) 도시배수, 산업폐수 등과 같은 육상원인, (2) 해양구조물, 매립, 준설 등의 해양개발 및 이용에 의한 원인, (3) 유류유출사고와 산업폐기물의 해양투기에 의한 원인, (4) 방사성 물질의 낙진 및 기타 대기 강하물에 의한 원인, (5) 자원개발 등을 위한 해저굴삭에 의한 원인 등 여러 가지가 있다.

환경변화의 주요한 것으로서는 (1) 매립에 의한 지형변

화, 그에 따른 유동상황의 변화, 해수의 정체, 밀도성층과 내부파의 유발, 해수온도의 변화, 투명도의 변화, 풍파발생 상황의 변화, 온배수에 의한 안개의 발생 등, (2) 중금속, 합성유기화합물, 농약 등의 유기물질의 해수 중에서의 축적, 영양염의 증가에 의한 부영양화 현상, 유해물질의 축적, 유화수소의 생성 등에 의한 저질 환경의 악화, (3) 생물종의 교체, 현존량의 변화 등 생물상의 변화 등이 있다.

이와 같은 환경변화가 초래하는 사회적 피해는 적조의 발생, 산란장·생육장의 상실, 생물자원 량의 감소, 안개발생에 따른 교통의 저해, 경관의 파괴 등이다.

인간 활동의 증대에 따른 부영양화 현상은 내항, 내해뿐만 아니라 외양에 접한 연안역 전역에 까지 이르러, 어업의 질적·양적 변화를 초래하고 있다. 또한 해양환경의 장기변동은 기상·기후의 변화에 이르기까지 영향을 미치기 때문에 우리는 해양환경 변동의 동향을 파악해야 한다.

특히, 대한민국은 3면이 바다로 둘러싸인 해양국가로서 그 지리적 위치는 아시아태평양지역의 중심지에 있으며 남해안 지역은 태평양과 아시아 대륙이 연결되는 요충지이다. 그 가운데서도 진해만 해역에는 앞으로 부산항이 동북아 국제물류중심항만으로 육성하기 위하여 가덕도에 부산신항을 건설하고 있다. 이러한 시기에 진해만의 주변에 공업화가 활성화되고 공업폐수와 생활폐수가 만내에 유입되어 해마다 일어나고 있는 적조피해를 방지하고 앞으로 부산신항만의 건설이 주변수질에 끼치는 영향을 개선하기 위해서는 각별한 노력이 요구되고 있다.

진해만 해역은 상습적조지역으로서 매년 피해를 입고 있는 지역이다. 이러한 해역에 있어서 적조가 상습적으로 발생할 것이 예상되는 지역에 대하여 수질환경조사를 통하여 수질특성을 조사하고, 또한 조석·조류 등 유동특성을 파악하고 이를 수치 모델을 통하여 구현하고 유동특성을 검증하고, 파악된 유동특성을 토대로 수질환경 시뮬레이션에 필요한 기초자료를 제공함으로써 이 해역에 있어서의 수질환경특성을 규명하고자 하였다.

2. 기초이론

2.1 해수유동 지배방정식

주어진 해역에서 평균해면상의 한점을 원점으로 하는 직교좌표를 그림과 같이 정의한다. 여기서 x, y축은 평균해면상에 z축은 연직상방으로 정하며 u, v, w 는 각각 x, y, z축 방향의 유속을, z=-h 및 z=ζ는 각각 해저 및 해면을 나타내는 것으로 한다.

장주기파에 대한 근사적인 유체의 기초 방정식은 식(1)~(4)와 같이 표시된다. 단, 조석계산에서는 수면(z=ζ)에서의 압력 p₀ 를 0으로 취급한다.

연속방정식

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

x축방향의 운동방정식

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_x}{\partial z} \quad \dots\dots\dots(2)$$

y축방향의 운동방정식

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_y}{\partial z} \quad \dots\dots\dots(3)$$

z축방향의 운동방정식

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad \dots\dots\dots(4)$$

여기서,

u, v, w : x, y, z 방향의 유속

t : 시간

f : 코리올리 계수(=2wsinφ, w=지구자전의 각속도, φ:위도)

p : 압력

τ_x, τ_y : z축에 수직인 면에서 x, y축 방향에 작용하는 마찰력

ρ : 유체의 밀도

를 나타낸다.

수치모델에서 3차원으로 문제를 풀이하면 상당한 컴퓨터 용량과 계산시간이 소요되는데 조석과 같은 문제를 다룰 때에는 수직방향의 속도 및 가속도를 무시한 천해 장주기파이론을 적용하여 수심평균 2차원 흐름의 기본방정식을 적절히 수치모델화 함으로써 대상해역의 조석계산 시간, 공간적으로 파악할 수 있다. 상기의 기초방정식을 수심방향에 대해 -h≤z≤ζ 까지 적분하여 평면 2차원화 하면 다음 식과 같이 된다.

연속방정식

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

x축방향의 운동방정식

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (UM) + \frac{\partial}{\partial y} (VM) - fN = -g(h+\xi) \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_x \frac{\partial M}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_y \frac{\partial M}{\partial y} \right)$$

$$-\frac{r_b^2}{(h+\zeta)^2} M \sqrt{M^2 + N^2} \dots\dots\dots(6)$$

y축방향의 운동방정식

$$\begin{aligned} & \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UN) + \frac{\partial}{\partial y}(VN) + fM \\ &= -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}(\nu_i \frac{\partial N}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\nu_i \frac{\partial N}{\partial y}) \\ & - \frac{r_b^2}{(h+\zeta)^2} N \sqrt{M^2 + N^2} \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

여기서,

U, V : x, y방향에서 $-h \leq z \leq \zeta$ 사이의 평균유속

M, N : x, y방향의 선유량(m²/sec)

ζ : 조위

h : 평균수심

ν_i : 와동점성계수

r_b^2 : 해저마찰계수

이다.

2.2 오염물 확산 지배방정식

2차원화된 물질확산의 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial[(\zeta+h)C]}{\partial t} + \frac{\partial[(\zeta+h)UC]}{\partial x} + \frac{\partial[(\zeta+h)VC]}{\partial y} \\ &= \frac{\partial[(\zeta+h)D_x \frac{\partial C}{\partial x}]}{\partial x} + \frac{\partial[(\zeta+h)D_y \frac{\partial C}{\partial y}]}{\partial y} + q_m \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

여기서,

C : 수심 평균 농도

D_x, D_y : x, y방향의 확산계수

q_m : 유입부하량

3. 모델의 수립 및 수치시뮬레이션

3.1 수치모형의 구성

연안해역의 유동은 Fig. 1과 같이 평균해면을 원점으로 하는 연직방향으로 z축을 취하고, 수면 상에 x, y축을 취한 좌표상에서의 비압축성 유체에 대한 운동방정식 및 연속방정식으로 나타낼 수 있다. 여기에 해면($z = \zeta$) 및 해저($z = -h$)의 조건을 도입하여 전체 해면하 즉 ($-h \leq z \leq \zeta$)의 범위에 대해 적분함으로써, 다음과 같이 수심방향으로 평균화된 2차원 유동의 방정식으로 변화할 수 있다. 이를 2차원 단층유동모델의 기본방정식으로 사용하였다.

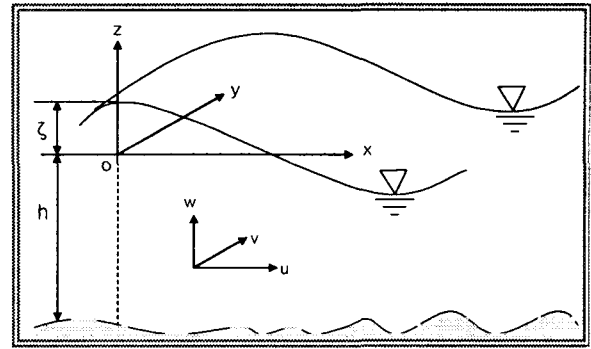


Fig. 1 Coordinate System

$$\frac{\delta \zeta}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x}[(\zeta+h)u] + \frac{\delta}{\delta y}[(\zeta+h)v] = 0 \dots\dots\dots(9)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + v \frac{\delta u}{\delta y} - fv + g \frac{\delta \zeta}{\delta x} - A_h \left(\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \right) \\ & + \frac{gu \sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta+h) C^2} = 0 \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\delta v}{\delta t} + u \frac{\delta v}{\delta x} + v \frac{\delta v}{\delta y} + fu + g \frac{\delta \zeta}{\delta y} - A_h \left(\frac{\delta^2 v}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 v}{\delta y^2} \right) \\ & + \frac{gv \sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta+h) C^2} = 0 \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

여기서, u, v, A_h 는 $-h \leq z \leq \zeta$ 사이에서 평균화된 x, y 방향의 유속성분과 수평와동점성계수를 각각 나타내며, C는 Chezy의 조도계수, f는 Coriolis계수, ρ 는 해수 밀도, g는 중력 가속도, t는 시간, h는 평균해면하의 수심이다. 식 1~3으로 나타내어지는 연속량을 차분법 또한 유한요소법에 의해 적당한 이산량으로 변환함으로써 수치해를 구할 수 있다. 이에 대한 많은 해법 중 해의 수렴성과 연산시간의 경제성 등이 탁월하여 조류 및 확산계산에 최근 널리 이용되고 있는 ADI(Alternating Direction Implicit Method)를 사용한다.(金子安雄, 堀江毅, 村上和男 1975)

우선 대상 해역을 평면적으로 Fig. 3에서 나타내는 바와 같이 격자분할하여, 수위(ζ), 유속(u, v), 수심(h)등을 정의하고, 점(i, j), (i+1/2, j) 및 (i, j+1/2)에 대하여 식 (9)~(11)을 각각 차분화한다.(鞠承洪 1998) ADI법에서는 시간 step을 2등분하여, 전반시간 step (n+1/2)Δt에서는 식(9)의 좌변 제 1항의 ζ , 제 2항의 u , 그리고 식(10)의 좌변 제 2항의 u (미분항은 제외), 제 5항의 ζ 를 음형식으로 나타내고 나머지 항을 양형식의 이전 step값 또는 기지량으로 나타내는 다음 식과 같은 형태의 차분식을 도입하여, x방향의 i의 큰쪽에서 작은 쪽으로 ζ 와 u 를 순차적으로 구하고, 이들 값을 이용하여 식 (9)로부터 j의 작은 쪽에서 큰 쪽으로 양형식으로 v 를 구한다.

$$\zeta_{i,j}^{(n+(1/2))} = -P_{i,j} u_{i-(1/2),j}^{n+(1/2)} + Q_{i,j} \dots\dots\dots(12)$$

$$u_{i-(1/2),j}^{(n+(1/2))} = -R_{i-1,j} \zeta_{i,j}^{n+(1/2)} + S_{i,j} \dots\dots\dots(13)$$

다음 후반의 시간 step인 $(n+1)\Delta t$ 에서는 식(9)의 좌변 1항의 ζ , 제3항의 v 및 식(11)의 제3항의 v (미분항은 제외) 및 제5항의 ζ 를 음형식으로 나타내어 식(14),식(15)와 같은 형태의 차분식을 유도함으로써, ζ , v 를 y 방향에 따라 j 의 큰 쪽에서 작은 쪽으로 ζ 와 v 를 순차적으로 구하고, 이들 값을 사용하여 u 를 양형식으로 구한다.

$$\zeta_{i,j}^{(n+1)} = -P_{i,j} v_{i,j-(1/2)}^{(n+1)} + q_{i,j} \dots\dots\dots (14)$$

$$v_{i,j-(1/2)}^{(n+1)} = -\gamma_{i,j-1} \zeta_{i,j}^{(n+1)} + S_{i,j-1} \dots\dots\dots (15)$$

여기서 $P_{i,j}$, $Q_{i,j}$, $R_{i-1,j}$, $S_{i,j}$, $q_{i,j}$, $\gamma_{i,j-1}$, $S_{i,j-1}$ 은 $(n+(1/2))\Delta t$ 또는 $(n+1)\Delta t$ 시간 step보다 앞 단계 시각에서 결정된 이미 알고 있는 값이다. 이러한 계산과정을 반복하여, 계산결과가 안정될 때까지 계산을 수행하면 대상해역 중앙 영역에서의 수위 및 유속을 구할 수 있다. 이상의 해법을 사용한 해수유동모형을 Fig. 2와 같은 흐름으로 구성하였다.

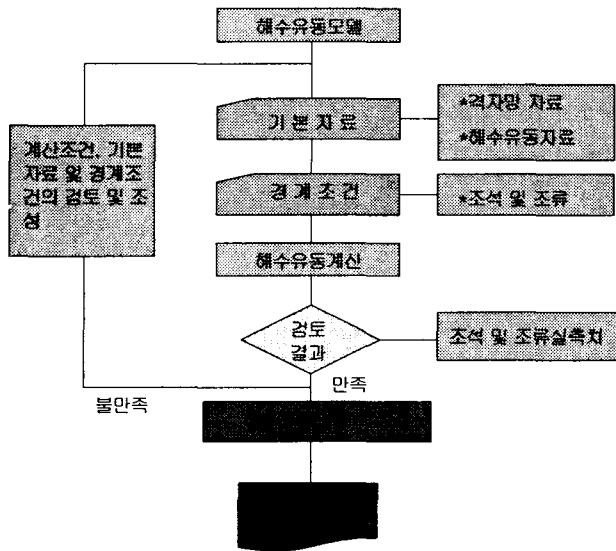


Fig. 2 Flowchart of sea movement simulation

3.2 입력 및 경계조건

계산대상해역은 진해만을 대상으로 하고, 계산대상해역의 격자망은 Fig. 3과 같이 구성하였다. 수심자료는 이 해역에 대한 수로국간행 해도(No.206)로부터 취득하여 Fig. 4와 같이 입력하고 이 자료에 평균해면(M.S.L)값을 더하여 수심을 보정하였다. 계산시간간격(Δt)은 계산안정조건(CFL조건)을 만족하는 10sec로 하였으며, 경계조건은 개방경계에서 매시간 step마다 조화상수에 의한 정현파로부터 주어지는 수위를 입력하였다. 또한 초기조건은 전체 계산영역에서 수위 및 유속을 0으로 하였다. 계산시 입력되는 각종 입력조건을 요약하면 Table 1과 같다.

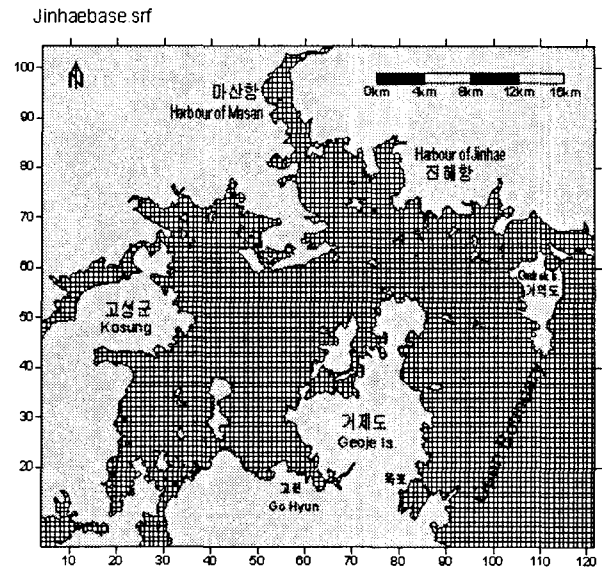


Fig. 3 Computational domain

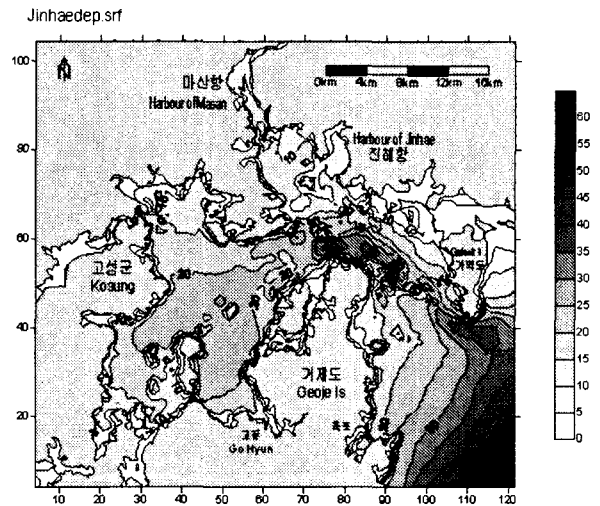


Fig. 4 Bathymetric chart

Table 1 Input conditions for Sea movement simulation

항 목	입 력 치
격자간격($\Delta x, \Delta y$)	400m, 400m
계산시간간격(Δt)	10sec(CFL 조건만족)
Coriolis 계수(f)	$f=2\omega\sin\Phi, \omega=2\pi/(24 \times 60 \times 60), \Phi=35^{\circ}06' N$
조도계수(C)	$C=19.4 \ln$
경계조건	대조기 개방경계조건의 수위값을 결정
초기조건	전체 계산영역에서 수위 및 유속을 0.0으로 하여 계산시작

3.3 모델의 검증

수치모델의 재현성을 검증하기 위하여 국립해양조사원에서 관측한 조석자료와 해수유동 시뮬레이션 결과를 비교하여 검증하였다. Table 2는 진해항에서의 저·고조위 관측치와 계산치를 비교한 결과이며, Fig. 5는 그 대비 곡선이다. 표와 그림에서 알 수 있듯이 관측치와 계산치는 크게 다르지 않고 거의 일치한다.(國立海洋調査院 1998, 1999)

Table 2 Comparison of the simulation results with the observed data at Jinhae port

구 분	관 측 치(cm)			계 산 치(cm)		
	저조위	고조위	조차	저조위	고조위	조차
진해항	12.2	187.2	175.0	7.1	180.9	173.8

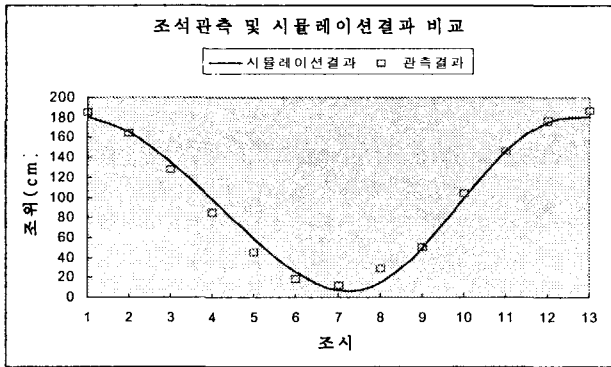


Fig. 5 Comparison of the simulation results with the observed tidal data at Jinhae port

3.4 수치실험 결과분석

Fig. 6과 Fig. 7은 대상해역에서 유동시뮬레이션 결과의 재고기에서의 최대창조류와 최대낙조류의 유동형태이다. 영역내의 유동형태가 해양조사원의 관측결과와 거의 일치하고 있다는 것을 알 수 있다.(국립해양조사원 1998, 1999)

유동시뮬레이션의 결과 가덕수로 주변에서 창조류는 가덕수로 남동쪽에서 유입하여 북서측을 통하여 진해나 마산으로 흘러 들어가는 유향을 띤다. 즉, 가덕수로에서 진해만 입구까지는 창조류가 서북서 내지 북쪽으로 흐른다. 또한 저도 동서측 수로에서 창조류는 북북서 및 북쪽으로 흐른다. 그리고 거제도 북측수로로 진입하여 마산항으로 유입하는 북서류와 진해만 입구수로를 통하여 서 및 남서류로 분기하여 진행한다.

낙조류는 가덕수로 입구 부근에서 창조류와 반대 방향을 띤다. 가덕수로에서 진해만 입구까지는 동남동 및 남남동류한다. 저도 동서측 수로에서 낙조류는 남남동류하며, 마산항에서 남동향하여 거제도 서측에서 흐르는 조류와 합류하여 외해로 빠져나간다.

실측자료와의 비교분석하여 검증된 유동데이터를 이용하여 오염확산 시뮬레이션을 행하기 위하여 중조기의 1주석주기의 조류데이터를 저장하였다. 저장간격은 확산시뮬레이션의 Time Step 100 sec와 동일하게 설정하였다.

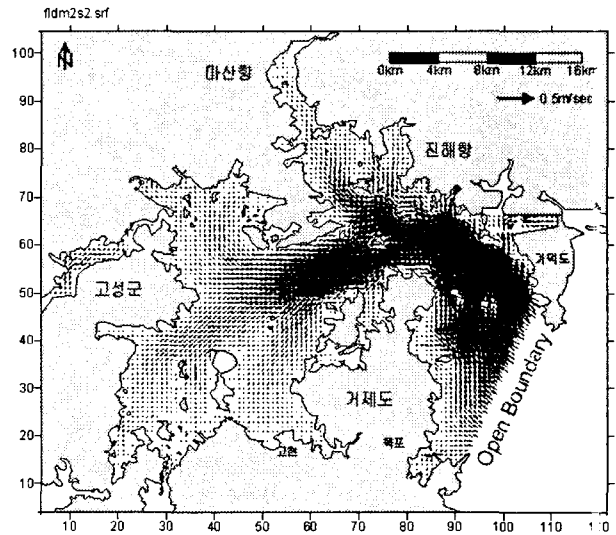


Fig. 6 Calculational results(Max. flood tide)

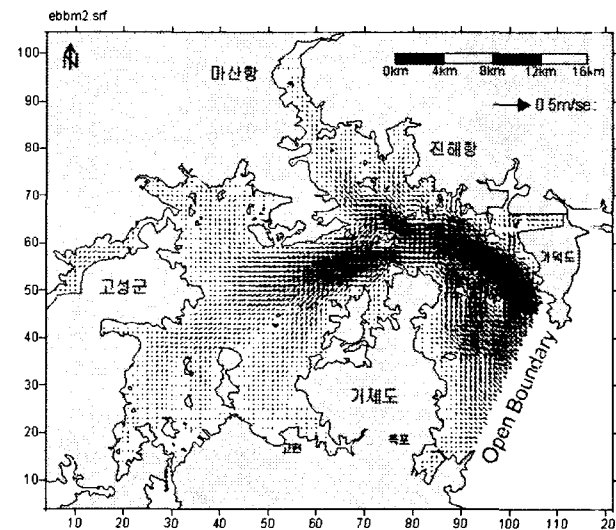


Fig. 7 Calculational results(Max. ebb tide)

4. 수질확산 시뮬레이션과 현장관측조사

4.1. 오염물 확산시뮬레이션

오염확산 시뮬레이션은 국립수산과학원에서 진해만내에서 관측하는 관측정점의 데이터를 초기 조건으로 입력하여 정상상태가 될 때까지 시뮬레이션을 행하여 오염 확산 형태를 파악하였다. 오염물 확산의 계산조건 및 경계조건

은 다음과 같다.

- 수평격자간격 $\Delta x = \Delta y = 400m$
- 시간간격 $\Delta t = 100 \text{ sec}$
- 확산계수 $D_x, D_y: 1.0 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$
- 개방경계에 있어서 경계조건
 - 창조시 $C=0.0$
 - 낙조시 $\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} = 0$

4.2 모델의 검증

모델의 검증을 위하여 국립수산과학원 관측Data를 이용하여 오염확산 시뮬레이션을 행하였다. 먼저 진해만내의 국립수산과학원에서 2002년 관측지점 10곳의 데이터가 이용하여 춘하추동 및 각 층별 평균을 구하여 Table 3에 나타냈다.(국립과학수사원, 2002)

Table 3 Observed data by national fisheries research & development institute

정점	춘	하	추	동	평균	개략위치
1	1.01	1.84	1.03	1.5	1.29	가덕도 서방
2	2.06	2.34	2.04	2.04	2.15	부도 서북방
3	1.62	2.08	1.75	1.94	1.82	송도 서방
4	1.64	2.42	1.55	2.27	1.87	당항포내
5	1.61	2.12	1.25	1.85	1.66	원문만내
6	1.72	2.3	1.79	1.72	1.94	고현성만내
7	2.85	2.3	2.35	3.06	2.50	저도 북방
8	2.42	2.75	2.04	2.36	2.40	묘도 서방
9	2.32	2.94	2.37	2.72	2.54	진해화학 서방
10	0.71	1.19	1.12	1.47	1.01	옥포항 앞

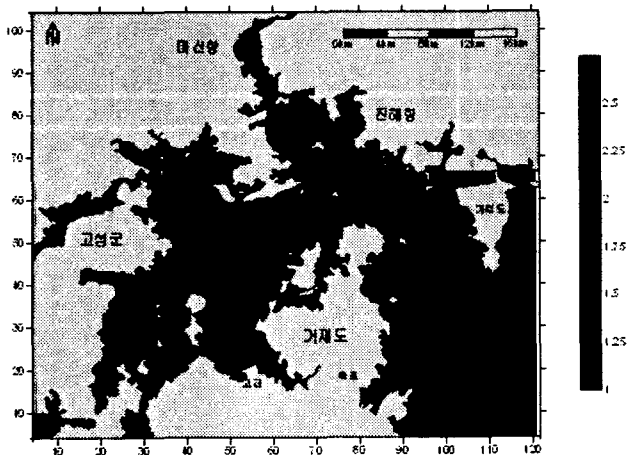


Fig. 8 Distribution of contamination(steady condition)

이 값을 이용하여 진해만 내의 초기값을 입력하고 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션은 정상상태에 이를 때까지 중조기(M2조)의 유동을 이용하여 실시하였다. 여기서 유동 데이터는 유동 시뮬레이션 시에 저장한 1조석 주기분

의 데이터를 사용하였다.

Fig. 8은 오염확산 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 오염확산 시뮬레이션의 결과를 검증하기 위하여 관측결과와 비교를 행하였다. Fig. 9는 오염 확산시뮬레이션의 결과와 관측결과를 비교한 것으로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 여기서 등치선은 계산결과이고 점은 관측결과이다.

계산 결과에 따르면 마산항 및 진해항의 수질은 3등급 정도를 유지하고 있으며 거제도 서측은 2등급 정도 가덕수로에서 외해는 1등급을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

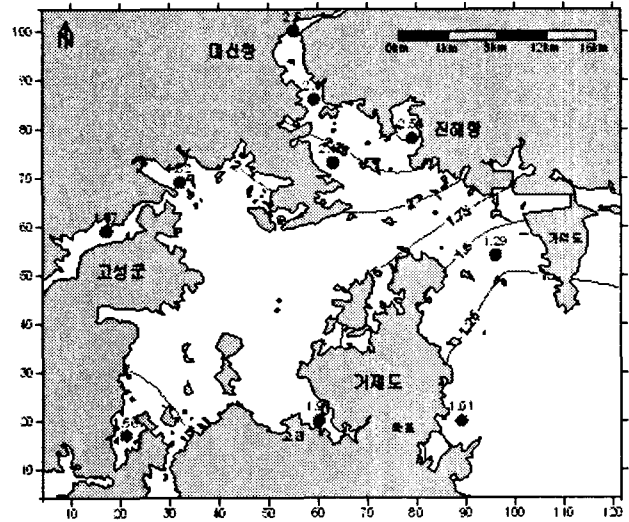


Fig. 9 Comparison of the calculational results with the observed contaminant data (— calculation, ● observation)

4.3 현장관측조사 및 분석

진해만에서의 적조발생 등 수질상황을 파악하기 위하여 현장관측조사를 실시하였다. 조사는 수질관측 장비를 이용하여 매년 적조현상이 일어나고 있는 진해 행암만 주변의 10개 지점을 선정하여 행하였다. 조사항목으로서는 수온, 수소이온농도(pH), 염분농도, 용존산소(DO), 화학적 산소 요구량(COD), 총질소(T-N), 총인(T-P), 식물성플랑크톤, 동물성플랑크톤 및 클로로필-a 등 10개항목이다. 현장관측 조사는 적조현상이 심한 여름철을 택하여 2002년 7월부터 약 1개월에 1회씩 행하여 총5회를 실시하였다. Table 4에 현장관측 중 산소요구량(COD)의 조사결과를 나타낸다. 각 지점별로 평균을 구하여 해당지점의 초기값으로 입력하여 오염확산 시뮬레이션을 실시하였다. 이 때는 진해만에서 적조가 한창 일어나고 있는 하절기로서 COD의 농도가 높게 나타나고 있다. 현장조사 값을 토대로 해양오염확산시뮬레이션을 행하였다.

관측시기에는 적조가 활발하게 일어나고 있던 하절기로서 진해항 주변의 COD 농도가 높은 것으로 나타났다. 여

기서는 관측결과와 부족으로 초기값을 입력함에 있어서 관측지점 이외의 곳은 국립수산과학원의 자료를 이용하여 정상상태가 될 때까지 계산을 행하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 현장관측 부근만이 높은 농도로 나타나고 있다. 좀더 관측지점을 추가하여 만 전반적인 자료를 이용하여 초기치를 입력하여야 정확한 분석이 가능할 것으로 판단된다. 또한 Fig. 10에 오염 확산시물레이션과 현장관측결과를 비교하였다. 진해항 주변이 다른 곳 보다 높기 때문에 여기를 중심으로 오염물이 확산되어 가고 있는 양상을 보이고 있으며, 이 영향으로 국립수산과학원에서 관측하는 관측정점에서의 농도도 높게 나타나고 있다. 이것으로 미루어 보아 국립수산과학원의 데이터가 약간 작은 수치를 나타내고 있음을 알 수 있으며 관측 포인트를 늘여서 관측한 데이터를 이용하여 오염 확산시물레이션을 행한다면 좀더 정확한 분석이 이루어 질 것으로 생각된다. 또한 진해항 및 마산항은 만의 안쪽에 위치하고 있어서 수질개선을 위한 방안들이 강구되어야 할 것이다.

Table 4 Results of field observation

조사 지점	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1차조사	4.62	4.44	4.00	4.36	4.74	4.32	4.92	5.42	4.88	5.00
2차조사	5.08	5.32	5.76	5.54	6.08	5.40	5.92	5.10	5.28	5.44
3차조사	5.02	4.72	5.12	4.64	5.36	4.52	5.34	4.46	5.12	4.98
4차조사	4.32	3.24	4.24	3.26	5.24	5.32	3.14	5.42	5.12	4.46
5차조사	4.28	2.56	4.18	2.86	5.38	2.56	2.62	6.22	4.34	3.10
평균	4.66	4.06	4.66	4.13	5.36	4.42	4.39	5.32	4.95	4.60

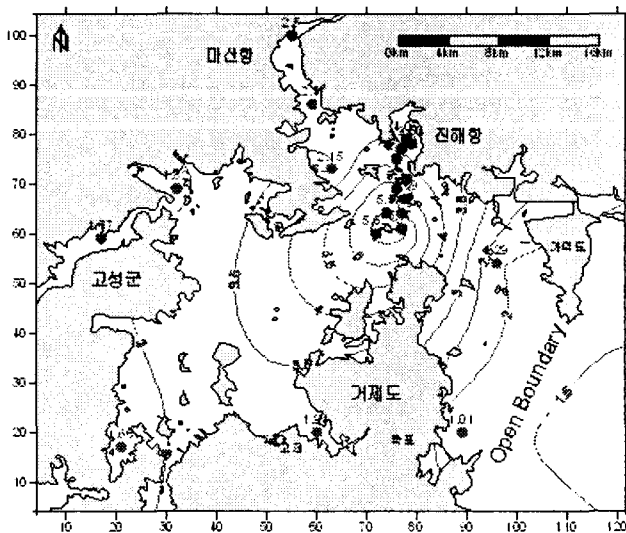


Fig. 11 Comparison of the calculational result with the field observation data
(— calculation, ● observation)

5. 결론 및 제언

해수유동의 실험은 해수유동수치모델에 의한 대상해역 모형의 구축, 검증 및 분석의 과정으로 수행되었다. 수치모형의 현장 적용성에 대한 검증은 대상해역의 지형자료, 조석·조류 관측 자료를 이용한 수치모형에 의해 대조기 유동특성을 재현하고, 실측치와의 비교·검토에 의해 수행되었다. 수치모델을 구성하고, 주변해역의 해수유동을 계산·검증해본 결과 최대창조류일 때는 가덕수로에서 내만으로 조류가 흐르고 있으며, 최대낙조류일 때는 내만에서 가덕수로로 조류가 흐르고 있다. 특히 저도 부근에서는 입구가 좁고 수심도 가덕수로보다 낮은 지역이어서 조류의 속력이 빨라짐을 알 수 있다.

또한 계산된 유동 data를 이용하여 오염확산 시물레이션 모델을 구축하고 시물레이션을 행하여 그 수질환경특성을 파악하고자 하였다. 본 연구에서는 대상수역내의 국립수산과학원 및 현장관측 조사를 통하여 관측한 데이터를 이용하여 COD농도 분포를 계산하여 진해만의 수질 특성을 파악하였다. 현장조사와 오염 확산시물레이션결과를 비교하여보면 진해항 주변이 다른 곳 보다 높기 때문에 여기를 중심으로 오염물이 확산되어 가고 있는 양상을 보이고 있으며, 이 영향으로 국립수산과학원에서 관측하는 관측정점에서의 농도 보다 높게 나타나고 있다.

물론 해역의 수질오탁 기구는 매우 복잡한 양상을 띠고 있어서, 한 인자만으로 수질 특성을 전부 파악할 수 있는 것은 아니지만, 본 연구는 수질 오탁 기구를 파악해내기 위한 정량적인 시도로서 의의가 매우 클 것이다.

하지만, 오염현상은 오탁물질간의 상호작용에 의한 상승효과 등이 있기 때문에 각 인자간의 영향 등을 밝혀내는 것, 다른 인자의 영향 등이 향후의 연구 과제라 할 수 있다.

참고 문헌

- [1] 국립수산과학원, www.nfrdi.re.kr
- [2] 국립해양조사원(1998), 조류도(마산·진해항) 9월 간행.
- [3] 國立海洋調査院(1998), 鎮海·馬山港 潮流觀測 結果 報告書-海洋水産部, pp.3.12-3.18
- [4] 國立海洋調査院(1999), 加徳水道 潮流觀測 結果 報告書-海洋水産部, pp.3.15-3.17
- [5] 국립해양조사원(1999), 조류도(가덕수도) 8월 간행.
- [6] 鞠承洪(1998), 潮流殘差流の創造・制御による閉鎖生海城の水質改善に關する研究, 九州大學大学院 工学研究科(水工).
- [7] 金子安雄, 堀江毅, 村上和男(1975), ADI法による潮流汚染擴散の數値計算, 港灣技術研究報告書 第14券 第3號.