

海上工事に 따른 土砂擴散豫測

Pre-Estimation of Soil Diffusion Caused by the Sea Construction

申 文 燮*

Moon Seup Shin*

要 旨 : 본 연구의 목적은 새만금해역에서 방조제 축조에 따른 토사의 이동형태변화와 토사 확산을 알아보는 데 있다. 유동은 조석잔차류와 관측된 바람, 수온, 염분자료를 이용하여 계산되었다. 유동에 의한 토입자의 3차원적 거동은 *Euler-Lagrange* 방법으로 추적하였다. 방조제 축조에 따른 토사확산 및 이동 형태는 금강 하구 남쪽에서 고군산군도 북쪽에 대부분의 토사를 퇴적시켰다. 이것은 잔차류의 영향으로 판단된다.

Abstract □ The purpose of this study is to find a variation in traveling patterns of soil and soil diffusion due to construction of the sea dike in Saemangum coastal sea region. Water circulations are calculated diagnostically from the observed water temperature, salinity and wind data, and tidal residual current. Three-dimensional movements of injected particles due to currents, turbulence and sinking velocity are tracked by the Euler-Lagrangian method. Calculated a variation in traveling patterns of soil and soil diffusion due to construction of the sea dike deposited mostly from estuarine area of the Geum River to Gokunsan coastal sea region. This results are believed to be the combined effect of coastal circulation.

1. 서 론

매립과 준설 공사를 할 때 발생하는 현탁물질의 확산 농도와 범위를 예측하기 위하여 수치 실험은 결정론적 방법의 하나인 기초방정식을 이산량으로 변환하여 수치적으로 구하는 차분법과 확률론적 방법의 하나인 무작위(random)성질을 이용하여 미분방정식을 사용하지 않고 확산현상을 흐름의 크기와 시간, 입자 수를 추적하는 Monte-Carlo 방법으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 *Euler-Lagrange* 방법으로 부유사의 분산, 퇴적 과정을 수치실험을 통하여 계산하였다. 토사 이동 과정은 새만금지구해역의 조석잔차류와 수온·염분에 의한 잔차류, 바람에 의한 잔차류성분을 포함한 흐름 성분과 입자의 침강속도를 고려한 3차원 수치 실험에 의하여 재현하였다.

2. 수치모형

2.1 조류, 조석수치계산

새만금간척지구 연안 해역의 조류·조석 잔차류 계산을 위하여 평균해면을 원점으로 하여 직교 좌표계로 나타내었다. 여기서, x, y 축은 수평면, z 축은 연직방향으로 하고 u, v, w 는 x, y, z 축 방향의 유속 성분으로 한다. 그리고 $z = -h$ 및 $z = \zeta$ 는 해저 및 해면으로 한다. 계산의 편리를 위하여 몇 가지 가정을 설정하면 유체는 점성, 비압축성이고 압력은 정수압 분포를 한다. 연직방향의 흐름은 시간적 변화량 ($\frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial x}, \frac{\partial w}{\partial y}, \frac{\partial w}{\partial z}$)을 무시한다. 새만금 간척지구해역의 조석, 조류를 계산하기 위하여 이용한 기본 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \vec{u} + f\mathbf{K} \times \vec{u} = -g \nabla \zeta - \frac{\gamma \vec{u} |\vec{u}|}{H + \zeta} + v_h \nabla^2 \vec{u} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \nabla \cdot \{ (H + \zeta) \vec{u} \} = 0 \quad (2)$$

여기서 \vec{u} 는 연직수평유속벡터, ∇ 는 수평미분연산

*群山大學校 海洋土木工學科 (Department of Ocean Civil Engineering, Kunsan National University, Korea)

자, f 는 전향력 (Coriolis)계수, K 는 연직단위벡타, g ($980 \text{ cm}^2/\text{s}$)는 중력 가속도, ζ 는 평균 수면으로 부터 해면상승량, $\eta_o^2(2.6 \times 10^{-3})$ 는 해면 마찰계수, H 는 수심, $\nu_h(10^4 \text{ cm}^2\text{s}^{-1})$ 는 수평와동점성계수를 나타내고 있다. 조류 계산을 위한 parameter는 Table 1과 같다.

식 (1), (2)을 차분화하여 계산하였다. 수평 격자의 크기는 $1.0\text{km} \times 1.0\text{km}$ 하였으며, 계산 시간 간격 Δt 은 27초로 하였다. 금강, 만경강, 동진강의 년평균 유입량을 폐경계에서 각각 금강: $5 \times 10^9 \text{ m}^3$, 만경강: $1.048 \times 10^9 \text{ m}^3$, 동진강: $8.60 \times 10^8 \text{ m}^3$ 을 사용하였다.

경계는 서남북경계로, 농어촌 진흥 공사에서 관측으로 부터 얻어진 M_2 분조의 진폭과 위상을 다음식과 같이 수위를 주었다(농어촌진흥공사, 1988).

$$\eta = \eta_o \sin\left(\frac{2\pi}{T_M}t - P\right)$$

$$v = 0 \tag{3}$$

여기서, η_o, P 는 open boundary의 진폭과 위상이고, T_M 는 M_2 조석의 주기, t 는 시간이다. 초기 조건은 $u = 0, \eta = 0$ 로 하여 계산 영역을 정방형 격자로 나누고, CFL(Courant Friedrichs Lewy)조건을 만족하게 time step를 결정하였다.

Table 1. Parameter for M_2 tidal current calculation

Coef. of ho. eddy viscosity(ν_h)	$104 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$
Grav. acceleration(g)	980 cm sec^{-2}
Coriolis parameter(f)	$8.55 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$

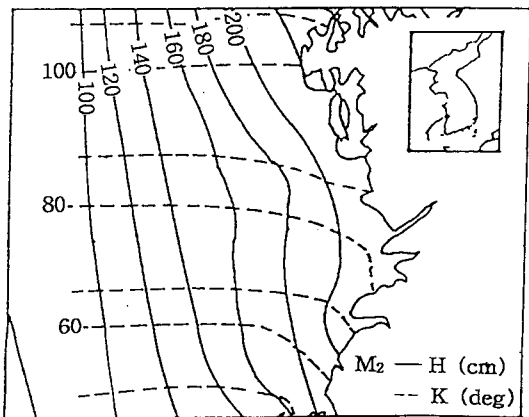
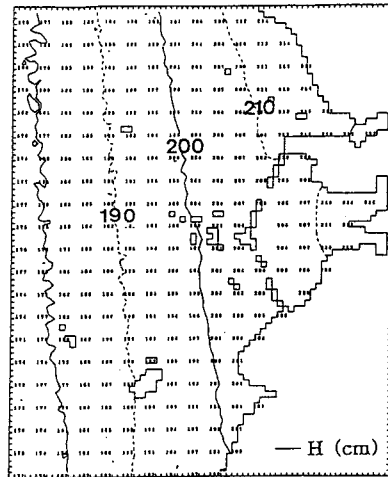


Fig. 1. Observed co-amplitude and co-phase lines of M_2 tide.

Courant 수의 식은 다음과 같다.

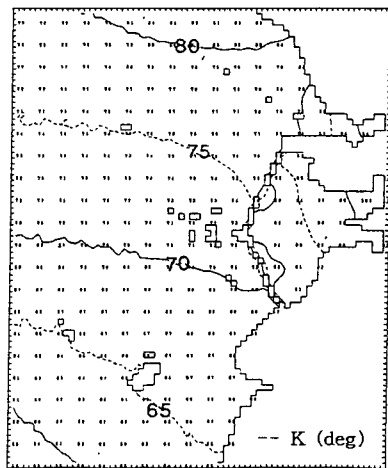
$$C = u \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 1 \tag{4}$$

여기서 C 는 Courant number, Δx 는 mesh크기, Δt 는 time step, u 는 가장 빠른 천해파의 전파속도 (\sqrt{gh})이다. 개방경계는 서·남·북경계로 하였다. 경계치는 농어촌 진흥 공사에서 관측으로 부터 얻어진 M_2 분조의 진폭과 위상을 남쪽 경계에서 $163 \sim 204 \text{ cm}$, $54.25^\circ \sim 65.45^\circ$, 북쪽 경계에서 $167.5 \sim 217.0 \text{ cm}$, $80.7^\circ \sim 88.70^\circ$, 서쪽 경계에서 $160.2 \sim 172.8 \text{ cm}$, $54.25^\circ \sim 82.0^\circ$ 를 사용하여 (1), (2)식을 계산하였다. 정지해면는 평균 해면으로



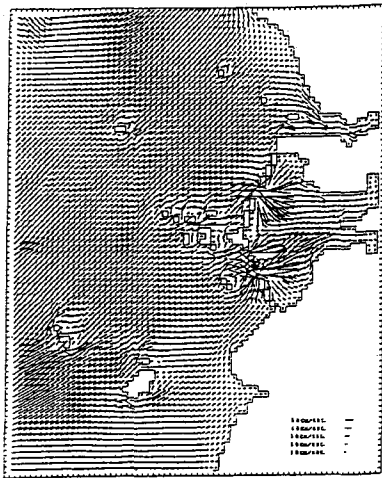
(a)

Fig. 2(a). Calculated co-amplitude chart of M_2 tide.



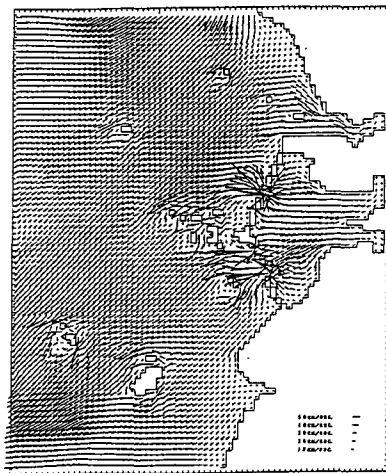
(b)

Fig. 2(b). Calculated co-phase chart of M_2 tide.



(a)

Fig. 3(a). Flow pattern in the maximum flood.



(b)

Fig. 3(b). Flow pattern in the maximum ebb.

(기본수준면 + 평균해면: 3.4 m)하였으며 정지하고 있는 상태에서 계산을 시작하였다. 계산 4주기 후에 정상적인 진동이 일어났다. 따라서 결과는 5주기의 조석과 조류의 계산 결과를 Fourier 분해하였다.

새만금간척지구 연안 해역의 관측 결과로부터 얻어진 M_2 분조의 진폭과 위상분포는 Fig. 1과 같다. 계산 결과로부터 얻어진 M_2 분조의 진폭과 위상 분포는 Fig. 2(a) 및 (b)와 같다. 계산 결과로부터 창조시와 낙조시 조류속이 가장 빠른 유황은 Fig. 3(a) 및 (b)와 같다. 조석잔차류는 Fig. 4와 같다. 조류 진폭은 Fig. 5와 같다.

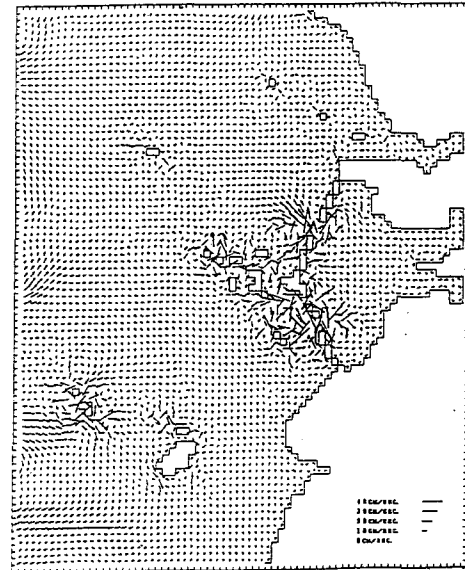


Fig. 4. Calculated M_2 tide-induced residual current.

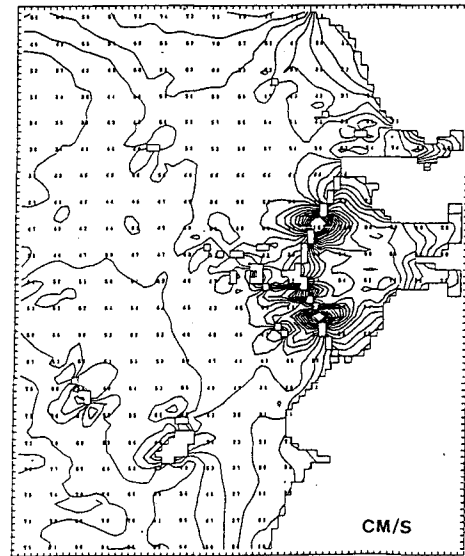


Fig. 5. The amplitudes of tidal current.

2.2 잔차류의 계산

2.2.1 수온·염분관측자료분석

수치 모의실험을 하기 위한 수온 염분 관측 자료로서는 1992년 8월에 관측한 자료를 이용하였다. 관측지점은 Fig. 6에 나타내었다.

수온·염분 관측 data는 쌍곡선 함수를 이용한 객관 보관을 하였으며, 보간식은 다음 식 (5)와 같다.

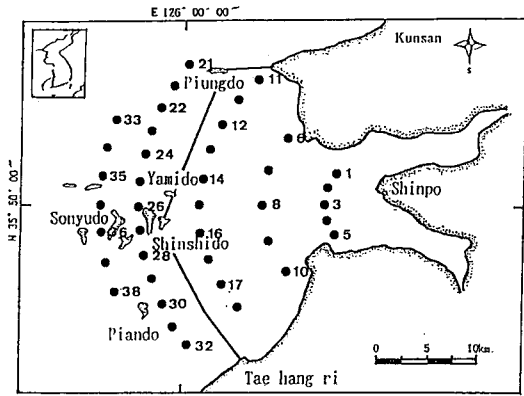


Fig. 6. Observation station of water temperature and salinity.

$$T = \sum \frac{T_i^*}{L_i} / \sum \frac{1}{L_i} \quad (5)$$

여기서 T = 구하려고 하는 격자점의 값, T_i^* = 관측치, L_i = 구하려고 하는 격자점과 관측점과의 거리이며, I = 영향반경내의 관측점수이다.

여름에 관측한 3층 data를 쌍곡선함수를 이용하여 재 관보간한 수온·염분 결과는 Fig. 7과 같다.

2.3 잔차류의 계산

2.3.1 잔차류의 기초방정식

잔차류계산을 위한 운동방정식은 다음과 같다.

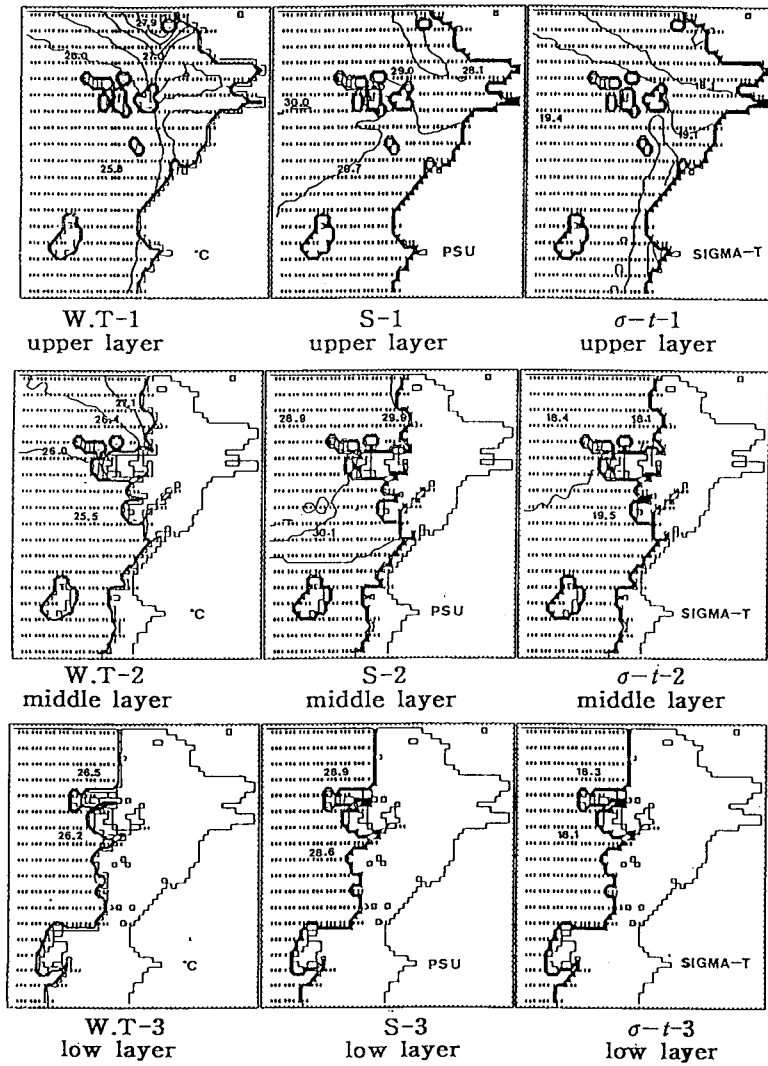


Fig. 7. Distributions of salinity and density obtained in summer.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} + \omega \frac{\partial \vec{u}}{\partial z} + f \mathbf{K} \times \vec{u} \\ = -\frac{1}{\rho_0} \nabla p + \nu_h \nabla^2 \vec{u} + \nu_v \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial z^2} + T_s \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, T_s 는 조석응력이다. 앞의 조석·조류의 계산 결과를 이용하여 조석진동류부터 조석잔차류를 일으키는 힘, 즉 조석응력을 분리하여 할 수 있다. 이 조석응력을 잔차류를 계산할 때 운동방정식에 넣어서 계산하면 조석잔차류를 정확하게 재현할 수가 있다(Oonishi, 1977).

그리고 잔차류를 재현할 때에 진단 model을 사용한다. 수온·염분에 의한 잔차류계산을 위한 수온·염분 이류 확산방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla T + \omega \frac{\partial T}{\partial z} = K_h \nabla^2 T + K_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \gamma(T^* - T) \quad (7)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla S + \omega \frac{\partial S}{\partial z} = K_h \nabla^2 S + K_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} + \gamma(S^* - S) \quad (8)$$

여기서, T^* , S^* 는 수온·염분의 관측치이다. 여기서 이용한 진단 model는 robust diagnostic model 라고 하고, Sarmiento 와 Bryan(1982)에 의해서 개발된 것이다. 순수한 진단 model(purely diagnostic model)는 밀도를 계산하지 않는다.

밀도는 관측치를 그대로 이용하여 밀도로 부터 계산한 압력장으로 운동방정식을 푼다. 그러나 관측한 밀도가 model의 mesh크기 이하의 작은 크기의 현상을 포함하고 있을 경우 model은 그 현상을 재현할 수가 없다. 이러한 경우 순수한 진단 model(purely diagnostic model)는 비현실적인 흐름이 발생한다고 보고하고 있다(Sarmiento 와 Bryan, 1982). 이것을 방지하기 위하여 robust diagnostic model은 식 (6), (7)을 이용하여 관측치를 계산치에 의하여 수정한다. 또한 (6), (7)식의 γ 의 크기에 따라 수정의 정도가 결정된다. γ 를 크게 하면 model은 data에 의해서 제한되어 순수한 진단 model(purely diagnostic model)에 아주 가깝게 되고, 한편 γ 를 작게 하면 model은 data로 부터 독립하여 예보 model(prognostic model)에 아주 가깝게 된다. Sarmiento 와 Bryan(1982)는 γ 를 수심에 따라 변화시키고 있고, Fujio 와 Imasato(1991)는 위도에 따라 변화

시키고 있다. 본 연구에서는 γ 를 관성주기의 역수 ($\gamma = 1/24 \text{ hour}^{-1}$)하여 일정치를 사용하였다.

2.3.2 경계조건 및 초기조건

해면에서 경계조건은 바람응력의 영향을 고려하면 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$-\rho_a \nu_v \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = (\tau_x^s, \tau_y^s) \quad (9)$$

(τ_x^s, τ_y^s) 는 바람응력 ($\text{dyn cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$)의 x, y성분이고, 풍속의 자승에 비례되는 형으로 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \tau_x^s &= \rho_a c_{DA} |u_a| u_a \\ \tau_y^s &= \rho_a c_{DA} |u_a| v_a \end{aligned} \quad (10)$$

$$|u_a| = \sqrt{u_a^2 + v_a^2}$$

여기서 ρ_a 는 대기밀도(g cm^{-3})이고 c_{DA} 는 해면 마찰계수, u_a (cm s^{-1})는 풍속이다. 풍속은 군산 기상대에서 관측한 월평균 풍속을 이용하였다.

해저에서 경계조건은 해저면 마찰을 고려한 다음식으로 정의하였다.

$$-\rho_a \nu_v \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = (\tau_x^b, \tau_y^b) \quad (11)$$

(τ_x^b, τ_y^b) 는 해저마찰응력의 x, y성분($\text{dyn cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$)으로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\tau_x^b = \rho_a c_D |u_B| u \quad (12a)$$

$$\tau_y^b = \rho_a c_D |u_B| v \quad (12b)$$

여기서 c_D 는 해저 마찰계수이다. $|u_B|$ 는 점성경계층 위의 유속의 크기로서 여기서는 다음 식을 사용한다.

$$|u_B| = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (13)$$

바다와 육지의 경계는 no-slip하면 다음과 같이 된다.

$$u = v = 0 \quad (14)$$

계산영역외의 경계는 slip로 하면 다음과 같이 된다. 수온·염분은 관측치를 준다.

Table 2. Parameters used in the numerical experiment

Name of river	Heat flux ($cal\ cm^{-2}\ day^{-1}$)	Wind		River discharge ($m^3 / s / m$)
		Wind Velocity ($m\ sec^{-1}$)	Wind Direction	
	Summer	Summer	Summer	
Geum river	300	3.85	WSW	5×10^9
Mankyung river	300			8.6×10^8
Dongjin river	300			8.6×10^6

Table 3. Parameters for the residual current calculation

Time step (Δt)	30 sec
Coefficient of horizontal eddy viscosity (ν_h)	$5 \times 10^5\ cm^2\ s^{-1}$
Coefficient of vertical eddy viscosity (ν_v)	$5.0\ cm^2\ s^{-1}$
Coefficient of horizontal eddy diffusivity (k_h)	$5 \times 10^5\ cm^2\ s^{-1}$
Coefficient of vertical eddy diffusivity (k_v)	$5.0\ cm^2\ s^{-1}$
Surface frictional coefficient (c_a)	1.3×10^{-3}
Overall mean density (ρ_o)	$1.0238\ g\ cm^{-3}$
Atmospheric density	$1.2 \times 10^{-3}\ g\ cm^{-3}$

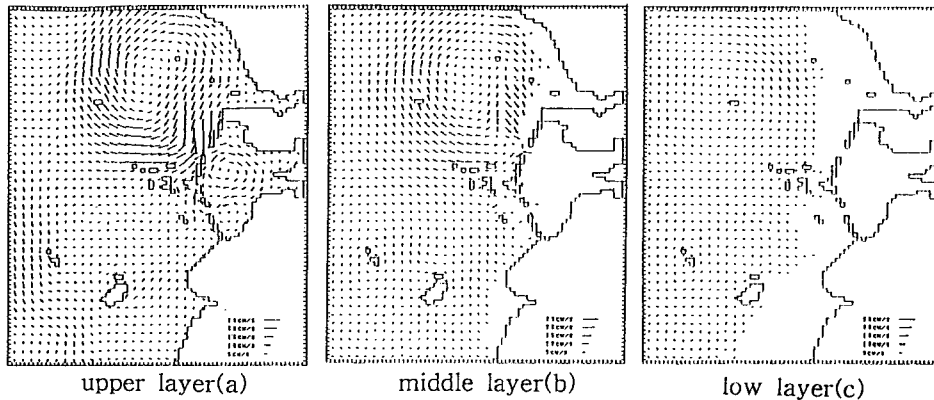


Fig. 8. The flow patterns of residual at three layer of the summer.

$$v=0, \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (15)$$

2.3.3 계산방법

윗식들을 차분화하여 계산하였으며, 수평방향격자는 1.0 km × 1.0 km의 정방형 격자로 분할하고, 연직방향으로는 상층(0 ~ -5 m), 중층(-5 ~ -10 m), 하층(-10 m ~ bottom)로 분할하여 3층 level model로 하였다.

차분방법은 Dufort-Frankel법을 이용한 leap-frog scheme를 사용하였다. 첫 step는 Euler-backward scheme으로 계산을 시작하여 8 Step마다 Euler-backward scheme를 삽입하여 leap-frog scheme에 의한 주기 2Δt의 noise

를 제거하면서 계산하였다(Oonishi, 1978).

2.3.4 계산결과

여름에 관측한 3층의 수온·염분 data를 쌍곡선함수를 이용하여 재관보간한 수온·염분 결과, Table 3을 이용하여 계산한 방조제 최종제설시 진단 model의 계산 결과는 Fig. 8과 같다.

3. 토사확산 수치 모의

3.1 기초방정식

부유사의 운동특성에 대한 수치실험은 최근에 활발

히 연구되고 있다. 부유사의 수송 model은 대상 해역의 흐름 특성을 규명한 후 부유사의 특성을 고려한 입자 추적 실험을 하였다. 토사의 확산 예측에서 Monte-Carlo 방법을 사용하면, 계산에서 안정성이 높고, 오차가 축적되지 않고, 난수발생 입자 수를 증가시키면 정도는 높아지고, 복잡한 경계 조건에서도 적용이 간단

하다는 특성이 있다. 계산은 방조제 축조전 잔차류의 계산결과를 이용하여 Euler-Lagrange 방법으로 부유사의 분산과정을 수치 실험하였다. Euler-Lagrange 방법은 어느 시각 n에 있어서 입자의 위치를 $(x^{n+1}, y^{n+1}, z^{n+1})$ 라고 하면, time step Δt 시간후의 입자의 위치 $(x^{n+1}, y^{n+1}, z^{n+1})$ 을 x^n, y^n, z^n 의 주위에 Taylor 전개하여 구한다. 단 4차이상의 고차항은 무시하고, 난류로서 취급한다.

Table 4. Parameters used in the numerical experiment

case	Case I	Case II	Case
Mean grain size of soil	0.05	0.2	0.4
Time of discharge	24 hr and 100 hr		
Density of soil	2.65		
Number of random	500		

$$X_{n+1} = X_n + u\Delta t + (\nabla u)ut^2 + R_x \tag{16}$$

$$Y_{n+1} = Y_n + v\Delta t + (\nabla v)vt^2 + R_y \tag{17}$$

$$Z_{n+1} = Z_n + w_s \Delta t + R_z \tag{18}$$

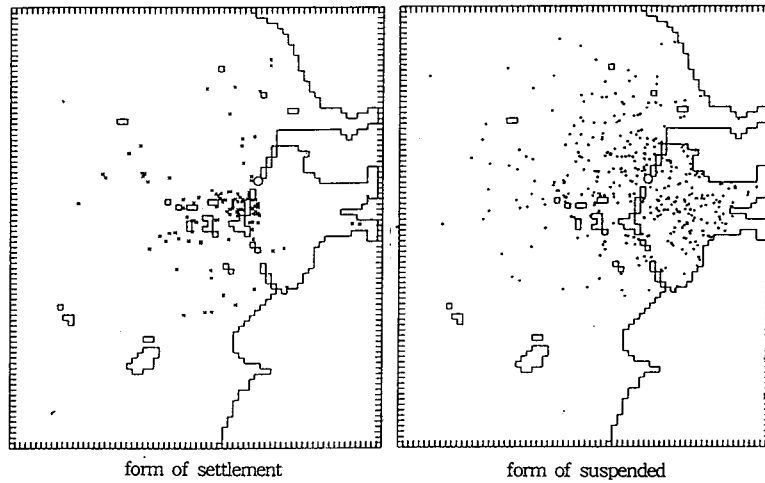


Fig. 9. (a) Distribution of settlement and suspended (Case I, calculated time 24 hr).

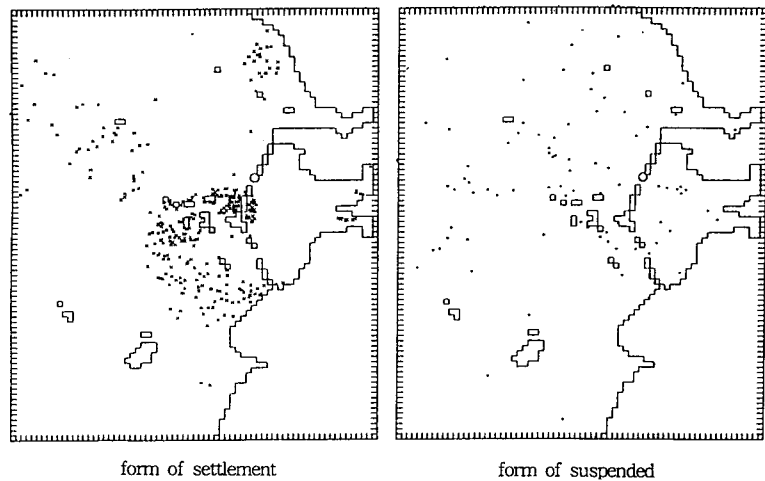


Fig. 9. (a) Distribution of settlement and suspended (Case I, calculated time 100 hr).

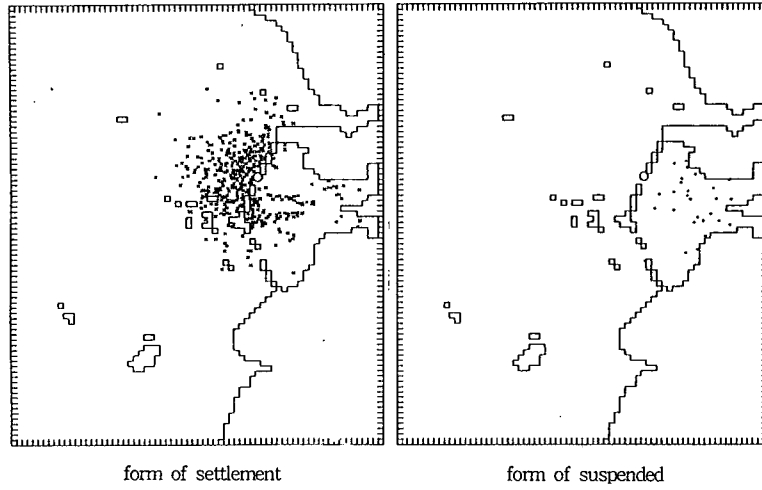


Fig. 9. (b) Distribution of settlement and suspended (Case II, calculated time 24 hr).

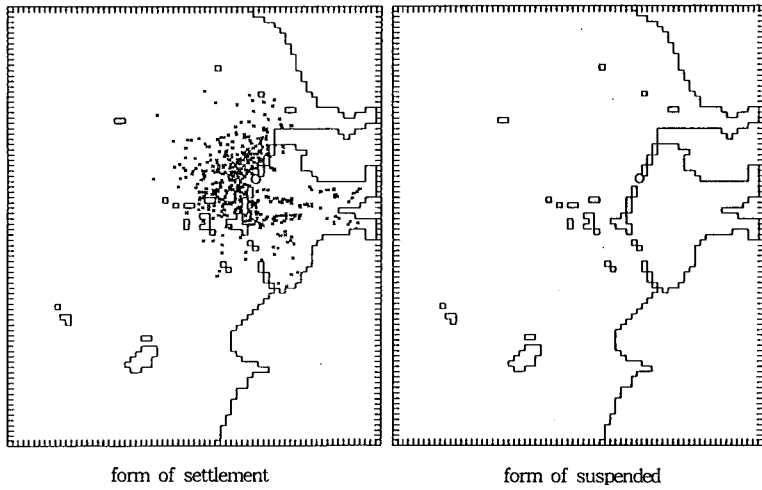


Fig. 9. (b) Distribution of settlement and suspended (Case II, calculated time 100 hr).

$$R_x = R_y = \gamma(2\Delta t D_h)^{1/2} \quad (19a)$$

$$R_z = \gamma(2\Delta t D_z)^{1/2} \quad (19b)$$

여기서 u, v 는 x, y 방향의 잔차류성분, w_s 는 부유사의 침강속도, γ 은 평균 0, 표준편차 1의 정규난수, D_h 는 수평분산계수, D_z 는 수직분산계수이다.

3.2 적용

3.2.1 경계조건과 초기조건

계산은 최종제철구간에서 토사를 방류시켜 확산 분포를 알아 보았다. 경계조건은 Table 4과 같다. 침강속도는 Stokes의 법칙을 적용하였다.

계산은 진단 model에서 계산한 잔차류성분과 침강속도를 고려하여 계산하였다. 그 결과 Fig. 9(a-d), Fig. 10(a)와 같다. Fig. 9(a-d), Fig. 10(a)에서 \circ 표시 부분이 최종제철공사 작업지점이다.

4. 결론

(1) 계산결과로부터 조화분석한 M_2 분조의 조석도는 관측으로부터 얻어진 한 M_2 분조의 조석도를 잘 재현하였다고 판단된다.

(2) 수은 분포은 금강, 만경강, 동진강 하구 부분에서 높은 분포를 나타내고 있었다. 그리고 염분은 금강,

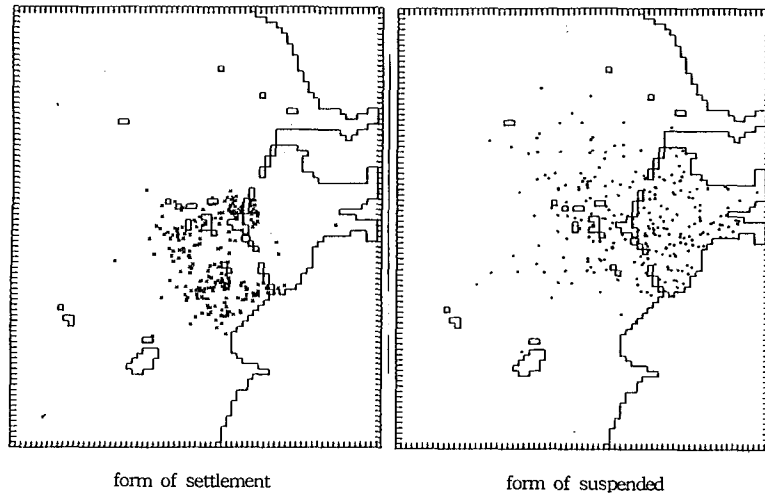


Fig. 9. (c) Distribution of settlement and suspended (Case III, calculated time 24 hr).

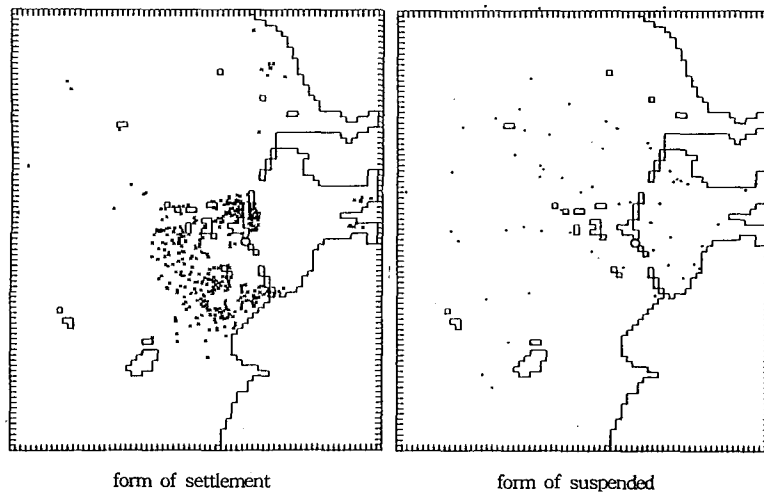


Fig. 9. (c) Distribution of settlement and suspended (Case III, calculated time 100 hr).

만경강, 동진강 하구 부분에서 낮은 분포를 나타내고 있었다. 밀도는 수온·염분의 관측자료로부터 계산하였으며 σ_t (sigma t)는 하구의 하층에서 낮은 값을 나타내고 있었다.

(3) 여름의 수온·염분·바람 관측 자료를 이용하여 최종제철축조시 진단 model의 계산결과 만경강과 동진강하구부분의 상층에서 시계 방향의 잔차류가 형성되고 있었다. 금강하구앞 해역 부분의 상층에서 시계 방향의 큰원형의 잔차류가 형성되고 있었다. 또한 고군산군도 남쪽인 경우 고군산남쪽해역에서 위도 사이에서 시계 방향과 반시계방향의 상반된 잔차류가 형성되고 있었다.

(4) 최종제철시 토사의 확산 특성과 퇴적변화를 예측하기 위하여 Euler-Lagrange방법으로 부유사의 분산과정을 수치 실험하였다. 그 결과 최종제철 공사 위치가 고군산군도 남쪽인 경우 고군산남쪽해역에서 위도 사이에서 시계방향과 반시계방향의 잔차류의 영향으로 대부분의 토사는 고군산 남쪽 해역에서 위도 윗쪽 해역에 퇴적하고 있었다. 최종제철 공사 위치가 고군산군도 북쪽인 경우, case I의 토사부유 및 퇴적은 충남의 장항제련소 앞 해역과 고군산군도 주위에 토사의 퇴적이 많았다. 이것은 금강하구앞 해역 부분의 상층에서 시계방향의 큰 원형의 잔차류의 영향으로 판단된다. 토사입경이 클수록 토사의 퇴적분포는 금강 하구

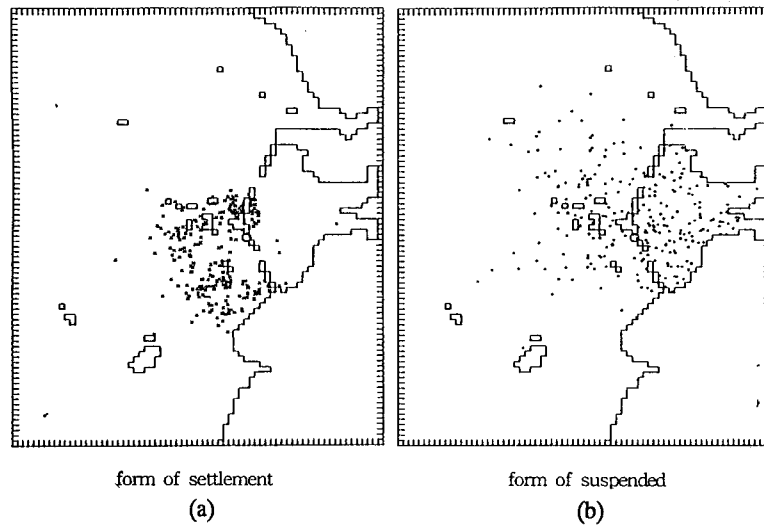


Fig. 10. (a) Distribution of settlement and suspended (Case I, t=24 hr).

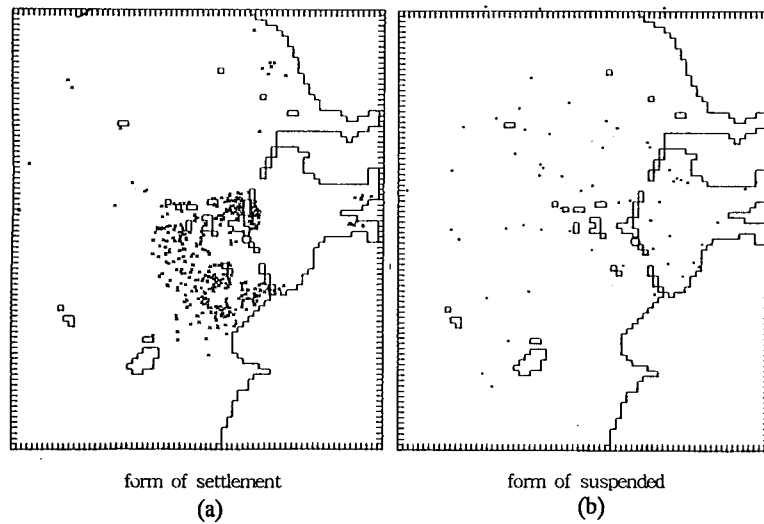


Fig. 10. (b) Distribution of settlement and suspended (Case I, t=100 hr).

남쪽에서 고군산군도 북쪽에 대부분 퇴적하였다.

謝 辭

본 연구는 한국학술재단의 지원을 받아 수행한 것으로 이에 대해 감사드립니다.

참고문헌

林迎春, 申東壽, 申文燮, 1988. 干拓工學, 京文社.
 李種南, 申文燮, 1987. 水産土木, 京文社.
 堀江毅, 1985, 海上工事に伴う濁り豫測 Modelと濁り監視

への適用性について, 港灣研, 26券.
 농어촌진흥공사, 1988. 새만금지구 해수면 및 해저퇴적층 변화예측연구(III).
 Britter, R.E. and Linden, P.F., 1980. The motion of the front of a gravity current travelling down an incline, *J. Fluid Mech*, **99**(3): 531-543.
 Escudier, M.P. and Worthy, M. 1973. On the motion of turbulent thermals, *J. Fluid Mech*, **61**(3): 541-552.
 Shin, M.S., 1986. A study on the oscillations of lake and bay, Repts. of Kunsan National Fisheries Junior College, **20**: 63-70.
 Shin, M.S., 1988. A study on the distribution of long-shore currents in the vicinity of offshore-breakwater,

- Repts. Kunsan National Fisheries Junior College, **22**: 15-22.
- Shin M.S., 1990. A study on the behavior of brine lumps caused by dropping brine in coastal areas, *Bulletin of Fisheries Science Institute* 6.
- Shin M.S., and Ko B.W., 1990. A Study on a analysis of unsteady flow, Repts. of Kunsan National Fisheries Junior College, **24**: 9-15.
- Shin M.S. and Lee, J.N., 1990. An experimental study on the behavior of muddy water lumps caused by dropping soil in coastal areas, *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 2.
- Shin M.S., Lee J.N., and Hong S.K., 1994. Development of model by soil diffusion within dam, Hydro-Port'94, October 19-21, Yokosuka, Japan.
- Shin M.S., Lee, J.N. and Nakatsuji, K. 1991. A Study on the behavior of brine lumps caused by dropping brine in coastal areas, *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 3.