

새만금간척 퇴적과정에 관한 연구(II) -새만금간척 시행 후를 중심으로-

A Study of Sedimentation Processes of Saemangeum Reclamation(II) - A Study of Sedimentation Processes after Saemangeum Reclamation -

신 문 섭*

Shin, Moon Seup

Abstract

The purpose of this study is to find the variation of sedimentation patterns after Saemangeum reclamation. Residual flow after Saemangeum reclamation was calculated prognostically from the observed water temperature and salinity data in May 1992 by the Marine Development Institute of Gunsan National University and wind data which were obtained from spring 1969 through winter 1977 by the Kunsan Meteorological Observatory. Three dimensional movements of injected particles due to currents, turbulence and sinking velocity are tracked by the Euler-Lagrange method. When suspended sediments with the size of soil grain of 30 μm are injected in the Sinsi drainage sluice, their dispersion range of sediment is around Gogunsan islands. When suspended sediments with the size of soil grain of 200 μm are injected in the Garyeok drainage sluice, their dispersion range of sediment was around the Garyeok drainage sluice and Byeonsan coastal area.

Keywords : Water circulations, Prognostic model, Residual current, Euler-lagrange method, Sedimentation

I. 서 론

본 연구는 새만금간척 전의 퇴적과정에 관한 연구에 연속하여 새만금방조제 축조 후 새만금 해역의 조류 변화와 잔차류 특성, 신시와 가력 배수갑문에서 부유사 방출에 의한 퇴적 과정을 알아보았

다. 연구의 목적은 새만금방조제 축조 후의 조석 잔차류 계산결과와 남·서·북경계에서 수온·염분 자료를 이용하여 예보모형(Prognostic model)에 의하여 방조제 축조 후 잔차류와 수온·염분분포를 예측하여 새만금방조제 축조 후의 신시와 가력 배수갑문에서 방출된 부유사의 퇴적과정을 예보모델에 의하여 구한 잔차류와 입자의 침강속도를 고려하여 Euler-Lagrange 방법으로 부유사의 분산·퇴적과정을 3차원 수치 실험에 의하여 예측하는 것이다.^{2),4),5),7)}

* 군산대학교 공과대학 토목환경공학부 교수

* Corresponding author. Tel.: +82-63-469-4755
fax: +82-63-469-4755

E-mail address: seup@kunsan.ac.kr

II. 본 론

1. 조류 · 조석의 지배방정식

새만금간척 후 조석과 조류의 유속변화를 알아보기 위하여 이용한 계산식은 새만금간척 전 조석과 조류의 유속변화를 알아보기 위하여 이용한 기본 방정식과 같다.

가. 초기 및 경계조건

수평 격자의 크기는 1.0×1.0 km로 하였으며, 경계치는 농업진흥공사에서 연구된 해수면 및 해저 퇴적층변화예측연구(Park S.W, 1988)에 있는 자료 Fig. 1 를 이용하여 조석과 조류를 계산하였다.¹⁰⁾ 새만금간척 후 조석과 조류의 유속변화를 알아보기 위하여 이용한 초기 및 경계조건은 새만금간척 전 조석과 조류의 유속변화를 알아보기 위하여 이용한 초기 및 경계조건과 같다.

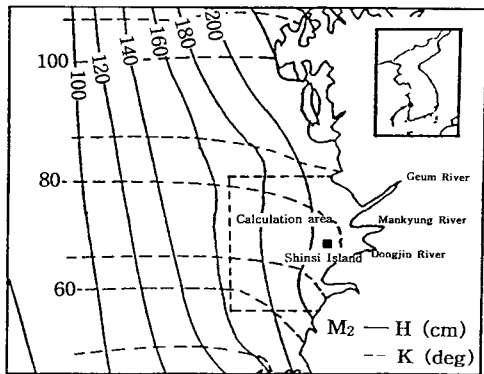


Fig. 1 Observed co-range(full line) and co-tidal (broken line) of M_2 tidal constituent (The phase is referred to $126^\circ E$:Jin Island)

나. 조류계산결과

계산 결과로부터 얻어진 새만금간척 후의 M_2 분조의 진폭과 위상 분포는 Fig. 2와 같다. 새만금간척후의 창조류와 낙조류의 흐름 분포는 Fig. 3과 같다. 새만금간척 전후의 조류 진폭은 Fig. 4과 같다.

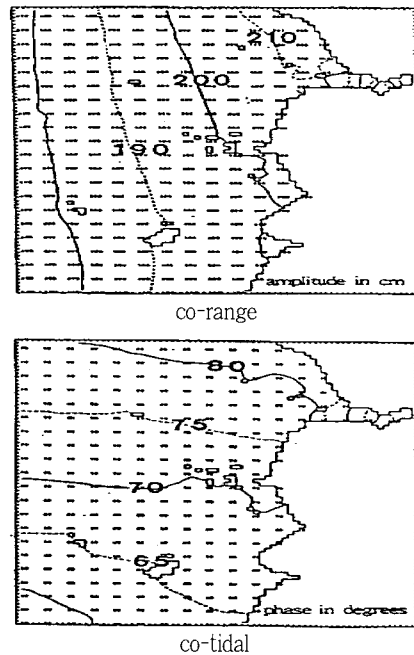


Fig. 2 Calculated co-range and co-tidal charts of M_2 tide after the dike construction

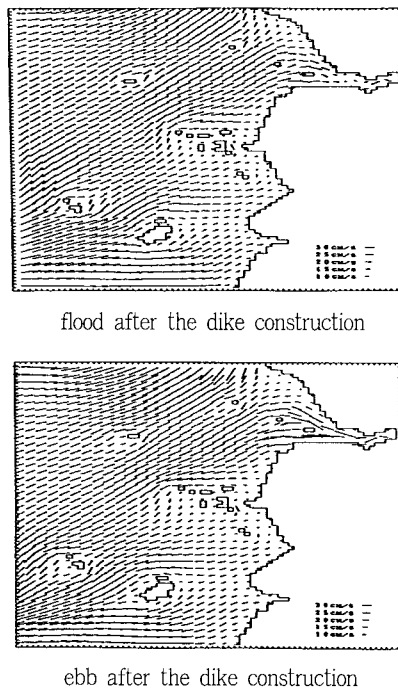


Fig. 3 Flow patterns of M_2 tidal current at the maximum flood and ebb

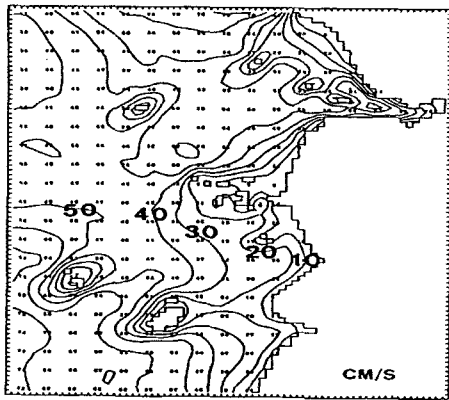


Fig. 4 Tidal current amplitude after the construction of sea dike

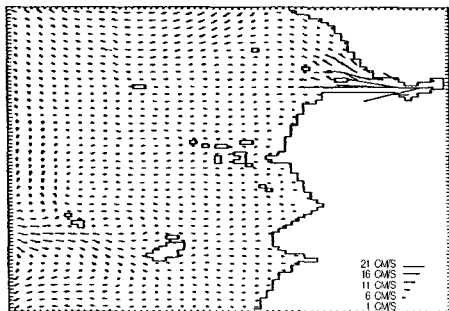


Fig. 5 Calculated tide-induced residual current by M_2 tidal current in the Saemangeum coastal region after the dike construction

3. 조석잔차류

새만금간척 후 조석잔차류를 알아보기 위하여 이 용한 계산식은 새만금간척 전 조석잔차류를 알아보기 위하여 이용한 기본 방정식과 같다. 계산에 의 하여 얻어진 새만금간척 후 조석잔차류는 Fig. 5와 같다.

3. 방조제 축조 후 예보모형(Prognostic model)에 의한 잔차류 계산

가. 기초방정식
예보모형(Prognostic model)에 의하여 방조제

축조 후 잔차류를 계산하였다. 잔차류 계산을 위한 운동방정식은 (1, 2)와 같다.^{20),22)} 예보모형(Prognostic model)은 진단모델의 수온·염분확산방정식에서 Nothing 계수 γ 를 0으로 하면 예보모형(prognostic model)이 된다.^{23),24)}

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

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

$$p = \rho_o g \eta - \rho_o \int_z^0 B dz, \quad B = \frac{\rho_o - \rho}{\rho_o} g \dots \dots \dots (3)$$

연속방정식은 식(4)와 같다.¹⁴⁾

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots \dots \dots (4)$$

여기서, u, v, w 는 x, y, z 방향의 유속, f 는 Coriolis 계수, ρ_o 는 평균밀도, ρ 는 대상수심에서 밀도, p 는 압력, A_h, A_v 는 수평·연직외동점성계수, B 는 부력, g 는 중력가속도, S_x, S_y 는 조석응력의 x, y 성분, η 는 평균해면에서 수위변화이다. 그리고 잔차류계산을 위한 수온·염분 이류확산방정식은 다음과 같다.²⁰⁾

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = K_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + K_h \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = K_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} + K_h \left(\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} \right) \dots \dots \dots (6)$$

여기서, K_h 는 수평확산계수, K_v 는 수직확산 계수, T 는 수온, S 는 염분이다.

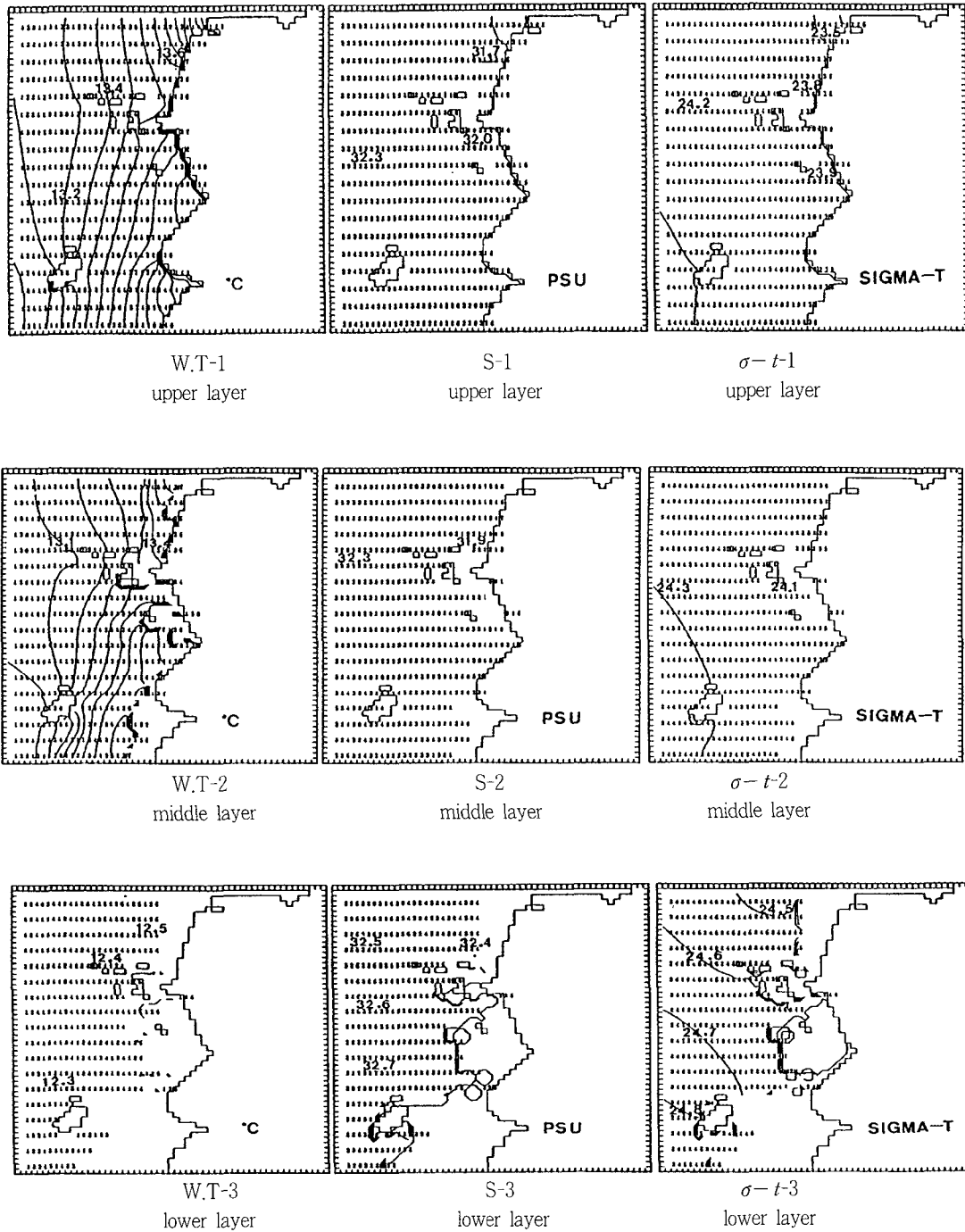


Fig. 6 Distributions of water temperature, salinity and density at three layers in May obtained by prognostic model

4. 계산결과

간척 후 예보모형(Prognostic model)에 의하여 잔차류를 예측하기 위하여 운동방정식과 연속방정식, 수온·염분확산방정식을 차분화하여 계산하였다. 계산에 이용된 하천유량은 금강 1871.0 m³/s, 만경 23 m³/s, 동진 20 m³/s, 바람자료는 군산 기상대 20년 자료를 분석한 평균풍속 4.10 m s⁻¹, 풍향 WNW, 남·서·북경계에서 이용한 수온·염분자료는 군산대학 해양개발연구소에서 1992년 여름부터 1993년 봄까지 Kim G. R(1994) 등에 의하여 관측한 관측치를 이용하였다.¹⁶⁾ 계산에서 수평방향격자의 크기는 1.0 km×1.0 km의 정방형 격자로 분할하고, 연직방향으로는 상층(upper layer)(0~-5 m), 중층(middle layer)(-5~-10 m), 하층(lower layer)(-10 m~bottom)으로 분할하여 3층 Level Model로 하였다. Fig. 5에서 W, T, S, σ-t는 각각 수온, 염분, 현장밀도를 나타낸다. 차분방법은 Dufort-Frankel법을 이용한 leap-frog scheme을 사용하였다. 첫 step은 Euler-backward scheme으로 계산을 시작하여 8 step 마다 Euler-backward scheme를 삽입하여 leap-frog scheme에 의한 주기 2Δt의 noise를 제거하면서 계산하였다. Table 1, 2를 이용하여 잔차류를 계산하였다. Fig. 6은 예보모델에 의하여 예측·계산된 간척 후 5월의 잔차류 성분이다. Fig. 7는 예보모델에 의하여 예측·계산된 간척 후 5월의 수온·염분분포이다.

5. 신시 및 가력 배수갑문에서 방출된 부유사 거동 수치 Simulation

새만금간척 퇴적과정에 관한 연구(제44권 제4호)와 농업진흥공사의 해수면 및 해저퇴적변화연구(박승우, 1988) 그리고 농업기반공사의 관측결과를 비교하여 본 결과 거의 유사하였다. 따라서 간척 후의 신시·가력배 수갑문에서 유출되는 토사의 퇴

Table 1 Parameters for the residual current calculation

Mesh interval (ΔS)	1.0 km
Time step (Δt)	30 s
Coefficient of horizontal eddy viscosity (A _h)	5×10 ⁵ cm ² s ⁻¹
Coefficient of vertical eddy viscosity (A _v)	5.0 cm ² s ⁻¹
Coefficient of horizontal eddy diffusivity(K _h)	5×10 ⁵ cm ² s ⁻¹
Coefficient of vertical eddy diffusivity (K _v)	5.0 cm ² s ⁻¹
Gravitational acceleration (g)	980 cm/s ²
Coriolis parameter (f)	8.55×10 ⁻⁵ s ⁻¹
Bottom frictional coefficient (γ _b ²)	2.6×10 ⁻³
Surface frictional coefficient (c _a)	1.3×10 ⁻³
Overall mean density (ρ _o)	1.0238 g cm ⁻³
Atmospheric density	1.2×10 ⁻³ g cm ⁻³
Heat flux	100cal cm ⁻² day ⁻¹
Wind Velocity and Wind Direction	3.95(m s ⁻¹) and WNW

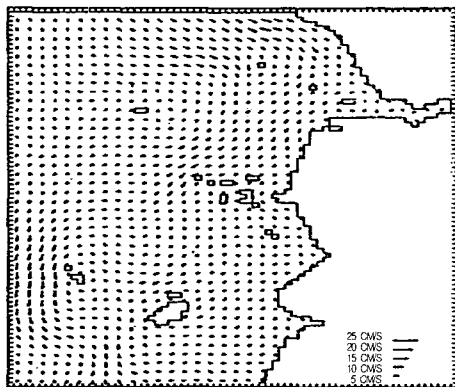
Table 2 Values of water temperature and salinity used as boundary condition in the prognostic model

Layer	Season	spring	
		water T.	salinity
Northern open boundary	upper layer	14.4	31.4
	middle layer	14.4	31.5
	lower layer	14.3	31.7
Western open boundary	upper layer	12.2	32.6
	middle layer	11.9	33.0
	lower layer	11.9	33.2
Southern open boundary	upper layer	12.6	31.7
	middle layer	12.5	31.7
	lower layer	12.3	32.1

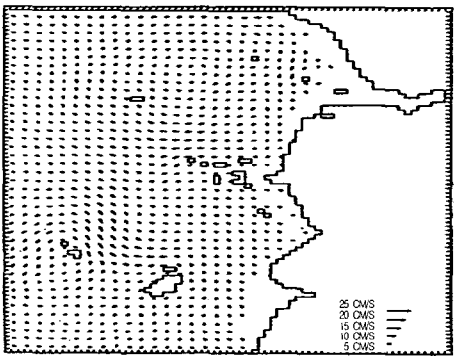
적범위를 예측할 수 있었다.¹⁰⁾

가. 기초방정식

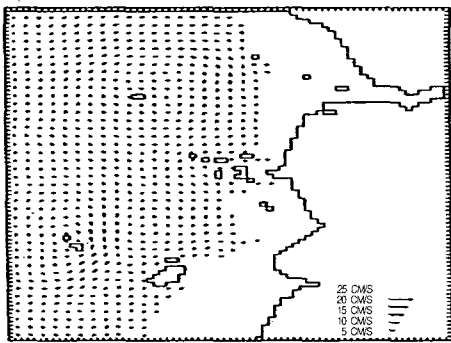
새만금간척 후의 해역의 잔차류의 흐름특성을 규명한 후 부유사의 특성을 고려한 Euler-Lagrange방



upper layer



middle layer



lower layer

Fig. 7 The flow patterns of residual currents at three layers during May, 1992 obtained by prognostic model

법으로 신시·가력 배수갑문에서 유출되는 토사확산범위를 예측하였다. Euler-Lagrange 방법은 어느 시간n에 있어서 입자의 위치를 (x^n, y^n, z^n) 라

고 하면, time step Δt 시간 후의 입자의 위치 $(x^{n+1}, y^{n+1}, z^{n+1})$ 를 (x^n, y^n, z^n) 의 주위에 Taylor진개하여 구한다. 단 4차 이상의 고차항은 무시하고, 난류로서 취급한다.

$$X_{n+1} = X_n + u \Delta t + (\nabla u) u t^2 + R_x \dots \dots \dots (7)$$

$$Y_{n+1} = Y_n + v \Delta t + (\nabla v) v t^2 + R_y \dots \dots \dots (8)$$

$$Z_{n+1} = Z_n + w_s \Delta t + R_z \dots \dots \dots (9)$$

R_x, R_y, R_z 난류확산에 의한 성분이며 다음과 같다.

$$R_x, R_y = \gamma (2 \Delta t (D_{ht} + D_{hw}))^{1/2}$$

$$R_z = \gamma (2 \Delta t (D_{vt} + D_{vw}))^{1/2} \dots \dots \dots (10)$$

여기서 u, v 는 x, y 방향의 잔차류 성분, w_s 는 Stoke's 침강속도, r 은 평균 0, 표준편차 1의 정규난수, D_{ht}, D_{vt} 는 각각 조류에 의한 수평 및 수직확산계수, D_{hw}, D_{vw} 는 각각 파에 의한 수평 및 수직확산계수이며 혼합이론에 의하여 다음 식으로 구한다.

$$D_{ht} = \frac{\beta}{2\pi} U_{amp}^2 \times T_{tide}, D_{vt} = 10^{-5} \times D_{ht} \dots \dots \dots (11)$$

여기서, U_{amp}, T_{tide} 는 M_2 조류의 진폭과 위상이다. 수평확산계수 (D_{ht})의 범위는 $1.1 \times 10^5 \sim 3.9 \times 10^5 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, 수직확산계수 (D_{vt})의 범위는 $1.1 \sim 3.9 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ 로 하였다. 또한 파에 의한 수평 및 수직확산계수계산에서는 유의파고를 이용하였으며, 파에 의한 수평확산계수 (D_{hw}) 및 수직확산계수 (D_{vw})는 다음 식으로 구하였다.

$$D_{hw} (= 3.9 \times 10^4) = \alpha_1 H_{bl/3}^2 \times T_{bl/3},$$

$$D_{vw} (= 3.9 \times 10^{-1}) = 10^{-5} \times D_{hw} \dots \dots \dots (12)$$

여기서 유의파고와 유의파 주기는 농어촌진흥공사

(1994)에서 1993년 12월부터 1994년 10월까지 말도에서 관측한 파고자료를 이용하였다.¹²⁾

나. 적 용

1) 경계조건과 계산결과

새만금방조제 축조후의 조석 잔차류 계산결과와 남·서·북경계에서 수온·염분자료를 이용하여 예보모형(Prognostic model)에 의하여 예측·계산된 잔차류를 이류속으로 이용하여 간척 후의 신시·가력 배수갑문에서 유출되는 토사의 퇴적분포와 범위를 예측할 수 있었다. 경계조건은 Table 3과 같다. 침강속도는 Stoke's 법칙을 적용하였다. 그 결과 Fig. 8, 9, 10, 11과 같다. 분석결과 토립자의 중앙

입경이 $60\mu\text{m}$ 일 때 24시간 후의 퇴적분포는 고군산군도 전체에 퇴적분포를 나타내고 있었고 부유하

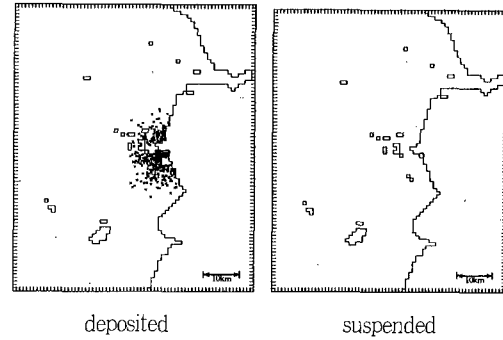


Fig. 9(b) The distribution of deposited and suspended sediments in the Sinsi drainage sluice (calculation time 72h and size of soil grain: $60\mu\text{m}$)

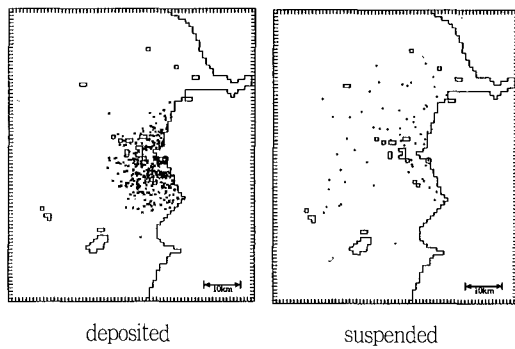


Fig. 8 The distribution of deposited and suspended sediments in the Sinsi drainage sluice (calculation time 24h and size of soil grain: $30\mu\text{m}$)

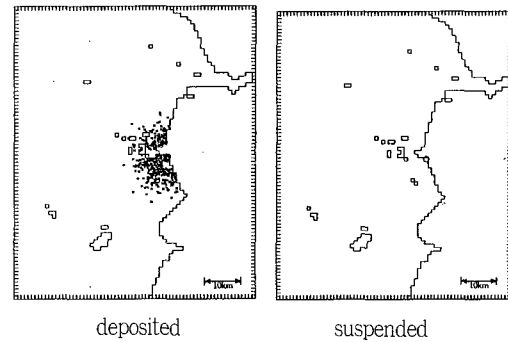


Fig. 10 The distribution of deposited and suspended sediments in the Sinsi drainage sluice (calculation time 72h and size of soil grain: $80\mu\text{m}$)

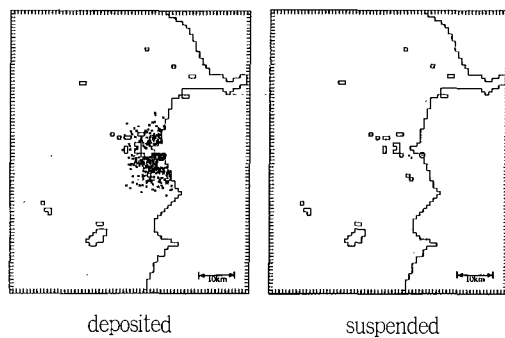


Fig. 9(a) The distribution of deposited and suspended sediments in the Sinsi drainage sluice (calculation time 24h and size of soil grain: $60\mu\text{m}$)

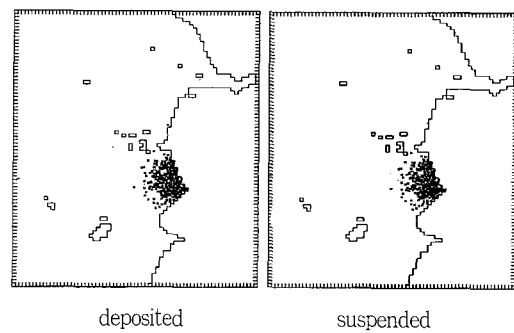


Fig. 11(a) The distribution of deposited and suspended of suspended sediment in the Garyeok rainage sluice (calculation time 24h and size of soil grain: $200\mu\text{m}$)

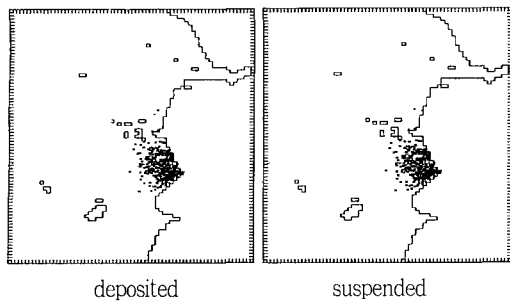


Fig. 11(b) The distribution of deposited and suspended sediments in the Garyeok drainage sluice (calculation time 72h and size of soil grain: 200 μ m)

Table 3 Parameters used in the numerical experiment

case	Case I	Case II	Case III	Case IV
Mean grain size of soil(mm)	0.03	0.06	0.08	0.2
Time of injection	24h and 72h			
Specific gravity	2.65			
Number of random number	500			

는 토사는 신시배수갑문 앞에서 약간 부유하고 있었고 72시간 후에는 고군산군도 전체에 퇴적분포를 나타내고 있었다. 또한 토립자의 입경이 클수록 이동거리가 짧은 것을 알 수 있었다.

III. 요약 및 결론

새만금방조제 축조 후의 조석 잔차류계산결과와 남·서·북 경계에서 수온·염분자료를 이용하여 예보모형(Prognostic model)에 의하여 예측·계산

된 잔차류를 이류유속으로 이용하여 간척 후의 신시·가력 배수갑문에서 유출되는 토사의 퇴적분포와 범위를 예측하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 봄에 관측한 수온·염분, 바람, 조석응력을 이용하여 예보모델에 의하여 예측된 잔차류의 특성은 새만금간척 전에 진단모델에 의하여 계산된 잔차류의 흐름분포와 비슷하였으나 크기는 감소하였다. 또한 유동구조는 간척 전에는 사중구조를 나타내고 있었으나 간척 후에는 정중구조를 나타내고 있었다.

2. 배수갑문에서 부유사의 분산, 퇴적과정을 수치실험 한 결과 신시배수갑문에서 부유사를 방출한 경우 토립자의 중앙 입경이 30 μ m일 때 24시간 후의 퇴적분포는 고군산군도 전체에 퇴적분포를 나타내고 있었고 부유하는 토사는 위도와 군산 앞 해역까지 부유하고 있었다. 가력 배수갑문에서 부유사를 방출한 경우 토립자의 중앙 입경이 200 μ m일 때 24시간 후와 72시간 후의 퇴적분포는 가력 배수갑문 앞 해역과 변산 해수욕장해역에서 대부분 퇴적하고 있었다. 그 이유는 변산 해수욕장 앞 해역에서 잔차류는 반 시계방향의 흐름분포를 나타내고 있기 때문이라고 판단된다.

References

새만금간척 퇴적과정에 관한 연구(II)에 인용된 참고문헌은 새만금간척 퇴적과정에 관한 연구(I)에 인용한 참고문헌과 같음.