

河口에서 Two-level 모델에 의한 海水流動 및 擴散에 관한 數值實驗

金次謙 · 李宗燮

釜山水產大學校 海洋工學科

Numerical Experiments on the Hydrodynamic and Diffusion in Estuary by using Two-level Model

Cha-Kyum KIM and Jong-Sup LEE

Department of Ocean Engineering, National Fisheries University of Pusan

Pusan, 608-737, Korea

Two-level numerical models are formulated to predict the flow pattern, SS(suspended solids) distribution and the behavior of discharged fresh water in estuary, and are applied to the Suyoung River estuary in Pusan, Korea. To verify the application of the models, field observations of tidal current, salinity and SS were performed during the period of spring tide. Computed upper level velocities by two-level model are in better agreement with observed values than single model. Apart from the magnitude of the velocities, the predicted flow fields at upper level are similar to those obtained at lower level. Upper level velocities in river channel during ebb spring tide are about 2 times stronger than those during flood spring tide due to the discharging flow rate from the Suyoung River. Two-level model results on the salinity and SS distribution at upper level are compared with the observed ones at the surface. Computed salinity distributions are in good agreement with the observed values, but computed SS distributions show 6~10 ppm higher values than the observed ones.

緒 論

水營江 河口는 生活 및 産業廢水로 인해 底質 및 水質의 汚染問題가 深刻하다. 河口의 東側에는 Yacht harbor가 設置되 있어 河口埋沒이나 水質改善問題와 관련하여 海水流動 및 浮游物質의 移動에 관한 研究가 중요한 課題로 대두되고 있다. 또한, 水營江 河口는 東으로 해운대 해수욕장, 西로 광안리 해수욕장과 인접하고 있다. 그래서, 이들 해수욕장의 水質 및 底質을 보존 및 관리하기 위해서는 당 해역의 海水流動, 河川水의 舉動 및 浮游物質의 舉動을 豫測하여야 한다.

河口域에서 海水流動은 地形의 복잡성 및 담수와 해수의 교차로 인해 대단히 복잡하고, 또한 담

수와 해수의 密度差에 의해 成層流가 형성되 있다. 따라서, 하구에서 海水流動 및 擴散現象을 해석할 때는 Level모델 또는 Layer모델이 적용된다. Layer 모델은 직접 鉛直流를 計算할 수 없지만, 각 층에서 水平流速成分과 層間 境界面의 높이(내부파)를 계산하여 연행량으로 부터 연직방향의 운동을 평가한다. 그리고, Layer모델은 수심 및 지형이 복잡하게 변화하는 곳에서는 内部境界面의 변동이 대단히 불안정하기 때문에 계산이 불안정하기 쉽다. 한편, Level모델은 連직격자가 고정되 있기 때문에 내부 경계면의 높이는 구할 수 없지만, 각 층에서 수평유속성분과 連직류를 구할 수 있다. 그래서, 内部 境界面의 變動代身에 鉛直流에 의해 수괴의 상하 운동을 표현하는 Level모델이 일반적으로 이

용되고 있다. Level모델로는 Leendertse and Liu (1979), Sheng *et al.*(1978) 등의 연구가 있고, Layer모델로는 Boehlich(1987) 등의 연구가 있다.村上(1989)은 밀도류가 존재하는 곳에서 Two-level 모델과 Two-layer 모델에 의해鉛直方向의運動特性에 대한 연구를 하였다. 또한, 鶴谷(1989)은 Multi-level 모델을 이용하여 항로매몰을 예측하였다.

水營灣의流動 및 水質에 관해서는 元等(1979), 金(1981), 朴(1988) 등의 연구결과가 있다. 元等(1979)은 水營江에서 유출되는 汚染物質이 靑안리 海水욕장에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 金(1981)은 유동과 擴散係數에 대한 연구를 하였고, 朴(1988)은 수영만에서 淡水와 鹽水의 혼합에 대한 연구를 하였다. 이들의 연구는 주로 현지 관측 결과에 근거를 두었기 때문에 수영만의 전반적인 해수유동, 하천수 및 부유물질의 확산패턴을 파악할 수 없다.

따라서, 本 연구에서는 海水流動 및 物質擴散에 대한 Two-level 모델을 정립한 후 水營灣에 적용하여 당 해역의 海水流動, 河川水의 舉動 및 浮游砂의 거동을 예측하고자 한다. 本 연구결과는 航路埋没, 오타수가 周邊海域에 미치는 影響 範圍, 埋立工事, 靖화지역으로 오타수의 流入防止對策 등을 수립하는데 중요한 資料로 활용될 수 있다.

資料 및 方法

1. 現地觀測

研究對象으로 하는 범위는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 韓國의 南東 海岸에 위치한 水營江 河口域이다. 水營江은 靑南 양산군 양산면 해발 800m에서 발원하여 장전천, 석대천, 온천천의 지류를 가지고 있다. 전체 유역면적은 200km², 유로연장은 28.2km이며, 유역면적의 약 85%는 산지부로 되어 있다.

本 연구에서는 大潮期인 1989년 10월 17일(월령 17.2) 落潮流時와 漲潮流時에 Fig. 1의 St. 1~St. 7에서 층별 염분과 SS를, St. 8에서는 층별 유속을 25시간 연속 측정하였다. 測定方法으로서, 염분은 T-S bridge 수온·염분계, 유속은 CM-2유속계, SS는 채수하여 filtering 방법으로 측정하였다.

2. Two-level 數值模型實驗

1) 基礎方程式

潮流와 密度流 효과를 고려한 Two-level 모델로써, Fig. 2의 좌표계를 기준으로 연직 적분한 上·下層의 運動方程式, 連續方程式 및 擴散方程式은

다음과 같다.

— 上層部의 運動方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial U_1}{\partial t} + U_1 \frac{\partial U_1}{\partial x} + V_1 \frac{\partial U_1}{\partial y} + W \frac{U_1 - U_2}{2h_1} \\ & = fV_1 - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_1}{\partial x} + A_H \left(\frac{\partial^2 U_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_1}{\partial y^2} \right) \\ & - r_1^2 (U_1 - U_2) \frac{\sqrt{(U_1 - U_2)^2 + (V_1 - V_2)^2}}{h_1} \end{aligned} \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V_1}{\partial t} + U_1 \frac{\partial V_1}{\partial x} + V_1 \frac{\partial V_1}{\partial y} + W \frac{V_1 - V_2}{2h_1} \\ & = -fU_1 - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_1}{\partial y} + A_H \left(\frac{\partial^2 V_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_1}{\partial y^2} \right) \\ & - r_1^2 (V_1 - V_2) \frac{\sqrt{(U_1 - U_2)^2 + (V_1 - V_2)^2}}{h_1} \end{aligned} \dots\dots\dots (2)$$

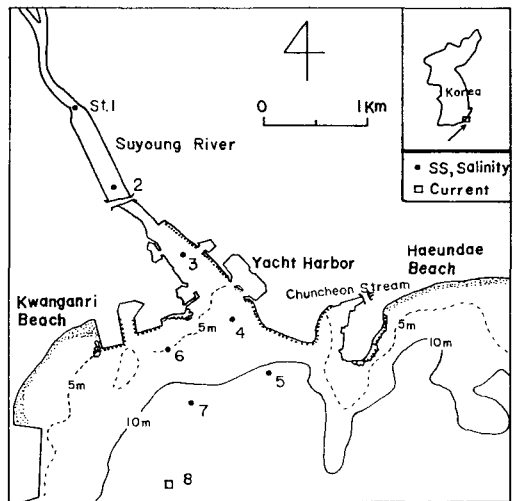


Fig. 1. Topography of Suyoung River estuary.

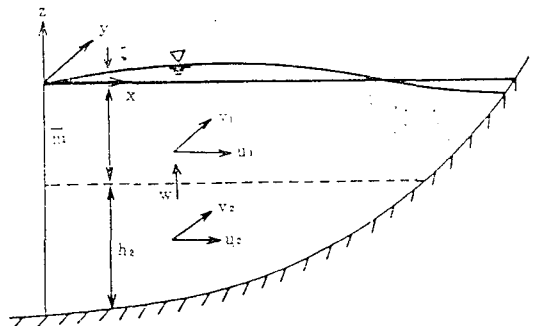


Fig. 2. Two-level model coordinate system and notations.

— 下層部の 運動方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial U_2}{\partial t} + U_2 \frac{\partial U_2}{\partial x} + V_2 \frac{\partial U_2}{\partial y} + W \frac{U_1 - U_2}{2h_2} \\ & = fV_2 - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_2}{\partial x} + A_H \left(\frac{\partial^2 U_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_2}{\partial y^2} \right) \\ & + r_1^2 (U_1 - U_2) \frac{\sqrt{(U_1 - U_2)^2 + (V_1 - V_2)^2}}{h_2} \\ & - \frac{r_b^2}{h_2} U_2 \sqrt{U_2^2 + V_2^2} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V_2}{\partial t} + U_2 \frac{\partial V_2}{\partial x} + V_2 \frac{\partial V_2}{\partial y} + W \frac{V_1 - V_2}{2h_2} \\ & = -fU_2 - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_2}{\partial y} + A_H \left(\frac{\partial^2 V_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_2}{\partial y^2} \right) \\ & + r_1^2 (V_1 - V_2) \frac{\sqrt{(U_1 - U_2)^2 + (V_1 - V_2)^2}}{h_2} \\ & - \frac{r_b^2}{h_2} V_2 \sqrt{U_2^2 + V_2^2} \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

— 上層部の 連續方程式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (U_1 h_1 + U_2 h_2) + \frac{\partial}{\partial y} (V_1 h_1 + V_2 h_2) = 0 \dots\dots\dots (5)$$

— 下層部の 連續方程式

$$W + \frac{\partial}{\partial x} (U_2 h_2) + \frac{\partial}{\partial y} (V_2 h_2) = 0 \dots\dots\dots (6)$$

— 上層部の 擴散方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial b_1}{\partial t} + \frac{\partial b_1 U_1}{\partial x} + \frac{\partial b_1 V_1}{\partial y} + W \frac{b_1 - b_2}{2h_1} \\ & = \frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial b_1}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial b_1}{\partial y}) \\ & - K_z \frac{2(b_1 - b_2)}{(h_1 + h_2)h_2} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

— 下層部の 擴散方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial b_2}{\partial t} + \frac{\partial b_2 U_2}{\partial x} + \frac{\partial b_2 V_2}{\partial y} + W \frac{b_1 - b_2}{2h_1} \\ & = \frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial b_2}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial b_2}{\partial y}) \\ & + K_z \frac{2(b_1 - b_2)}{(h_1 + h_2)h_2} \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \rho_0 g \zeta - \rho_0 b_1 \frac{\bar{h}_1}{2} \\ P_2 &= P_1 - \rho_0 \frac{b_1 + b_2}{2} \frac{\bar{h}_1 + h_2}{2} \\ b_1 &= g \frac{\rho_0 - \rho_1}{\rho_0} \\ b_2 &= g \frac{\rho_0 - \rho_2}{\rho_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

여기서, U_1, V_1 : 각각 상층에서 평균한 x, y 방향 유속

U_2, V_2 : 각각 하층에서 평균한 x, y 방향 유속

ζ : 평균해면으로부터 수위

h_1 : 상층두께 ($h_1 = \bar{h}_1 + \zeta$)

\bar{h}_1 : 하층과의 경계면에서 평균해면까지 두께

h_2 : 하층 두께

P_1, P_2 : 각각 상층, 하층에서 압력

b_1, b_2 : 각각 상층, 하층에서 부력

ρ_1, ρ_2 : 각각 상층, 하층에서 해수밀도

ρ_0 : 해수의 기준밀도

g : 중력가속도

f : Coriolis 계수 ($= 2\omega \sin\phi$)

A_H : 수평 와동 점성계수

r_b^2 : 해저마찰계수

r_1^2 : 내부마찰계수

K_x, K_y : 각각 x, y방향 확산계수

K_z : 연직 확산계수

밀도 ρ 는 수온차가 적은 경우 염분 S만 고려하기 위해 柳等(1987)이 제안한 다음과 같은 선형방정식을 이용하여 결정하였다.

$$\rho = \rho_1 (1 + 0.0007575S) \dots\dots\dots (10)$$

여기서, ρ_1 는 담수의 밀도이다.

上記 基礎方程式은 靜水壓分布를 하고, 非壓縮性 流體이고, Boussinesq 근사가 성립하고, 流速의 鉛直 方向 變化가 2층으로 구별된다는 가정에 근거한다. 그리고, 상기 방정식에는 海面에서 바람에 의한 전단력, 대기압 변화는 고려되지 않았다.

2) 計算方法 및 條件

海水流動은 식(1)~(6)을 有限差分法하여 上層에서는 ADI법(Alternating Direction Implicit Method), 下層에서는 양해법을 사용하여 계산하였다. 鹽分擴散은 식(7)~(8)을 유한차분法하여 上·下層 모두 ADI법을 사용하여 계산하였고, SS 擴散은 식(7)~(8)의 b_1, b_2 대신에 각각 上·下層의 SS 농도값을 대입하여 鹽分擴散과 동일한 방법으로 계산하였다. 數值計算에서 上·下層의 구별은 水營江 河口部の 수심을 고려하여 수면에서 6m까지를 상층으로 하고, 그 이하를 하층으로 하였다.

境界條件으로써 開境界에서는 現地 觀測結果에 기초하여 半日周潮의 평균대조($M_2 + S_2$)의 진폭(0.5m)으로 주었고, 陸地境界에서는 육지경계에 直角인 방향의 流速을 0로 주었다. 水營江에서의 하천 유출량은 부산시(1984)의 조사결과로부터 평수량

4.0m³/s을 사용하였다. 潮流 및 擴散 數值모델에 사용된 各 係數들의 값은 Table 1 및 Table 2와 같다.

그리고, Single model의 계산은 유한차분화하여 ADI법으로 하였고, 계산조건은 Two-level model과 동일하게 하였다.

結果 및 考察

1. 現地觀測

Table 1. Input parameters used to compute the tidal current

Parameters	Values
Grid interval	$\Delta X = \Delta Y = 150m$
Time interval	$\Delta T = 20sec.$
Upper level thickness	6.0m
Horizontal eddy viscosity coefficient	$A_H = 0.0125\Delta X^{4/3} = 10m^2/s$
Internal friction coefficient	$r_i^2 = 5 \times 10^{-4}$
Bottom friction coefficient	$r_b^2 = 0.0026$
Fresh water density	$\rho_f = 0.999$
Tidal amplitude in open boundary	0.5m (Spring tide)
Discharging flow rate from the Suyoung River	4.0m ³ /s

Table 2. Input parameters used to compute the diffusion

Parameters	Values
Grid interval	$\Delta X = \Delta Y = 150m$
Time interval	$\Delta T = 600sec.$
Horizontal eddy diffusion coefficient	$K_x = K_y = 5m^2/s$
Vertical eddy diffusion coefficient	$K_z = 5 \times 10^{-5}m^2/s$
Salinity concentration in open boundary	Upper level: 33.0 ‰ Lower level: 33.0 ‰
Initial salinity concentration	Upper level: 26.5 ‰ Lower level: 28.5 ‰
Initial SS concentration	5ppm
Discharging SS concentration from the Suyoung River	100ppm

1) 層別 流速分布

1989. 10. 16~17(월령 16.2~17.2)에 Fig. 1의 St. 8(수심 12m)의 표층, 중층 및 저층에서 CM-2유속계로 25시간 連續 測流하였다. 最大流速은 표층에서 28cm/s, 중층에서 25cm/s, 저층에서 20cm/s로 나타났으며, 層別 流向分布는 모두 북동-남서방향으로 탁월하였다. Fig. 3은 표층, 중층 및 저층에서 潮流의 조화분석한 결과이다. 표층, 중층 및 저층 모두 半日周潮가 탁월하게 나타났고, 潮流의 回轉 方向은 모두 시계방향이었다.

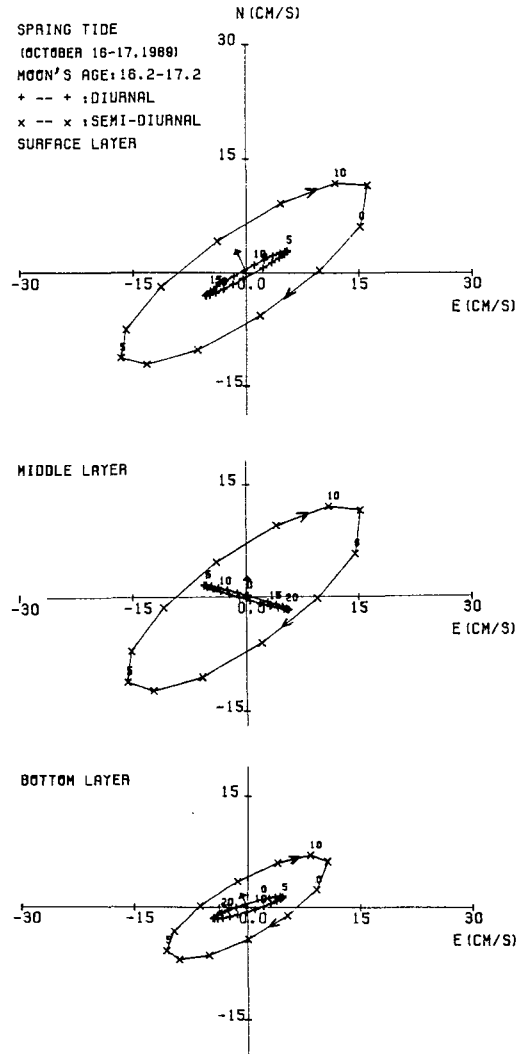
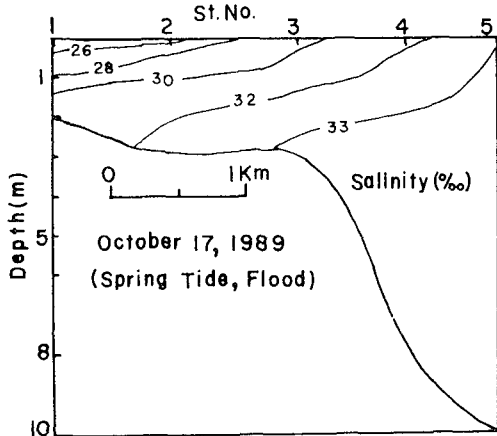


Fig. 3. Tidal current ellipses at the surface, middle and bottom layer of St. 8 during October 16~17, 1989.

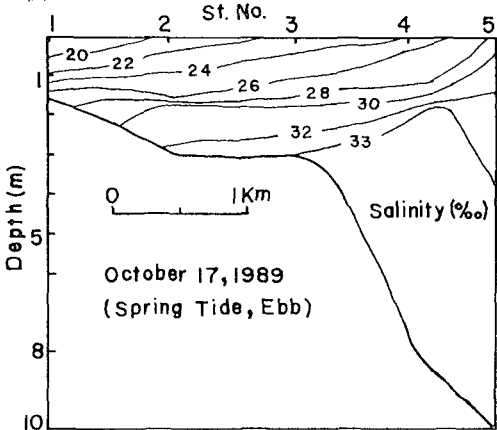
2) 鹽分の 鉛直 및 水平分布

水營江 河口에서 담수·염수의 混合特性 및 유출수의 擧動을 조사하기 위해 大潮期(1989년 10월 17일, 월령 17.2)에 관측한 염분의 鉛直分布를 Fig. 4에 나타냈다. 漲潮流時에는 염수쇄기의 침입으로 인해 염분분포는 전형적인 약 混合型을 나타내고, 염수쇄기는 St. 1보다 상류지점까지 침입하고 있음을 보여주고 있다. 落潮流時의 염분분포는 담수의 流出로 인해 창조류시보다 성층화된 현상을 보여주고 있다.

河口域에서 潮時에 따른 염분전선의 이동을 조사하기 위해 表層에서 관측한 염분의 수평분포를 Fig. 5에 나타냈다. 창조류시에는 해수의 유입으로 인해 하구역에서 高 鹽分分布를 형성하고 있고, 鹽



(a) spring flood tide



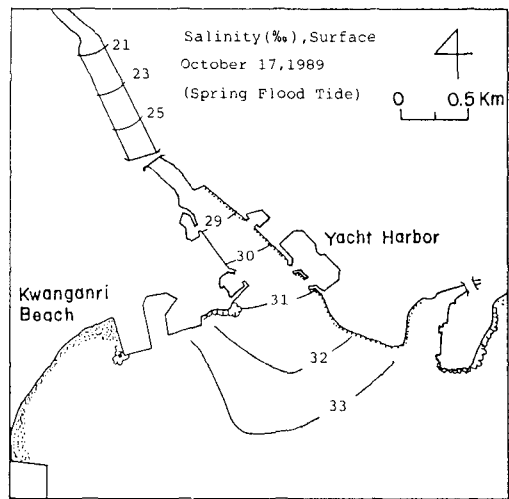
(b) spring ebb tide

Fig. 4. Vertical distributions of salinity observed in October 17, 1989.

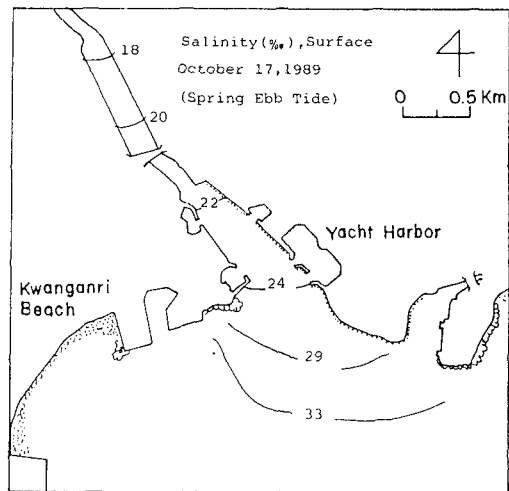
分濃度 33‰의 等值線은 하구의 서쪽인 광안리 해수욕장으로 뻗어 있다. 낙조류시에는 하천수의 유출로 인해 河口域에서 低 鹽分分布를 형성하고 있고, 鹽分濃度 33‰의 等值線은 南東으로 뻗어 있다. 이와 같이 조시에 따른 염분분포도는 河口流出 및 潮流의 이동에 따라 지배된다고 볼 수 있다.

3) SS의 鉛直 및 水平分布

水營江에서 流出되는 汚濁水의 分布特性을 조사하기 위해 대조기(1989. 10. 17)에 측정된 SS의 鉛直分布는 Fig. 6과 같다. 河口域에서 SS값은 대체로



(a) spring flood tide



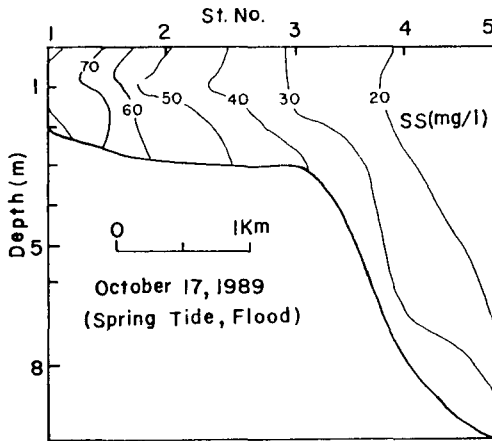
(b) spring ebb tide

Fig. 5. Surface distributions of salinity observed in October 17, 1989.

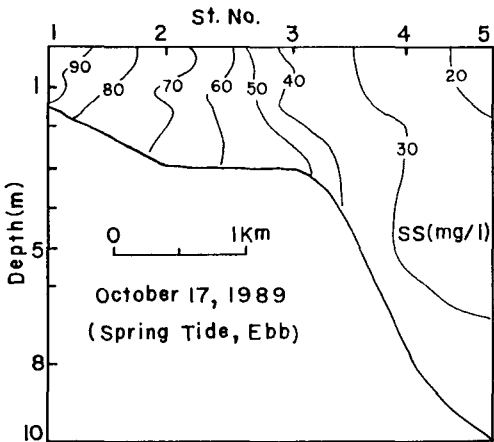
창조류시가 낙조류시보다 낮게 나타났다. 여기서, 漲潮流時가 落潮流時보다 SS값이 낮은 이유는 외해수의 유입으로 인해 汚濁水가 희석되기 때문인 것으로 생각된다.

漲潮流時의 SS 분포특성을 살펴보면, SS 극대치는 주로 저층에서 나타났고, SS 극소치는 주로 중층에서 나타났다. SS 극소치가 중층에서 나타난 것은 중층에서 河川水와 海水의 혼합이 잘 일어나기 때문인 것으로 사료된다.

落潮流時의 SS분포는 St. 2와 St. 3의 중간을 기준으로 하여 上流部에서는 표층에서 SS극대치가 나타났고, 下流部에서는 저층에서 SS극대치가 나타났다. 이와 같은 현상은 SS의 침강, 하구유출수 및 염수쟁기의 거동에 기인된 것으로 생각된다.



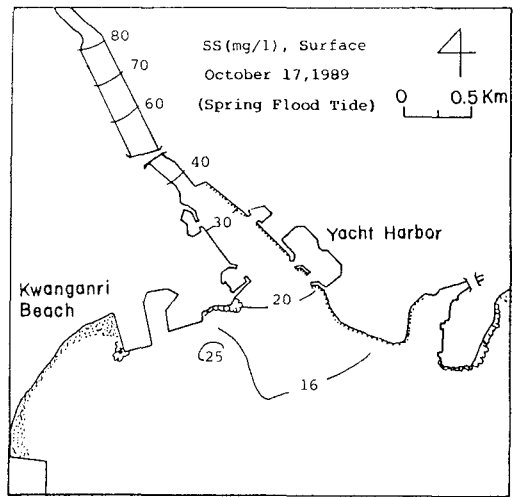
(a) spring flood tide



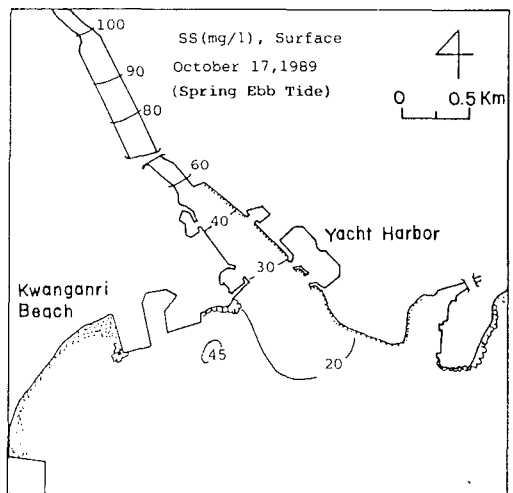
(b) spring ebb tide

Fig. 6. Vertical distributions of SS observed in October 17, 1989.

SS가 주변해역에 미치는 影響範圍를 조사하기 위해 表層에서 관측한 SS의 水平分布를 Fig. 7에 나타냈다. Fig. 7에서 SS의 等值線은 Fig. 5의 鹽分分布와 유사하게 落潮流時에는 남동쪽으로, 漲潮流時에는 서쪽으로 뻗어 있다. 河口域에서 SS의 濃度分布는 落潮流時에는 하천에서 유출되는 汚濁水의 影響으로 인해 高濃度 分布를 나타내고, 漲潮流時에는 외해수의 유입으로 인하여 低濃度 分布를 형성하고 있다.



(a) spring flood tide



(b) spring ebb tide

Fig. 7. Surface distributions of SS observed in October 17, 1989.

2. Two-level 數值模型實驗

1) 流速計算結果의 比較

본 수치모델의 適用性을 검증하기 위해 Fig. 1의 St. 8에서 Two-level 모델에 의한 계산결과, 단층모델에 의한 계산결과 및 관측결과에 대한 조화분석한 결과를 Fig. 8에 나타냈다. Fig. 8에 나타난 조류타원의 장·단축의 유속진폭과 유향을 수치화하여 Table 3에 나타냈다. Table 3에서 알 수 있듯이 Two-level 모델에 의해 계산된 상층에서 유속값은 단층모델에 의해 계산된 결과치보다 약간 크고, 表層에서 관측된 유속값과 유사하게 나타났다. 潮流楕圓에서 Two-level 모델에 의해 계산된 上層의 流向과 單層모델에 의해 계산된 流向은 觀測值보다 시계방향으로 약 15~20° 정도 이동되어 나타났다.

또한, Two-level 모델로 계산된 下層에서 流速은 中층에서 관측된 유속보다 적고, 저층에서 관측된 유속보다 크다. 下層에서 계산된 流向은 東-西 방향으로 탁월하게 일어났으나, 저층 및 중층에서 관측된 流向은 北東-南西 방향으로 탁월하게 일어났기 때문에 下層에서 流向은 觀測值와 다소 차이를 보여주고 있다.

이와 같이 Two-level 모델에 의한 數值實驗結果에 의하면, 流向에 있어서는 觀測結果와 다소 차이가 있으나, 上層에서 계산된 流速은 單層모델에 의한 計算值보다 현지관측 결과를 잘 재현하였다.

2) 流況分布

Two-level 모델을 사용하여 計算된 上·下層의 流況分布는 각각 Fig. 9, Fig. 10과 같다. Fig. 9에 나타난 上層部에서 流速의 크기는, 하도부근에서는 水營江에서 流出되는 河川水의 영향으로 인해 落潮流時가 漲潮流時보다 약 2배이상 크게 나타났으나, 그 외의 영역에서는 落潮流時와 漲潮流時가 거의 비슷하였다.

Fig. 10에 나타난 下層部에서의 전반적인 流況은 上層部에서의 流況과 비슷하게 나타났으나, 외해측 개경계 및 하구부근에서는 上層部와 약간 다른 양상을 보여주고 있다. 전반적으로 下層部에서 流速의 크기는 하층 육지 경계부근을 제외하고는 上層部 流速의 약 70% 정도로 나타났다.

3) 鹽分分布

漲潮流와 落潮流 最強流時에 上層部에서 計算된 鹽分分布를 觀測結果와 비교하여 Fig. 11에 나타냈다. Fig. 11에서 실선은 계산된 값이고, 점선은 표층에서 관측된 값이다. 漲潮流 最強流時의 염분분포는 潮流의 영향으로 인해 광안리 해수욕장으로 뻗어있고, 이 경우 하구 상류부인 하도내에서는 觀測值와 計算值가 다소 차이가 있지만, 외해측에서

는 잘 일치하고 있다.

落潮流 最強流時에는 計算結果와 觀測結果가 33% 등치선에서는 약간의 차이를 나타내고 있으나, 전반적인 等值線의 分布는 잘 일치하고 있다. 이 때 염분분포는 조류 및 水營江 流出水의 영향으로 인해 해운대 해수욕장으로 길게 뻗어 있다. 또한, Yacht harbor 부근에서 염분분포는 漲潮流 最強流時에는 약 30% 정도를 나타냈으나, 落潮流 最強流

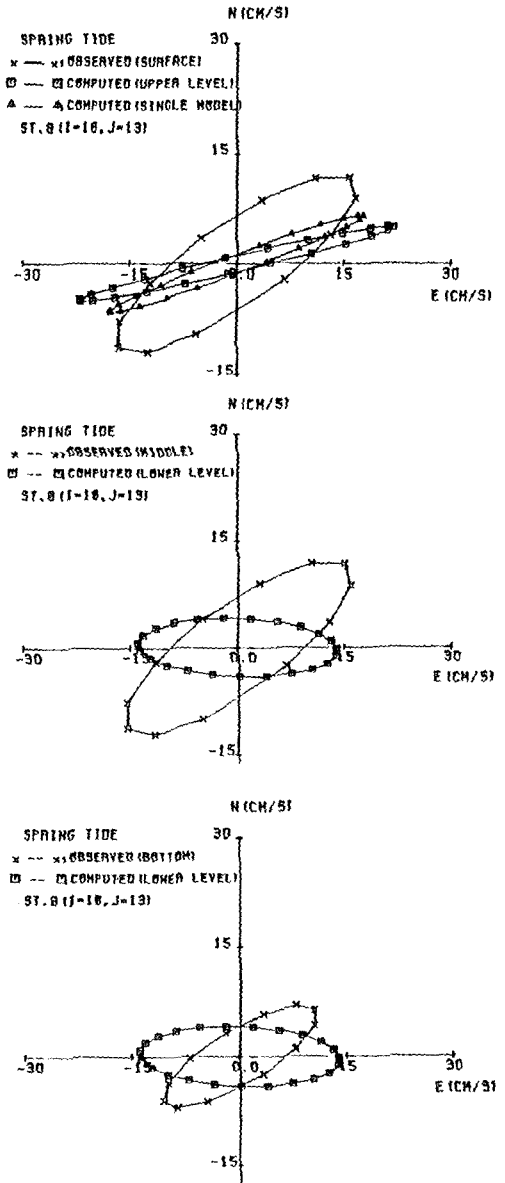
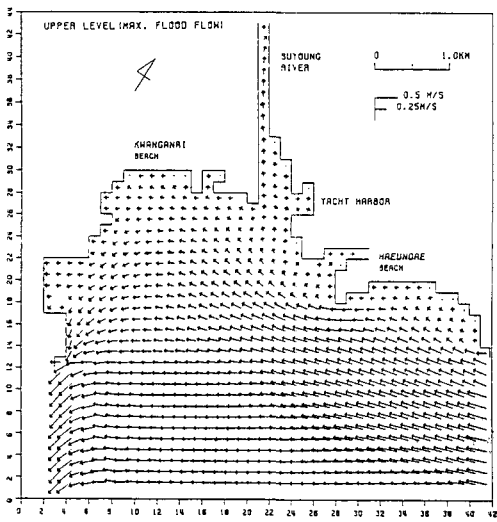


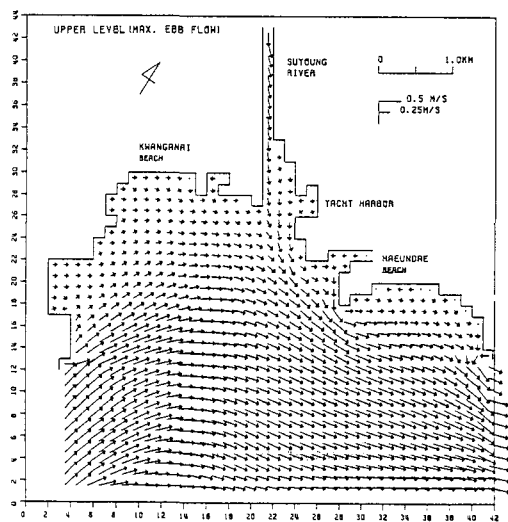
Fig. 8. Comparisons of tidal current ellipses computed by two-level model and single model and observed ones.

Table 3. Comparisons of the velocity amplitude and direction of tidal current ellipses

Classification	Position	Axis	Amplitude(cm/s)	Direction
Two-level model results	Upper level	Long	23.0	N76°E~S76°W
		Short	1.3	S14°E~N14°W
	Lower level	Long	14.3	S85°E~N85°W
		Short	3.9	N05°E~S05°W
Single model results	Mean	Long	18.9	N70°E~S70°W
		Short	1.3	S20°E~N20°W
Observed results	Surface	Long	21.0	N55°E~S55°W
		Short	5.6	S35°E~N35°W
	Middle	Long	18.0	N53°E~S53°W
		Short	5.7	S37°E~N37°W
	Bottom	Long	11.8	N58°E~S58°W
		Short	2.9	S32°E~N32°W



(a) maximum flood flow



(b) maximum ebb flow

Fig. 9. Computed tidal currents at upper level during spring tide.

時에는 수영강에서 유출되는 淡水의 영향으로 인해 약 24‰ 정도를 나타낸다.

4) SS 분포

Fig. 12는 漲潮流와 落潮流 最強流時에 上層部에서 計算된 SS 분포와 觀測結果를 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 12에서 실선은 계산치이고, 점선은 표층에서 관측치이다. 漲潮流 最強流時의 SS 분포는 동일한 潮時에서의 鹽分分布와 유사하게 SS의 等值線이 조류의 영향으로 인해 광안리 海水욕장으로 뻗어 갔다. 이 때 計算結果와 實測結果는 等值線의 分布에 있어서는 유사하게 나타났으나, 계산 결과가 실측결과보다 약 6ppm 정도 적게 나타났다.

落潮流 最強流時의 SS 분포에 있어서도 동일한 潮時에서의 鹽分分布와 유사하게 SS의 等值線이 해운대 海水욕장으로 길게 뻗어 있으며, 대체로 計算結果가 實測結果보다 약 10ppm 정도 적게 나타났다.

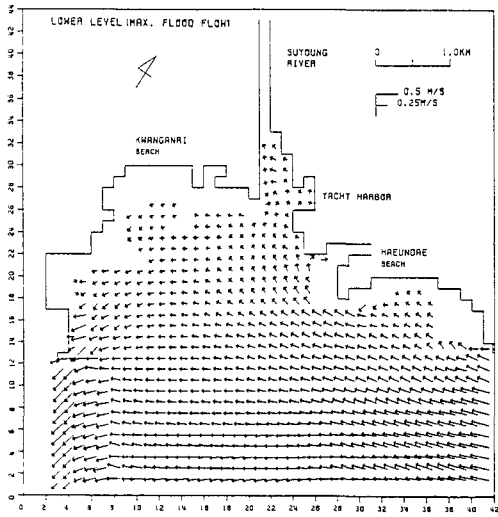
本 數值計算結果에 의하면 計算値가 觀測値보다 약 6~10ppm 정도 적게 나타났다. 이와 같은 현상은 河口部의 水深을 고려하여 設定한 上層部의 두께(6m)가 너무 커서 密度流 效果를 충분히 고려하지 못했기 때문인 것으로 생각된다. 그래서, 앞으로는 밀도류 效果를 충분히 고려할 수 있는 Multi-level 모델의 開發 및 現地適用이 요구된다.

要約 및 結論

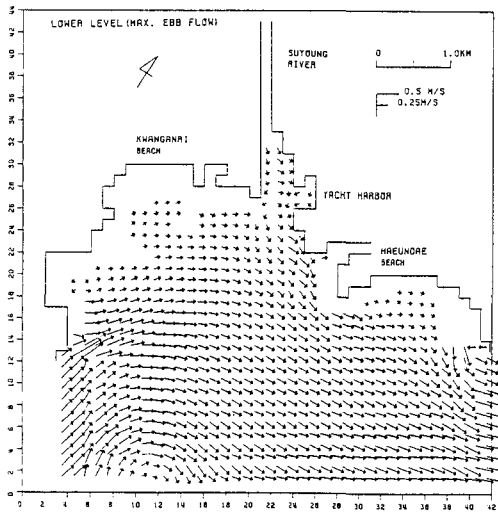
河口域과 같이 地形이 복잡하고 海水流動이 복잡한 지역에서 海水流動 및 物質의 擴散現象을 豫測하기 위해 海水流動 및 物質擴散에 대한 Two-level 수치모델을 定립하여 水營灣에 적용하였다.

수치모델의 適用性を 檢證하기 위해 大潮時에 潮流, 鹽分 및 SS에 대한 現地觀測을 하였다. 本數值모델에 의해 계산된 上層에서 유속값은 單層

모델에 의해 계산된 결과보다 表層에서의 觀測值를 잘 재현하여 모델의 적용성이 입증되었다. 下層에서 계산된 流速의 크기는 中層과 下層에서 觀測된 流速크기의 中間值로 나타났다. 水營江河口의 전반적인 流況은 上層部와 下層部가 서로 비슷하게 나타났고, 下層部에서 流速의 크기는 下層 陸地

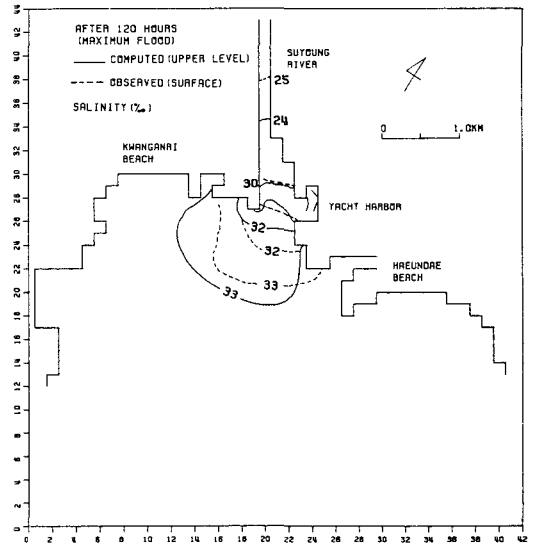


(a) maximum flood flow

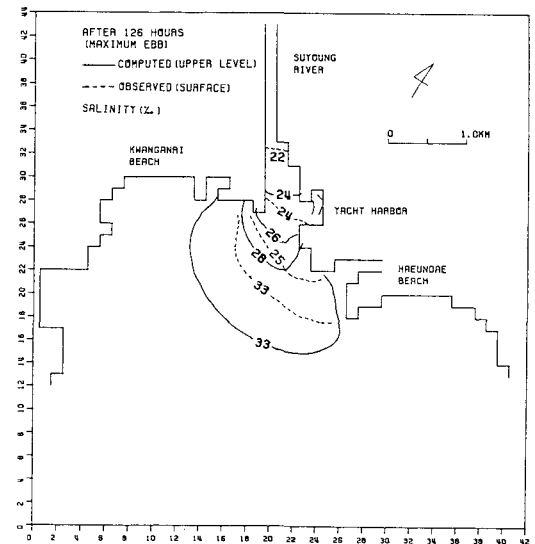


(b) maximum ebb flow

Fig. 10. Computed tidal currents at lower level during spring tide.



(a) maximum flood flow



(b) maximum ebb flow

Fig. 11. Comparisons of computed and observed salinity during spring tide.

境界附近을 제외하고는 上層部 流速의 약 70% 정도이다. 그리고, 河道에서 유속의 크기는 流出水의 영향으로 인해 落潮流時가 漲潮流時보다 약 2배 이상 크게 나타났고, 그 외의 영역에서는 서로 비슷하게 나타났다.

物質 擴散 計算結果에 의하면, 上層에서 계산된 鹽分分布는 表層에서 관측된 鹽分分布를 잘 재현

하였으나, 上層에서 계산된 SS分布는 觀測된 SS分布보다 약 6~10ppm 정도 적게 나타났다.

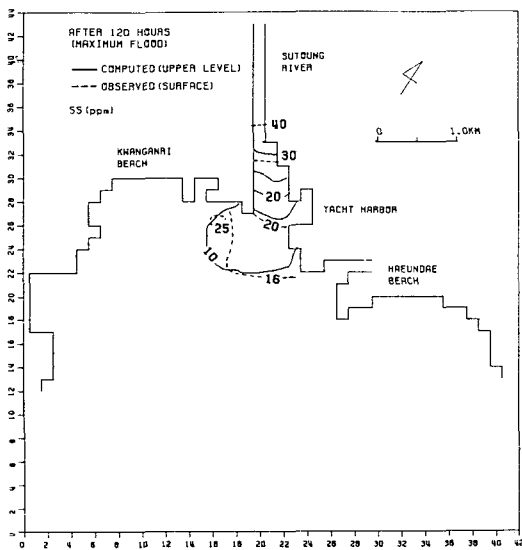
앞으로는 Two-level 모델보다 더 정확한 數值解를 얻기 위해서 地形 및 密度流 效果를 충분히 考慮할 수 있는 Multi-level 모델의 開發 및 現地適用이 요구된다.

謝 辭

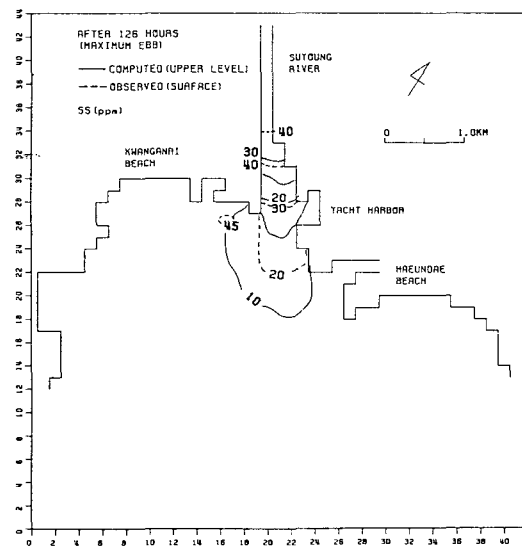
본 연구는 1989년 부산수산대학교 해양연구소의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 해양연구소장님께 감사를 표합니다.

參 考 文 獻

- 金榮燮. 1981. 水營灣에서의 流動과 擴散特性에 관한 研究. 釜山水產大學 環境工學科 工學碩士學位論文, 20p.
- 朴哲析. 1988. 水營灣口의 淡水·鹽水의 混合에 관한 研究. 釜山水產大學 海洋工學科 工學碩士學位論文, 33p.
- 元鐘勳·李培靜·沈戊慶·朴憲碩. 1979. 水營江의 水質汚濁과 그것이 광안리 海水욕장에 미치는 影響에 대하여. 韓國水產學會誌, 12(4), 257~276.
- 釜山直轄市. 1984. 水營灣開發地區 數值 및 水理模型 實驗報告書, 398p.
- Boehlich, M. J. 1987. A three dimensional baroclinic model of the Wester Baltic. In J. C. J. Nihoul and B. M. Jamart ed., Three-dimensional models of marine and estuarine dynamics, Elsevier, Amsterdam, Holland, 285~304p.
- Leendertse, J. J. and S. K. Liu. 1979. A three-dimensional model for estuaries and coastal seas. Vol. IV, Turbulent energy computation, R-21 87-OWRT, The Rand Corp, 165p.
- Sheng, Y. W., W. Lick, R. I. Gedney and F. N. Molls. 1978. Numerical computation of a free-surface model and a rigid lid model. J. Phys. Oceanogr. 8, 713~827.
- 村上和男. 1989. 2層モデルにおける鉛直循環流の評価と密度流の數值計算法. 第36回海岸工學講演會論文集, 204~208.



(a) maximum flood flow



(b) maximum ebb flow

Fig. 12. Comparisons of computed and observed SS during spring tide.

鶴谷廣一・村上和男・入江 功. 1989. 多層レベルモデルによる航路埋没の豫測計算. 第36回海岸工學講演會論文集, 379~383.

柳哲雄・磯邊篤彦. 1987. 河口域での懸濁粒子の舉動に関する數値實驗. 沿岸海洋研究ノート, 25(1), 61~66.

1990년 11월 22일 접수

1991년 1월 12일 수리