

만경강과 동진강하구의 퇴적과정에 관한 연구

A study of sedimentation processes in Dongjin and the Mankyung rivers estuary

신 문 섭 (군산대)
Shin, Moon Seup

Abstract

The purpose of this study is to find sedimentation patterns variation before and after Saemangeum reclamation. water circulations are calculated diagnostically from the observed water temperature and salinity data 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-lagrange method. Calculated sedimentation patterns of riverine material are highly similar to the observed ones.

1. 서 론

새만금간척전·후의 조류·잔차류 변화와 만경강·동진강의 부유사유입의한 퇴적 과정과 분포를 알아보았다. 퇴적 과정과 분포는 새만금지구해역의 조석잔차류와 수온·염분에 의한 잔차류, 바람에 의한 잔차류성분을 포함한 잔차류성분과 입자의 침강속도를 고려한 3차원 수치 실험에 의하여 재현하였다.

2. 본 론

2.1. 관 측

농어촌진흥공사에서 관측한 조류·조위의 관측지점은 Fig.1과 같다. 관측지점(94-R-3,4)에서 M_2 분조의 조류타원도는 Fig.2와 같다.

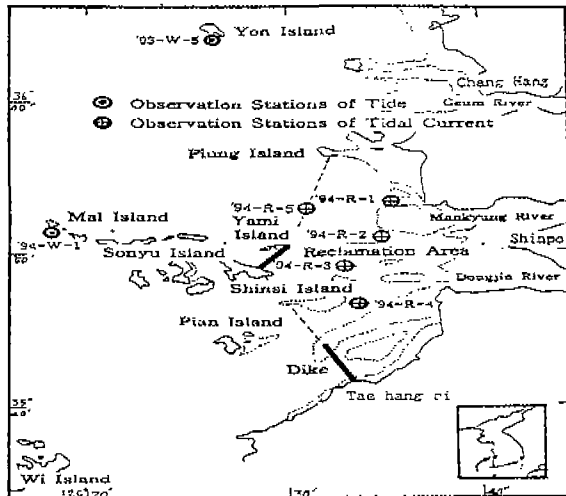
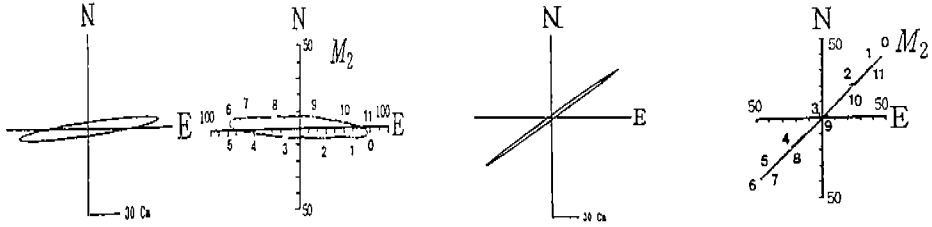


Fig.1 Map of field measurement stations.



Calculated Observed
(94-R-3)

Calculated Observed
(94-R-4)

Fig.2 Calculated and observed M_2 tidal current ellipses in the present Saemangeum area.

2.2. 조류·조석의 지배방정식

새만금 가상최종채질구간에서 조류를 계산하기 위하여 이용한 기본 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u + fK \times u = -g\nabla \zeta - \frac{\gamma_b^2 u |u|}{H + \zeta} + \nu_h \nabla^2 u \quad (1)$$

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

여기서 u 는 수직평균속도벡터, f ($8.55 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$)는 코리올리파라메타, g (980 cm^{-2})는 중력 가속도, K 는 국부 수직단위벡터, ζ : 평균 수면으로부터 해면상승량, γ_b^2 ($= 2.6 \times 10^{-3}$)는 해저마찰계수, H 는 수심, ν_h ($= 10^4 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$)수와동점성계수를 나타내고 있다.

$$\tau_x = -\gamma_b^2 (u^2 + v^2)^{1/2} u \quad (3)$$

$$\tau_y = -\gamma_b^2 (u^2 + v^2)^{1/2} v$$

여기서 γ_b^2 는 해저마찰계수이다.

2.2.1 초기 및 경계조건

수평 격자의 크기는 $1.0 \text{ km} \times 1.0 \text{ km}$ 하였으며, 계산 시간 간격 Δt 은 27초로 하였다. 경계는 서남북경계로, 농어촌 진흥 공사에서 관측으로부터 얻어진 M_2 분조의 진폭과 위상을 다음식과 같이 수위를 주었다.

$$\eta = \eta_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T_M} t - P\right) \quad (4)$$

연안선에서 유속은 $u = v = 0$ (non-slip condition)을 주었다.

여기서, η_0, P 는 open boundary의 진폭과 위상이고, T_M 는 M_2 의 조석주기, t 시간이다. 계산영역을 정방형 격자로 나누고, CFL(Courant Friedrichs Lewy)조건을 만족하게 time step를 결정하였다.

Courant 수의 식은 다음과 같다.

$$C = u \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 1 \quad (5)$$

여기서 c 는 Courant number, Δx 는 x 방향의 mesh크기, Δt 는 time step, u 는 가장

빠른 천해파의 전파속도(\sqrt{gh})이다. 개방 경계는 서·남·북경계로 하였다.

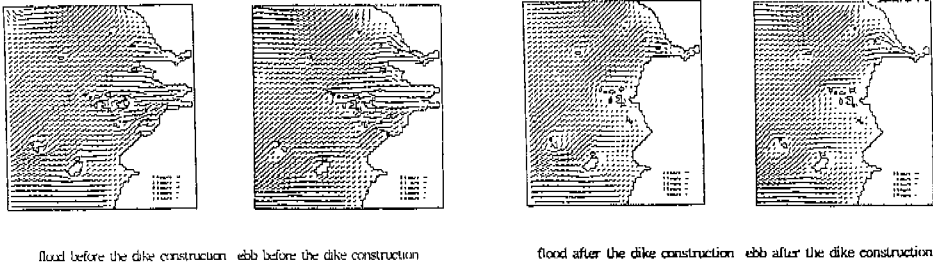


Fig.3 Flow patterns of M_2 tidal current at the maximum flood and ebb.

2.3 조석잔차류

연안해역에서 임의의 한 점에 있는 물입자는 조석 한 주기후에 최초의 위치로 돌아오지 않는다. 이것은 잔차류와 난류의 영향인 것으로 연구되었다. 특히 조석잔차류는 조류의 유속에 비하여 작지만 장기적인 관점에서 볼 때 연안 해역에서 물질수송에 큰 영향을 미치고 있다. 조류의 비선형성에 기인하는 조석잔차류는 해저와 해안지형이 복잡한 곳에서 조석잔차류가 탁월하다. 조류는 본질적으로 와도를 갖지않는 발산류이지만 조석잔차류는 와도를 가지는 비발산류이고 또한 등밀도면과 등압면이 평행한 순압(barotropic)적인 특성성을 하고 있기 때문에 대조와 소조에서 그 크기가 변화한다. 우리나라 서해연안 해역에서 유동은 조류·조석잔차류가 탁월하기 때문에 연안 해역의 물질의 분산을 예측하려면 우선 유동등물리 요소의 분포를 정량적으로 재현할 수 있는 수치 model의 작성이 요구된다. 연안에서 밀도가 일정하고 바람, 하천수 유입, 해면을 통한 가열·냉각이 없는 해역에서 조석과 조류가 존재한다고 가정하면 이 때 연안의 유동을 지배하는 운동방정식인, 연속식 (1)-(3)식에서 유속 변동과 수위변동을 조석주기 평균성분(U, V, η) 과 조석 변동성분(u', v', η')으로 분해한다.

$$u = U + u', \quad v = V + v', \quad \eta = \bar{\eta} + \eta' \quad (6)$$

(7)식을 (1)~(3)식에 대입하고 1조석 주기로 평균하면 다음 식이 구해진다.

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV = -g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) - \frac{R}{H} U + S_x \quad (7)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU = -g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) - \frac{R}{H} V + S_y \quad (8)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (9)$$

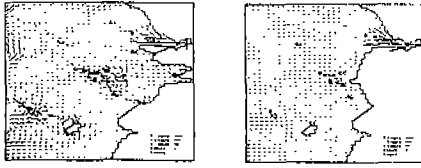
여기서,

$$S_x = - \overline{ \left(u' \frac{\partial u'}{\partial x} + v' \frac{\partial u'}{\partial y} \right) } \quad (10)$$

$$S_y = - \overline{ \left(u' \frac{\partial v'}{\partial x} + v' \frac{\partial v'}{\partial y} \right) }$$

여기서 밀도는 일정하기 때문에 압력경사항의 p 는 η 로 변환시키고 연직 점성은 1차의 해저마찰계수 R 을 이용해서 바꿔 쓸 수 있다. (10)의 "—"은 1조석 주기평균을 나타내고 S_x, S_y 를 조석 응력 (tidal stress)이라고 한다. (7) (8)식은 조류 운동의 비선형 성분의 1조석주기 평균에서 파생된 조석응력이 평균류를 일으키는 것을 나타내고 있다. 이와 같이 본래의 평균류 성분을 가지지 않는 왕복운동인 조류의 비선형성의 결과로 생기는 평균류를 조석잔차류(tidal-induced residual current)라 한다. 지형의 영향과 조류의 비선

형성에 의하여 발생된 조석잔차류는 Fig.5와 같다



before the dike construction(a) after the dike construction(b) Table 1 Parameters used in the numerical experiment

case	Case I	Case II	Case III	Case IV	Case V
Mean grain size of soil	0.03	0.06	0.08	0.2	0.4
Time of discharge	24hr and 72hr				
Density of soil	2.65				
Number of random number	500				

Fig.5 Calculated tide-induced residual current by M_2 tidal current in the Saemangeum coastal region.

3. 방조제 축조전후의 잔차류계산

3.1 방조제 축조전의 잔차류계산

3.1.1 수온·염분관측자료분석

잔차류계산을 하기 위한 수온·염분자료는 군산대학 해양개발연구소에서 1992년 여름부터 1993년 봄까지 김중래(1994) 등에 의하여 계절별로 관측일을 정하여 3층으로 관측한 자료를 이용하였다.

방조제 축조전 잔차류는 진단(a robust diagnostic)모델에 의하여 잔차류를 계산하였다. 잔차류계산을 위한 운동방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - f v = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + S_x \quad (11)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + f u = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + S_y \quad (12)$$

$$p = \rho_o g \eta - \rho_o \int_z^0 B dz, \quad B = \frac{\rho_o - \rho}{\rho_o} g \quad (13)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (14)$$

여기서, u, v, w 는 x, y, z 방향의 유속, f 는 코리올리 인자, ρ_o 는 평균밀도, p 는 압력, A_h, A_v 는 수평, 연직와동점성계수, B 는 부력, g 는 중력가속도, K_h, K_v 는 수평·연직와동확산계수, S_x, S_y 는 조석용력의 x, y 성분, B 는 부력, η 는 평균해면에서 수위변화, g 는 중력가속도이다. 그리고 잔차류계산을 위한 수온·염분 이류확산방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \cdot \nabla T + w \frac{\partial T}{\partial z} = K_h \nabla^2 T + K_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \gamma (T^* - T) \quad (15)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \cdot \nabla S + w \frac{\partial S}{\partial z} = K_h \nabla^2 S + K_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} + \gamma (S^* - S) \quad (16)$$

여기서, T_s 는 조석용력, T^*, S^* 는 수온·염분의 관측치, K_h, K_v 는 수평·연직와동확산계수, γ 는 Nothing 계수로서 γ 이 0이면 예보모델(prognostic model)이 되고, 1인 경우는 진단모델(diagnostic model)이 된다. Sarmiento and Bryan(1982)는 γ 를 수심에 따라 변화시키고 있고, Fujio and Imasato(1991)는 위도에 따라 변화시키고 있다. 본 연구에서는 γ 를 관성주기의 역수 ($\gamma = 1/24 \text{hour}$)를 사용하였다. 해수밀도는 수온·염분의 관측치로부터 Knudsen의 식으로부터 구했다.

3.1.2 방조제 축조후 예보수치모형(Prognostic numerical model)에 의한 잔차류 계산

예보모형(Prognostic model)에 의하여 방조제 축조후 잔차류를 계산하였다. 예보모

형(Prognostic model)은 (16,17)에서 Nothing 계수 γ 를 0으로하면 예보모델(prognostic model)이 된다.

4. 계산결과

간척전·후 잔차류를 계산하기 위하여 운동방정식과 연속방정식, 수온·염분·확산방정식을 차분화하여 계산하였다.

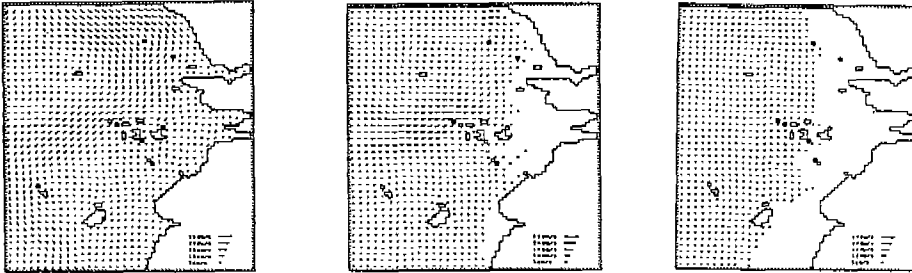


Fig.6(a) The flow patterns of residual currents at three layers during spring obtained by diagnostic model.

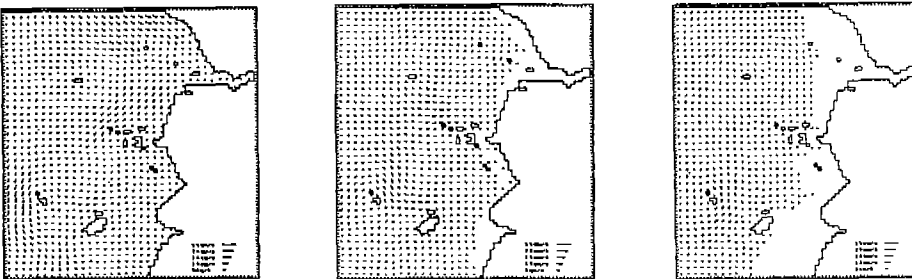


Fig.6(b) The flow patterns of residual currents at three layers during spring obtained by prognostic model.

5. 하구에서의 부유사거동 수치Simulation

5.1 기초방정식

부유사의 수송 Model은 대상해역의 흐름특성을 규명한 후 부유사의 특성을 고려한 입자 추적실험을 하였다. 토사의 확산예측에서 Monte Carlo 방법을 사용하면, 계산에서 안정성이 높고, 오차가 축적되지 않고, 난수발생 입자수를 증가시키면 정도는 낮아지고, 복잡한 경계조건에서도 적용이 간단하다는 특징이 있다. 계산은 방조제 축조전 잔차류의 계산결과를 이용하여 Euler-Lagrange 방법으로 부유사의 분산과정을 수치 실험하였다. Euler-Lagrange 방법은 어느 시각 n 에 있어서 입자의 위치를 (x^n, y^n, z^n) 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.

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

$$X_{n+1} = X_n + u \Delta t + (\nabla u) u \Delta t^2 + R_x \quad (18)$$

$$Z_{n+1} = Z_n + w_s \Delta t + R_z \quad (19)$$

$$\begin{aligned} R_x \text{ and } R_y &= \gamma (2 \Delta t D_h)^{1/2} \\ R_z &= \gamma (2 \Delta t D_z)^{1/2} \end{aligned} \quad (20)$$

여기서 u, v 는 x, y 방향의 잔차류성분, w_s 는 부유사의 침강속도, γ 은 평균0, 표준편

차1의 정규난수, D_h 는 수평분산계수, D_z 는 수직분산계수이다.

5.2 퇴적환경

5.2.1 새만금지구의 퇴적환경

농어촌진흥공사의 관측자료에 의하면 전북옥구군 미성읍 내초리,비응도,신시도,두리도와 부안군 산내면 대정리의 방조제 계획선 이내의 새만금지구와 인근 해역의 해저물질의 퇴적 입경분포는 만경강하구의 전주포내와 동진강하구의 동하포내에서 0.03mm이하의 입경분포를 보이는 반면 지구내에서의 입경분포는 0.08-0.25mm정도의 미사질로 되어 있음을 알 수 있다.

5.3 적 용

5.3.1 경계조건과 초기조건

계산은 만경강과 동진강입구에서 토사를 방류시켜 확산 분포를 알아 보았다.경계조건은 table1과 같다.침강속도는 stocks Law's 의 법칙을 적용하였다.

5.3.2 계산결과

계산은 진단 Model에서 계산한 잔차류성분과 침강속도를 고려하여 계산하였다. 그 결과 Fig.7,8과 같다.

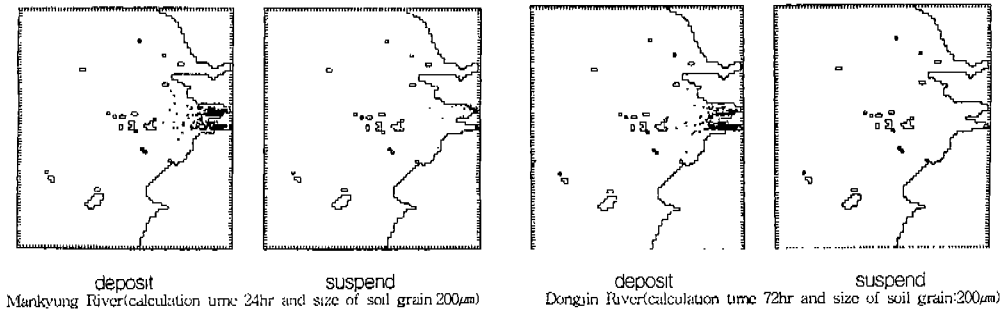


Fig.7 The distribution deposit and suspend of suspend sediment in the Mankyung - Dongjin River

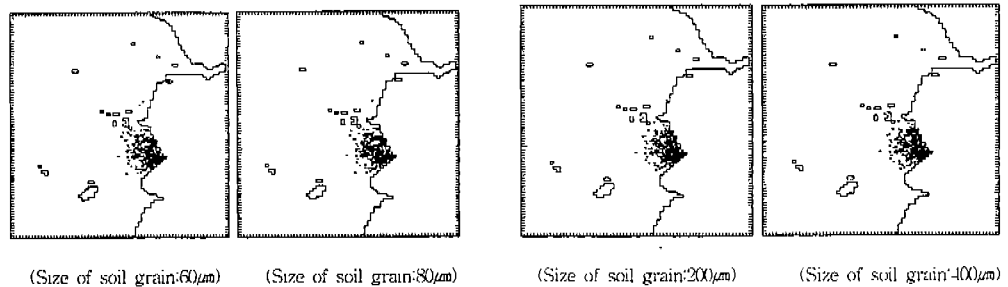


Fig.8 The distribution deposit and suspend of suspend sediment in the Shinsi drainage(calculation time 72hr)

6.결 론

만경강과 동진강하구의 퇴적변화를 예측하기 위하여 *Euler-Lagrange* 방법으로 부유사의 분산과정을 수치실험하였다.그 결과

1.간척전 부유사의 분산·퇴적과정을 수치실험한 결과와 농어촌진흥공사의 관측결과 거의 유사하였다.따라서 간척후의 신시·가력배수갑문에서 유출되는 토사의 퇴적범위를 예측할수 있었다.

References

1.Shin Moon Seup, Jong Nam Lee, Sung Kun Hong :Development of Model by Soil Diffusion within Dam ,Hydro-Port'94,October 19-21,1994. Yokosuka,Japan.