

水營灣의 海水循環 및 擴散에 關한 數值모델링

鄭然喆 · 呂碩竣*

韓國海洋大學校 船舶運航學科 · *釜山水產大學校 環境工學科

Numerical Modelling on Hydrodynamics and Diffusion in Suyeong Bay

Yeon-Cheol JUNG and Suk-Jun YOA*

Department of Ship Operation, Korea Maritime University,

Pusan 606-791, Korea

**Department of Environmental Science and Engineering, National Fisheries*

University of Pusan, Pusan 608-737, Korea

The water-quality control for coastal waters is continuously required in view point of the environmental protection. The purpose of this study is to simulate the hydrodynamic process and the dispersion phenomena of several pollutants in Suyeong Bay, Pusan. The present study employs the depth-averaged 2-dimensional model for numerical simulation of the hydrodynamics and diffusion. The numerical solution is obtained by ADI(Alternating Direction Implicit) scheme which is frequently used for tidal current and diffusion computations in the coastal zone.

To verify the numerical results, the field observations of various water quality parameters such as COD, SS and nutrients were performed during the spring tide.

In the results of this study, the computed tidal currents show the clockwise flows for ebb tide and counter-clockwise flows for flood tide. In comparison with the water-qualities in ebb tide and flood tide, there seems to be slightly deteriorated in ebb tide and especially near the estuary of Suyeong River. In flood tide, however, the water-quality near Kwangan Beach is deteriorated.

The computed distributions of COD and SS are in good agreements with the observed ones, while those of $PO_4^{3-}-P$ and $NO_3^{-}-N$ show slight differences due to the complex transformation processes.

緒 論

남해안 東端에 위치한 水營灣은 海운대의 冬柏섬 南端과 이기대를 連結하는 内側 海域으로, 灣内에는 국제적인 요트競技場과 광안리 해수욕장이 位置해 있고, 海운대 해수욕장이 隣接해 있어서 水質의 지속적인 管理가 필요한 海域이다. 88올림픽을 對備하여 수영강 河口的 河床을 整理하고 下水處理場을 設置하므로써 水質이 많이 改善되었으나, 여전히 周邊地域의 生活下水와 産業廢水가 만내로

다량 流入되므로써 汚染의 가능성이 높은 地域이다.

근래 大容量 컴퓨터가 實用化되고 數值解析 技法이 발전함에 따라 數學的 모델을 통하여 自然現象을 豫測하고자 하는 수치모델에 관한 研究가 활발히 進行되고 있다. 수치모델을 사용한 沿岸海域의 대표적인 水質研究로는, 外國의 경우 Thomman(1964), Leendertse(1971), Fischer(1972) 등의 연구가 있고 國內의 경우 洪(1987), 裴(1989) 등이 Leendertse/Fischer 모델(Fischer, 1970)을 使用하

여 沿岸域 開發에 따른 海域의 海水循環과 汚染物 分布 變化에 관한 研究를 하였고, 86년부터 수차례 姜 등(1986, 1988, 1989)이 낙동강 하구와 마산·진해만을 對象으로 有限要素法에 의한 2차원 수치 모델을 사용하여 水質모델링을 遂行한 바 있다.

지금까지 水營灣에 대한 水質研究는 주로 現場 觀測에 의한 수영강 河口 및 灣內의 단편적인 연구들이었으며, 수치모델을 사용한 綜合的인 연구는 드물었다. 田(1987)과 姜(1989)이 1차원 動的狀態의 모델을 사용하여 水質모델링을 遂行한 바 있으나 河川과 河口部分에 局限하였고, 또 최근에 金·李(1991)은 two-level 모델을 사용하여 水營灣의 海水流動과 浮遊砂의 舉動에 관하여 모델링을 遂行하였으나 海수유동에 重點을 두었다.

本 연구에서는 沿岸해역의 水질오염을 綜合的으로 評價하고 豫測하기 위한 水營灣 水質모델 樹立의 基礎的 段階로써, 수영만을 對象으로 단순화된 2차원 유동모델과 확산모델을 사용하여, 海水流動과 内部變換에 의한 汚染物質의 移流 및 擴散現象을 再現하고자 하였다.

資料 및 方法

1. 現場觀測

本 연구의 對象地域으로 選定한 수영만은 Fig. 1에 圖示되어 있으며, 해운대의 동백섬과 이기대를 연결하는 內灣이다. 만의 北쪽으로는 광안리 海수욕장이 位置해 있고 東쪽으로는 해운대 海수욕장이 位置해 있으며, 수영강을 비롯하여 춘천, 우동천, 광안천, 남천천, 용호천 등의 支川들이 만내로 流入되고 있다. 본 연구에서는 大潮期인 1991년 9월 7일 漲潮時와 落潮時에 Fig. 1의 5개 河川과 灣內 17개 정점에서 水質觀測을 遂行하였다. 河川의 경우 조석의 影響을 받지 않는 上流地點에서 水深, 河幅, 流速을 現場 측정하였고, 水質項目은 採水하여 실험실 分析하였다. 灣의 경우 난센採水器로 表層 및 底層水를 採水하여 水質項目別로 실험실 分析하였다. 또한 만내 流況을 把握하기 위하여 대조기인 1989. 10. 16~17에 걸쳐 Fig. 1의 정점 P에서 CM-2流速計로 連續觀측을 수행한 資料(金·李, 1991)를 收集하였다.

2. 數值모델의 適用

(1) 基礎방정식

本 연구에 사용된 數值모델은 流動모델과 擴散 모델로 構成되어 있으며, 2차원 運動方程式, 連續

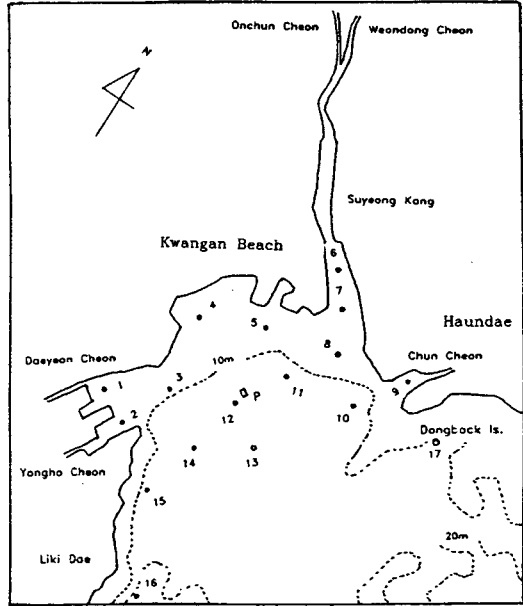


Fig. 1. Topographic map of the area.

方程式 및 擴散方程式에 基礎하고 있다.

① 流動모델

流動모델에서 使用한 2차원 運動方程式은 3차원 連續方程式과 Navier-Stokes方程式을 垂直面(-h ≤ z ≤ ζ)에 대해 平均하고, 外力으로 地球自轉에 의한 影響, 바닥의 摩擦力 및 重力을 포함시키고, 표층에서 바람에 의한 應力을 無視하여 다음과 같이 나타내었다(金子安雄 等, 1975).

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} \times \frac{\partial}{\partial x} [(\zeta+h)U] + \frac{\partial}{\partial y} [(\zeta+h)V] = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g \frac{U\sqrt{U^2+V^2}}{C^2(\zeta+h)} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g \frac{V\sqrt{U^2+V^2}}{C^2(\zeta+h)} = 0 \quad (3)$$

- 여기서, U: 수심평균한 x방향 유속
- V: 수심평균한 y방향 유속
- f: Coriolis 계수 (=2ω sinφ)
- g: 중력 가속도
- ζ: 수면변위
- h: 평균수면하 수심
- C: Chezy 마찰계수

② 擴散모델

流體內에서 汚染物質의 移動은 일반적으로 다음

3차원 移流·擴散方程式으로 나타낼 수 있다(失野 雄幸 等, 1978).

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} - D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - D_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} = 0 \quad (4)$$

여기서, c, u, v, w 는 時間平均量, D_x, D_y, D_z 는 각 x, y, z 방향의 亂流擴散係數를 나타낸다. 식 (4)에 source and sink term을 考慮하고, 水深 平均한 2차원으로 나타내면

$$\frac{\partial[(\zeta+h)C]}{\partial t} + U \frac{\partial[(\zeta+h)C]}{\partial x} + V \frac{\partial[(\zeta+h)C]}{\partial y} = \frac{\partial[(\zeta+h)K_x \frac{\partial C}{\partial x}]}{\partial x} + \frac{\partial[(\zeta+h)K_y \frac{\partial C}{\partial y}]}{\partial y} + S \quad (5)$$

여기서, U, V, C 는 $-h \leq z \leq \zeta$ 에 있어서 平均量, K_x, K_y 는 水平流의 鉛直分布에 의한 移流·分散效果를 포함한 鉛直擴散係數, 그리고 S 는 source and sink term으로서 單位時間 單位體積에 대한 物質의 增減比率를 나타낸다.

(2) 計算方法 및 條件

본 모델에서는 數值計算을 위해 Leendertse(1971)에 의해 潮流·擴散計算에 응용되어, 現在 자주 利用되고 있는 ADI법(alternating direction implicit method)을 사용하고 있다(金子安雄 等, 1975). 流動모델의 境界條件은 하천경계의 경우 하천의 平均流量이 주어지며, 본 연구에서는 수영강의 淡水流入은 고려하였으나 기타 지천의 담수유입은 小量이므로 無視하였다. 해양경계의 경우 潮汐과 恒流를 고려하였으며, 조석은 平均大潮期의 振幅(0.52m)과 12시간 25분 週期の 正弦曲線으로 入力하였다. 육지경계에서는 경계에 直角인 방향의 流

速을 0으로 주었다. 擴散모델은 流動모델에서 얻어진 流速 및 潮位가 正常狀態에 도달한 후에 한 潮汐週期를 擇하여, 그 때의 流速 및 潮位를 基礎 水理資料로 사용하였다. 水質項目으로는 沿岸海域에 있어서 代表性 水質항목인 COD, SS, $NO_3^- - N, PO_4^{3-} - P$ 를 擇하였다. 擴散係數는 수회의 反復 시뮬레이션을 통해 水質항목별로 適切な 값을 選擇하였다. 境界條件은 해양경계의 경우 流入時는 一定한 값을 그리고 流出時는 Neumann조건을 適用하였다. 非保存性 物質은 시간이 經過함에 따라 다음 식과 같이 1次分解되는 것으로 假定하여 適切な 分解係數를 주었다.

$$C = C_0 \exp(-k \cdot t) \quad (6)$$

여기서, C_0 : 오염물질의 초기농도

k : 1차 분해상수

t : 경과시간(day)

C : t 일 경과후의 농도

각 모델의 입력조건을 要約하면 Table 1, 2와 같다.

結果 및 考察

1. 現場觀測

(1) 河川水質 및 汚染負荷量

관측된 河川水質 및 이를 土臺로 計算된 汚染負荷를 Table 3에 나타내었다. 表에서 알 수 있는 것처럼 각 하천은 生活環境 水質基準 5等級에도 훨씬 미치지 못할 정도로 深하게 汚染되어 있으며, COD汚染負荷의 크기는 원동천, 춘천, 용호천, 대연천 및 온천천의 順으로 나타났다.

Table 1. Input data for hydrodynamic model

Parameters	Input values
mesh size	$\Delta t = \Delta y = 100m$
water depth	chart datum + MSL
time interval	20sec
Coriolis coefficient	$f = 2\omega \sin \phi, \omega = 2\pi / (24 \times 60 \times 60), \phi = 35^\circ 3' N$
Chezy coefficient	60
tidal level at open boundary	spring: $H_R = 0.548 \sin[(2\pi/T_0)n(\Delta t/2) - 0.00]$ $H_L = 0.502 \sin[(2\pi/T_0)n(\Delta t/2) - 0.05]$
river flow	$5.0m^3/sec$
initial water level and current velocity	0.0

H_L : tidal level in left-side open boundary

H_R : tidal level in right-side open boundary

Table 2. Input data for diffusion model

Parameters	Input values
mesh size	$\Delta x = \Delta y = 100m$
water depth	chart datum + MSL
time interval	180sec(3min.)
pollutant loads	refer to <Table 3>
diff. coef.($K_x = K_y$)	1.0m ² /sec for COD, PO ₄ -P 0.3m ² /sec for SS, NO ₃ -N
open boundary conc.	1.0ppm for COD, PO ₄ -P 4.0ppm for SS, NO ₃ -P
initial conc.	1.0ppm for COD, PO ₄ -P 4.0ppm for SS, NO ₃ -N
decay coef.(k)	0.105day ⁻¹ for COD, SS 0.000day ⁻¹ for NO ₃ -N, PO ₄ -P
total run time	10 cycle

Table 3. Water-quality and pollutant loads at each stream

river	flow m ³ /sec	concentration(ppm)				pollutant loads(kg/hr)			
		COD	SS	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ³⁻ -P	COD	SS	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ³⁻ -P
Weondong	4.0	54.1	20.5	20.6	30.4	779	295	297	438
Oncheon	2.0	15.2	10.2	35.2	21.8	109	73	253	157
Yongho	1.5	24.7	21.6	13.1	30.2	133	117	71	163
Daeyeon	2.0	17.5	24.0	16.7	28.5	126	130	120	205
Chun	2.0	48.3	29.8	24.1	23.2	348	215	174	167

(2) 灣內水質

만내수질 觀測結果를 Table 4에 나타내었다. COD의 경우 만내의 濃度分布(평균값)는 0.5~2.0 ppm으로 環境廳告示 沿岸海域 水質基準 2等級에 該當하는 普通 狀態였으나, 수영강 河口와 용호만 內側은 落潮時에 表層에서 最高 8ppm 및 5ppm으로 3等級을 훨씬 超過하고 있는 것으로 나타났다. SS의 경우 全 海域에 걸쳐 4~10ppm으로 水質基準 1等級에 該當하는 良好한 狀態였다. N, P등 營養鹽은 3等級을 훨씬 超過하는 過營養海域으로 나타났으며, 이에 따라 만내 chlorophyll-a의 分布도 最高 25.9mg/m³로 높게 나타났다. 全般的으로 海水循環이 활발하게 이루어져서 아직은 이 지역에서 赤潮 現象이 발생하지 않고 있으나, 部分的으로 海水流動이 圓滑하지 못한 용호만의 경우 chlorophyll-a의 濃度가 相對的으로 높게 나타나므로써 赤潮發生의 可能性이 높은 것으로 判斷된다.

2. 數值計算

(1) 海水流動

流動모델의 適用性を 檢討하기 위하여, Fig. 1의 정점 P에서 大潮期의 半日週潮成分(M₂+S₂) 計算結果와 觀測結果를 각각 潮流墜圓(tidal current ellipse)으로 Fig. 2에 나타내었다. 流速은 最強漲潮時 觀測流速이 計算流速보다 약 3cm/sec 정도 크게 나타났으나 最強漲潮時는 서로 類似하게 나타났으며, 流向은 計算流向이 觀測流向보다 시계방향으로 약 20° 정도 移動되어 나타났다. 海水流動의 計算結果 0시간부터 37.5시간(3週期)까지 3分間隔으로 水位 및 x, y방향 流速資料를 얻었다. 임의의 地點에서 水位變化를 調査한 結果 25시간(2週期)이 經過하면서 安定狀態에 도달하였으며 2週期 後의 1週期 동안의 流速資料중 漲·落潮時 最強流速을 Fig. 3에 벡터도로 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 計算에 의한 灣內的 유속은 최대 0.3m/sec 灣外的

Table 4. The result of water-quality survey in Suyeong Bay

(a) flood tide

St.	COD mg/l	TSS mg/l	VSS mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	PO ₄ ³⁻ mg/l	Chl-a mg/m ³
1-S	2.2	6.5	3.3	24.0	5.9	4.2	3.6	11.3
1-B	1.0	4.0	1.2	12.0	1.6	6.6	1.1	-
2-S	1.5	3.7	1.5	19.8	1.5	3.8	0.9	12.6
2-B	0.9	3.5	1.4	8.6	0.6	4.1	0.8	-
3-S	1.0	3.5	1.7	11.4	1.0	2.2	1.1	7.7
3-B	0.9	3.5	1.4	8.6	0.6	3.4	0.8	-
4-S	1.0	3.9	1.5	27.0	1.1	4.4	0.9	4.6
4-B	1.0	5.2	1.2	12.6	0.9	6.9	1.1	-
5-S	1.5	4.3	1.5	6.8	0.8	1.6	0.6	3.7
5-B	1.3	4.7	1.6	11.4	0.8	1.4	0.9	-
6-S	4.3	9.3	4.3	24.4	11.0	0.0	5.3	0.2
6-B	1.0	3.9	1.1	10.7	0.8	0.6	1.1	-
7-S	2.9	7.3	2.7	17.3	6.1	6.7	4.5	5.0
7-B	1.2	4.6	1.3	4.0	0.5	0.5	0.8	-
8-S	2.1	3.6	0.9	11.6	1.3	4.8	1.7	4.2
8-B	1.2	5.3	1.2	3.2	0.5	0.5	0.6	-
9-S	2.0	7.7	1.8	10.2	2.3	6.3	3.6	1.0
9-B	1.5	0.4	2.7	8.4	0.5	2.2	1.1	-
10-S	2.8	2.9	1.0	7.1	0.1	1.8	0.1	4.0
10-B	1.0	6.1	0.9	4.8	0.4	3.6	0.3	-
11-S	2.8	2.9	1.3	14.4	1.3	2.8	0.6	4.6
11-B	1.0	5.2	0.9	11.6	0.4	3.3	0.4	-
12-S	1.1	3.5	1.9	5.0	0.5	2.7	0.4	5.6
12-B	2.0	3.7	0.7	1.8	0.4	0.4	0.8	-
13-S	1.2	5.8	1.2	1.9	0.2	3.2	0.6	3.2
13-B	1.2	5.9	0.8	1.4	0.3	1.5	0.8	-
14-S	0.8	3.3	0.5	5.2	0.4	2.6	0.6	5.1
14-B	1.1	5.2	0.8	1.9	0.4	3.3	0.8	-
15-S	2.9	5.6	1.6	4.5	1.2	2.4	0.3	10.8
15-B	1.0	4.3	1.8	3.7	0.5	1.5	0.9	-
16-S	2.0	4.0	1.1	3.0	0.1	0.3	0.2	5.8
16-B	1.6	4.7	1.6	1.3	0.1	0.3	0.4	-

S: surface, B: bottom

유속은 0.4m/sec 程度이고, 流向은 落潮時에 시계방향으로 漲潮時에 반시계방향으로 還流를 形成하고 있다.

(2) 擴 散

해수유동 계산결과에 基礎하여 COD, SS, NO₃⁻-N, PO₄³⁻-P 등 4개 수질항목의 만내 濃度分布를 계산하였다. Fig. 4는 각 水質項目에 대하여 漲·落潮 最 強流速時 代表的 定點에서의 계산치와 관측치를 서로 比較하여 나타낸 것이다. 落潮時에는 SS를 除 外하고 다른 모든 수질항목이 相關係數 0.87(P<

0.01) 以上の 높은 相關性을 보였으나, 相對誤差는 30~40%로 比較적 큰 값을 보였다. 그러나 SS의 경우 相關係數는 0.8078이고 相對誤差는 15%로 比較적 적은 값을 보였다. 漲潮時에는 PO₄³⁻-P를 除 外하고 모두 相關係數 0.83(P<0.01) 以上の 높은 相關性을 보인 반면, 相對誤差는 NO₃⁻-N, PO₄³⁻-P의 경우 40~50%로 큰 값을 보였다. 全體적으로 COD, SS의 경우 좋은 相關性과 相對誤差를 나타낸 반면 NO₃⁻-N, PO₄³⁻-P의 경우 相關性은 좋았으나 相對誤差는 큰 것으로 나타났다. 이와 같이 NO₃⁻-N,

(b) ebb tide

St.	COD mg/l	TSS mg/l	VSS mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	PO ₄ ³⁻ mg/l	Chl-a mg/m ³
1-S	5.0	5.6	3.0	18.0	7.2	12.0	8.3	22.0
1-B	0.5	2.7	0.9	0.6	0.5	3.2	0.9	-
2-S	3.5	6.2	2.1	16.8	4.0	11.5	6.7	25.9
2-B	0.6	6.6	1.1	0.9	0.5	1.8	0.4	-
3-S	1.0	4.2	1.0	1.3	0.6	3.2	0.6	11.8
3-B	0.6	6.6	1.1	0.9	0.5	1.8	0.4	-
4-S	1.2	5.3	0.9	1.3	0.5	3.2	1.0	11.5
4-B	0.6	7.7	2.1	3.9	0.5	2.1	1.3	-
5-S	1.0	4.5	2.1	1.8	0.6	3.1	0.7	11.9
5-B	0.5	4.9	1.5	0.4	0.5	1.6	0.8	-
6-S	8.0	12.1	2.3	65.0	4.8	21.6	6.5	7.0
6-B	1.5	6.7	1.6	6.0	2.3	4.2	1.7	-
7-S	6.6	10.0	4.1	50.1	0.3	18.2	4.2	6.3
7-B	1.2	4.5	1.1	4.2	0.7	1.1	0.8	-
8-S	4.0	6.4	2.1	36.0	4.0	11.0	2.5	6.0
8-B	0.9	5.9	1.0	3.2	0.5	2.4	0.9	-
9-S	4.0	6.2	1.3	12.7	1.2	18.5	1.2	10.6
9-B	1.4	6.3	1.4	2.9	0.6	2.2	0.9	-
10-S	3.4	4.2	0.8	1.4	0.6	4.1	0.8	13.7
10-B	0.5	10.0	2.5	1.1	0.4	1.5	1.0	-
11-S	3.2	4.5	1.9	1.6	0.8	4.2	0.2	14.7
11-B	0.3	8.8	0.4	1.1	0.4	2.0	0.9	-
12-S	0.8	4.9	1.2	0.5	0.6	0.8	0.1	8.2
12-B	0.2	6.7	1.1	1.9	0.2	4.1	1.2	-
13-S	1.0	4.4	2.0	16.0	2.1	0.9	1.0	20.1
13-B	0.4	6.7	1.3	1.8	0.3	2.0	0.7	-
14-S	2.2	5.6	1.8	13.2	1.3	1.2	0.7	14.4
14-B	0.2	10.0	1.0	0.1	0.1	6.0	1.3	-
15-S	1.5	9.1	1.9	3.0	0.8	1.8	0.1	23.8
15-B	1.0	3.3	0.4	1.4	0.4	1.0	1.0	-
16-S	1.3	6.0	1.9	2.9	0.9	1.1	0.4	24.7
16-B	0.2	10.1	1.5	1.6	0.1	5.0	12.7	-

S: surface, B: bottom

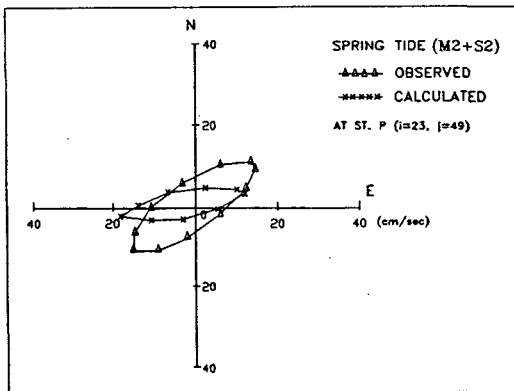


Fig. 2. Comparison of the tidal current ellipses between computed and observed results.

PO₄³⁻-P의 경우 계산치가 실측치와 相當한 差異를 보이는 것은 첫째, 單純化된 2차원모델을 사용한 점 둘째, 非點污染源과 生態係의 物質循環에 關係되는 諸現象을 充分히 고려하지 못한 점 셋째, 長期間의 관측자료를 사용하여 比較하지 못한 점 등이 그 理由로 생각된다.

① COD 分布

Fig. 5는 漲·落潮 最強流速時에 계산된 COD 濃度分布를 나타낸 것이다. 만내의 COD 濃度は 漲·落潮時 모두 1.0~2.0ppm 정도로 普通이였으나, 수영강 河口附近은 落潮時에 2.0~4.0ppm 漲潮時에 2.0~3.0ppm 程度로 높게 나타났다. 漲·落潮時의 농도분포를 比較할 때 落潮時 수영강 하구부의 농도가 약간 높게 나타났다.

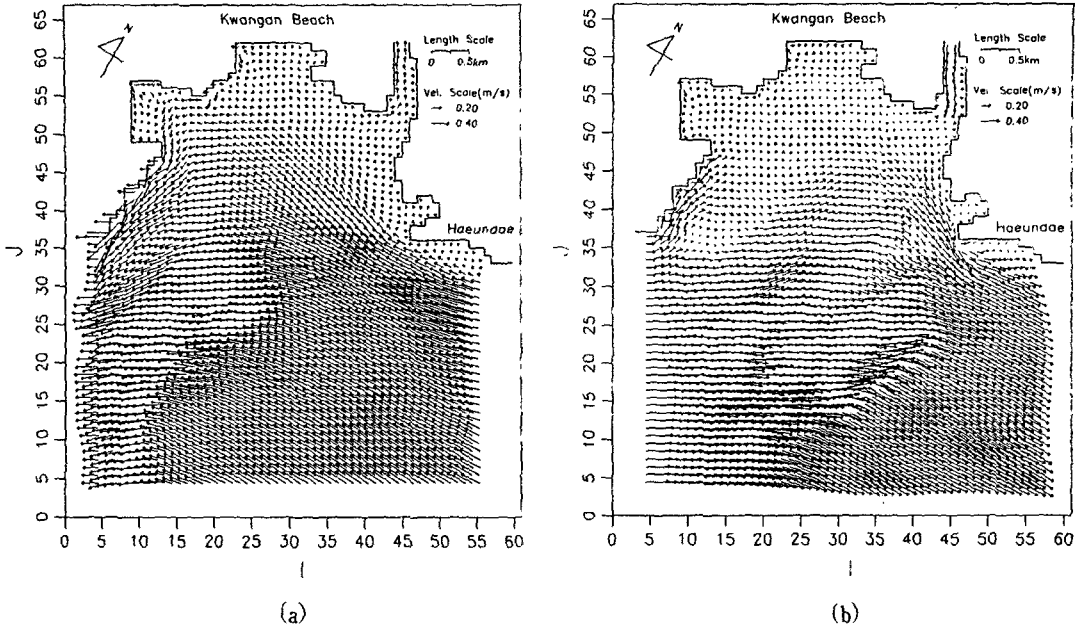


Fig. 3. Computed tidal currents at spring tide.
(a) maximum flood flow (b) maximum ebb flow

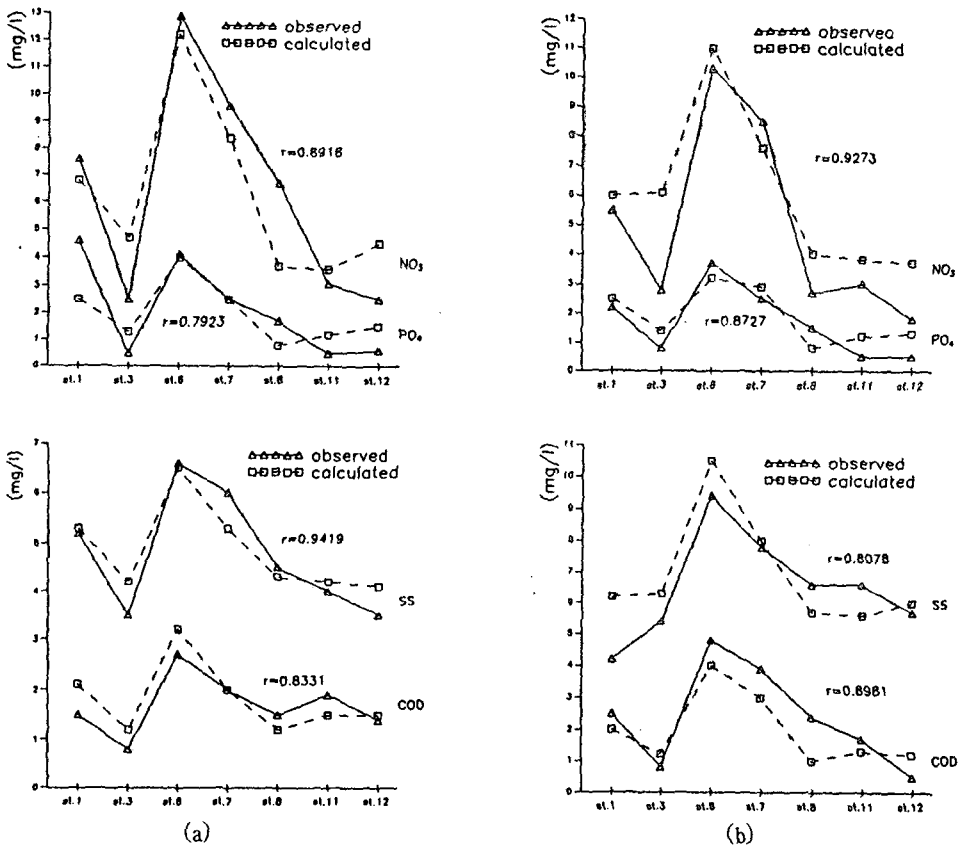


Fig. 4. Comparison of concentrations between the computed and the observed at selected stations.
(a) maximum flood flow (b) maximum ebb flow

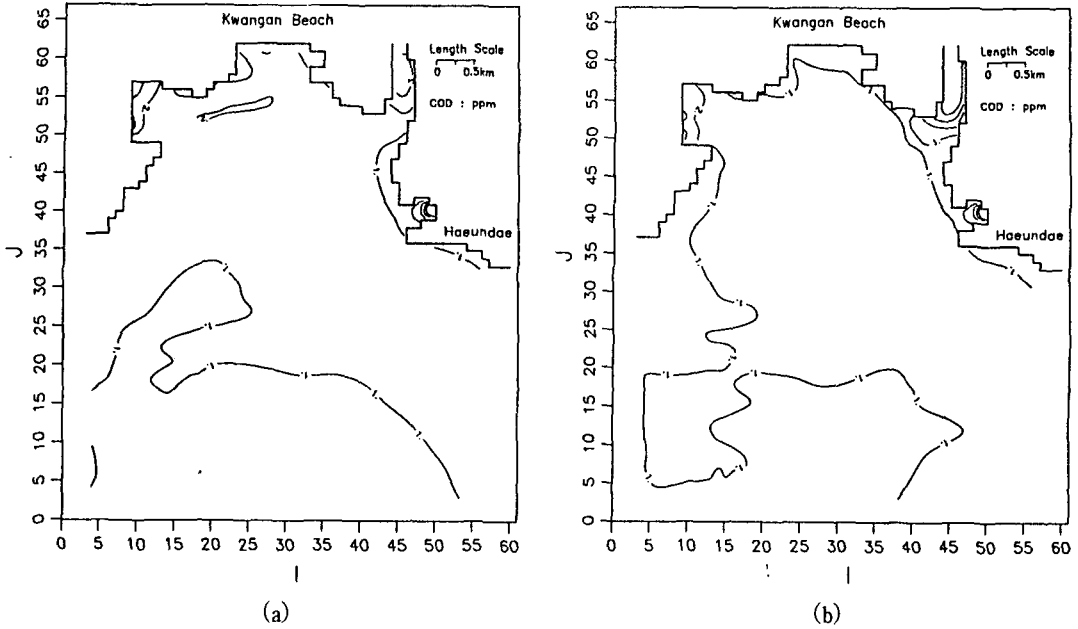


Fig. 5. Distribution of the computed COD concentration.
(a) maximum flood flow (b) maximum ebb flow

② SS 分布

Fig. 6은 漲·落潮 最強流速時에 계산된 SS 濃度 分布를 나타낸 것이다. 만내의 SS 濃도는 漲潮時에 3.0~6.0ppm 落潮時에 4.0~8.0ppm 정도로 나타났다. 漲·落潮時의 濃도분포를 比較할 때 落潮時 만

내의 濃도가 높게 나타났다.

③ NO_3^- -N 分布

Fig. 7은 漲·落潮 最強流速時에 計算된 NO_3^- -N 濃度 分布를 나타낸 것이다. 만내의 NO_3^- -N 濃도는 漲·落潮時 모두 3.0~6.0ppm 정도로 나타났다.

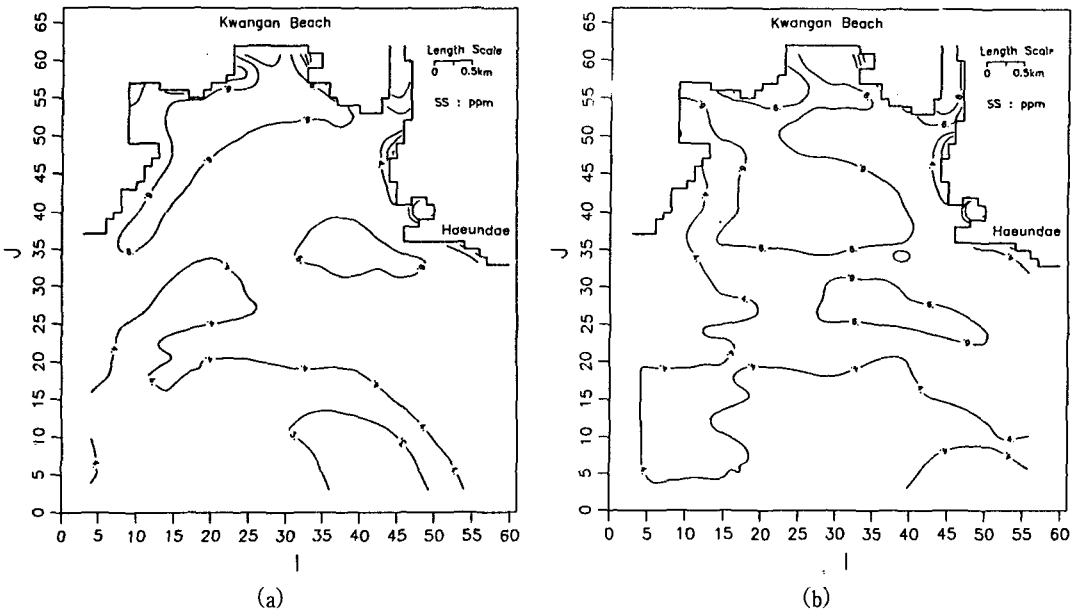


Fig. 6. Distribution of the computed SS concentration.
(a) maximum flood flow (b) maximum ebb flow

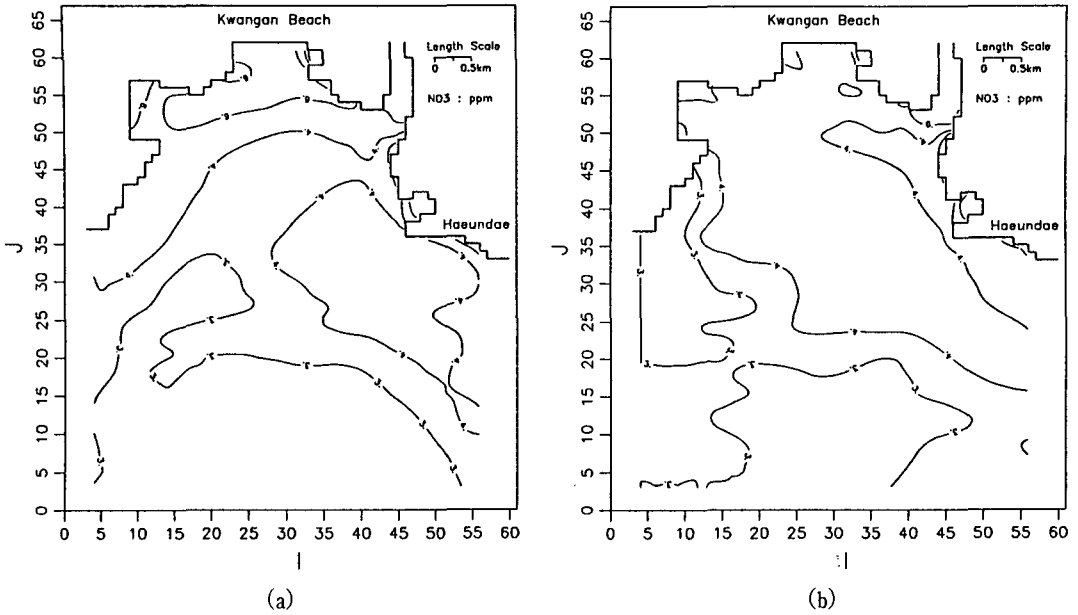


Fig. 7. Distribution of the computed $\text{NO}_3^{3-}\text{-N}$ concentration.
 (a) maximum flood flow (b) maximum ebb flow

漲·落潮時의 농도분포를 比較할 때 광안해수욕장 附近의 농도가 높게 나타났다.

④ $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 分布

Fig. 8은 漲·落潮 最強流速時에 計算된 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度分布를 나타낸 것이다. 만내의 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃도는

漲·落潮時 모두 0.5~1.0ppm 정도로 나타났다. 그러나 수영강 河口附近은 落潮時에 2.0~5.0ppm 漲潮時에 2.0~3.0ppm 정도로 相對的으로 높게 나타났다. 漲·落潮時의 농도분포를 比較할 때 落潮時 수영강 河口部의 농도가 약간 높게 나타났다.

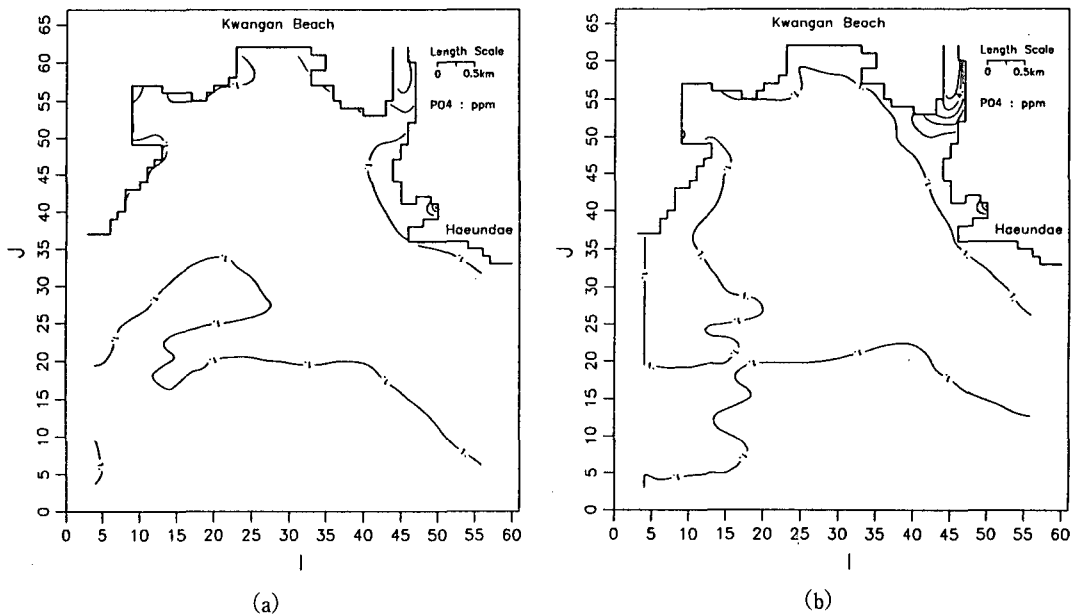


Fig. 8. Distribution of the computed $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ concentration.
 (a) maximum flood flow (b) maximum ebb flow

이상의 計算結果를 綜合하면 落潮時 灣內水質이 比較的 惡化되었으며, 특히 수영강 河口部의 水質이 惡化되는 것으로 나타났다. 그러나 광안해수욕장 附近의 水質은 漲潮時에 惡化되는 것으로 나타났다.

結 論

水深이 깊지 않고 비교적 垂直混合이 잘 되어 있는 灣內의 海水유동 및 擴散現象을 再現하기 위하여 水深積분한 2차원 수치모델을 수영만에 適用하였다. 수치모델의 適用性을 檢討하기 위하여 大潮期에 觀測한 유속자료와 수질자료를 각각 計算 결과와 比較하였다. 本 모델에 依해 計算된 結果는 現場 觀測値와 일반적으로 잘 一致하였으며 모델의 적용성이 檢證되었다. 연구결과를 要約하면 다음과 같다.

1. 만내의 조류속은 最大 0.3m/sec이고 유향은 落潮時에 시계방향으로, 漲潮時에 반시계방향으로 還流를 形成하였다.

2. 水質項目中 COD와 SS의 計算結果는 觀측치와 잘 一致하였으나, NO_3^- -N와 PO_4^{3-} -P의 計算結果는 觀측결과와 相當한 差異가 있었다.

3. 水質項目別 計算結果는 COD; 0.7~4.5ppm, SS; 3.2~10.7ppm, NO_3^- -N; 2.3~7.5ppm, PO_4^{3-} -P; 0.5~5.3ppm으로 나타났다.

4. 潮汐에 따른 만내의 水質變化는 漲潮時보다 落潮時 比較的 惡化되었으며, 특히 수영강 河口部의 水質이 惡化되었다.

5. 광안해수욕장 附近의 水質은 특별히 漲潮時에 惡化되었다.

本 研究와 關聯하여 앞으로 더 연구해야 할 課題는 첫째, 擴散모델에 사용되는 移流率을 정확히 推定하기 위해서는 海水流動場에 대한 정확한 解析이 必須的이다. 따라서 다양한 地形과 境界條件에 대한 여러가지 海水유동장 解析技法이 要求된다. 둘째, 正確한 수질모델링을 위해서는 실험실연구와 현장관측을 通하여 각 수질항목의 複雜한 生化학적 變환과정과 相互作用들이 먼저 定量化되어야 한다.

參 考 文 獻

姜賢珠. 1989. 水營江 河口의 水質管理方案에 관한 研究. 釜山水產大學 環境工學科 碩士學位論文,

1~8.

金次謙 · 李宗燮. 1991. 河口에서 two-level 모델에 의한 海水流動 및 擴散에 관한 數値實驗. 韓國 水產學會誌, 24(1), 59~68.

裴莊榮. 1989. 낙동강하구 연안개발사업으로 인한 연안수질변화 예측에 관한 연구. 서울大學校 環境計劃學科 碩士學位論文, 1~4.

田昌敏. 1987. 水營川 河口의 水質特性과 水質모델에 관한 研究. 釜山水產大學 環境工學科 碩士學位論文, 1~10.

洪大關. 1987. 防潮堤設置가 沿岸水質에 미치는 影響에 관한 研究—靈岩 · 錦湖灣을 中心으로—. 서울大學校 環境計劃學科 碩士學位論文, 1~5.

Fischer, H. B. 1970. A Method for Predicting Pollutant Transport in Tidal Waters. Hydraulic Laboratory, Univ. of Calif., Berkeley, 32~98.

Fischer, H. B. 1972. A Lagrangian Method for Predicting Pollutant Dispersion in Bolinas Lagoon, California. Geological Survey Professional paper 582-B, U. S. Government Printing Office, Washington, 1~2.

Kang, S. W., T. S. Jung and J. K. Choi. 1986. Circulation and Dispersion of Pollutant in the Nakdong river estuary. Int'l Symp. Physical Processes in Estuaries, The Netherlands, 12~19.

Kang, S. W. 1988. Numerical Modelling of Pollutant Dispersion in Masan Bay. KORDI Tech. Report BSPF0057-184-4, 171~238.

Kang, S. W., T. S. Jung, J. C. Lee and C. S. Kim. 1989. Circulation and Dispersion of Pollutant in Masan-Jinhae Bay. Inst. of Env. Res., Kyungnam Univ., Report, Vol. 11, 47~72.

Leendertse, J. J. and E. C. Gritton. 1971. A Water-Quality Simulation Model for Well Mixed Estuaries and Coastal Seas: Vol. 3 Jamaica Bay Simulation. R-709-NYC, The New York City Rand Institute, 1~9.

Leendertse, J. J. 1971. A Water-Quality Simulation Model for Well Mixed Estuaries and Coastal Seas: Vol. 2 Computation Procedures. Rep. R-708-NYC, The Rand Corp., Santa Monica, California, 1~15.

Thomann, R. V. 1964. Estuarine Water Quality Management and Forecasting. J. of ASCE. SA5, 9~15.

金子安雄 · 堀江 毅 · 村上和男. 1975. ADI法による

潮流汚染擴散の數值計算. 港灣技術研究所報告,
14(1), 9~17.

失野雄幸・佐蘇弘三. 1978. 擴散方程式入門. 公害研
究對策センタ, 2~11.

1992년 1월 31일 접수

1992년 3월 7일 수리