

새만금 간척전 · 후 금강 하구의 퇴적 과정에 관한 연구

A study of Sedimentation Processes in Estuary of the Geum river before and after Saemangeum reclamation

신문섭* · 배기성** · 김남형***

Shin, Moon Seup · Bae, Ki Seong · Kim, Nam Hyeong

Abstract

The purpose of this study is to find sedimentation patterns variation before and after the Saemangeum reclamation. Water circulations before and after the Saemangeum reclamation are calculated diagnostically and prognostically from the water temperature, salinity data, 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. The dispersion range of soil grain for one and three day after releasing in the Geum river indicates that the soil grain was sedimented coastal area of Janghang and outer harbor of Kunsan. The soil grain moves a quite distance from the release point when size of soil grain is a small. These results indicate that size of soil grain and residual current is greatly influenced on the dispersion range of soil grain.

Keywords : Water circulations, Robust diagnostic, Prognostic, Water temperature, Salinity, Residual current, Euler-lagrange method, Sedimentation

요 지

새만금방조제 축조 전 · 후 금강하구의 조류 변화와 잔차류특성, 금강의 부유사 유입에 의한 퇴적 과정을 알아보았다. 잔차류는 새만금방조제 축조 전 · 후 금강 하구역의 조석잔차류와 관측된 수온·염분, 바람자료를 이용하여 계산하였다. 계산에 의한 퇴적과정은 잔차류와 입자의 침강속도를 고려하여 Euler Lagrange 방법으로 부유사의 분산·퇴적과정을 3차원 수치 실험에 의하여 재현하였다. 土粒子의 중앙입경은 150 μ m, 300 μ m, 400 μ m의 경우에 대하여 적용하였다. 土粒子의 분포사향은 금강하구둑에서 土粒子 방류후 24시간과 72시간에 대하여 알아보았다. 그 결과 봄에 관측한 수온·염분, 바람, 조석응력을 이용하여 계산한 잔차류의 특성은 상층에서 만경강과 동진강 하구역에서 시계방향의 흐름분포를 나타내었다. 그리고 하구특성의 하나인 밀도류에 의한 흐름은 하구 쪽 방향으로 아주 작은 분포를 하고 있었다. 부유사의 분산·퇴적과정을 수치실험 한 결과 24시간후의 퇴적분포는 대부분 금강하구와 장항해역에서 퇴적분포를 나타내고 있었으나 72시간 후에는 금강하구와 장항해역, 만경강과 동진강하구까지 퇴적분포를 나타내었다.

주요어 : 조류, 수온, 염분, 잔차류, Euler-lagrange 방법, 퇴적

* 정회원 · 군산대학교 공과대학 토목환경공학부 교수

** 경상대학교 해양과학대학 해양산업연구소 교수

*** 제주대학교 해양과학대학 해양토목공학과 부교수

1. 서론

금강하구의 퇴적특성이 하구둑이 설치된 후로 많은 변화를 하고 있다. 특히 장항측으로 토사가 많이 퇴적되어 선박운항에 어려움이 많이 있다. 따라서 금강하구의 퇴적특성을 규명하기 위하여 새만금방조제 축조전·후 금강하구의 잔차류를 이용하여 금강의 부유사 유입에 의한 퇴적 과정을 알아보았다.

조석잔차류는 조류의 유속에 비하여 작지만 장기적인 관점에서 볼 때 연안해역에서 물질수송에 큰 영향을 미치고 있다. 연안해역에서 임의의 한 점에 있는 물입자는 조석 한 주기 후에 최초의 위치로 돌아오지 않는다. 이것은 신문섭(1999,2000)에 의하여 잔차류와 난류의 영향인 것으로 연구되었다. Yanagi T.(1978)에 의하면 계절적 잔차류의 주요 원인은 조석 잔차류와 밀도류라는 연구 결과가 있다. 과거에는 연안해역의 물질확산에 가장 뚜렷한 조류의 역할이 크다고 생각되어졌다. 그러나 실제 연안해역에서의 물질교환과 확산을 주의 깊게 관찰해 보면 수 조석주기 이상의 장기간의 물질교환은 뚜렷한 왕복류인 조류보다도 미약하지만 한 방향으로 흐르는 잔차류의 역할이 크다는 것이 밝혀졌다. 연안해역의 잔차류의 주성분은 조류운동의 비선형성(非線形成)에 의한 조석잔차류(Tide induced residual current), 바람에 의한 취송잔차류(Wind driven current), 밀도편차에 의한 밀도잔차류(Density driven current)의 세가지가 있다. 새만금방조제 축조 전·후의 가을의 잔차류는 신문섭 등(1999)에 의하여 계산되어 졌다. 또한 새만금방조제 축조전·후의 퇴적도 신문섭 등(1996)에 의하여 계산되어 졌다. 새만금방조제 축조 전·후의 잔차류는 금강 하구역의 조석잔차류와 관측된 수온·염분, 바람자료를 이용하여 계산하였다. 퇴적과정은 새만금방조제 축조 전·후의 잔차류성분과 입자의 침강속도를 고려하여 금강하구의 퇴적변화를 알기 위하여 Euler Lagrange 방법으로 부유사의 분산과정을 3차원 수치실험에 의하여 재현하였다. 土粒子的 중양입경은 150 μ m, 300 μ m, 400 μ m의 경우에 대하여 적용하였다. 土粒子的 분포사향은 금강 하구둑에서 土粒子 방류후 24시간과 72시간에 대하여 알아보았다.

2. 방조제 축조전·후 의 조류 계산

2.1 조류 계산을 위한 기초방정식

새만금 간척지구해역의 조석, 조류를 계산하기 위하여 이용한 운동방정식은 식 (1), (2)와 같고 연속방정식은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= f v \\ &= g \frac{\partial \eta}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\tau_y}{h} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= f u \\ &= g \frac{\partial \eta}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\tau_x}{h} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

여기서, u, v 는 x, y 방향의 유속, f 는 Coriolis 계수, g 는 중력 가속도, η 는 평균 수면으로부터 해면상승량, h 는 수심, A_h 는 수평외동점성계수, τ_x, τ_y 는 x 와 y 축의 해저마찰을 나타내고 있다.

2.2 초기 및 경계조건

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

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

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

여기서, η_o, 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 mesh 크기, Δt 는 time step, u 는 가장 빠른 천해파의 전파속도(\sqrt{gh})이다. 개방 경계는 서·남·북경계로 하였다.

2.3 조석잔차류

연안해역에서 임의의 한 점에 있는 물입자는 조석 한 주기 후에 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 유동 등 물리요소의 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 (11)~(13)식에서 유속 변동과 수위변동을 조석주기 평균성분 (U, V, η) 과 조석 변동성분(u', v', η')으로 분해한다.

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

(6)식을 (11)~(13)식에 대입하고 1조석 주기로 평균하면 다음 식이 구해진다.

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

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

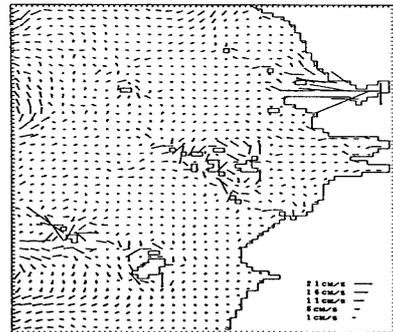
$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (9)$$

여기서,

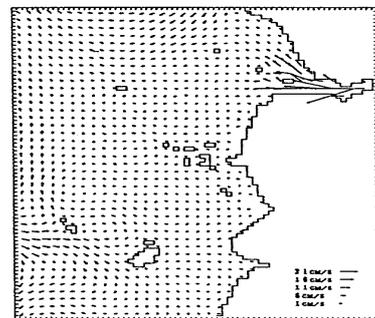
$$S_x = \overline{\left(u' \frac{\partial u'}{\partial x} + v' \frac{\partial u'}{\partial y} \right)} \quad (10)$$

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

여기서 밀도는 일정하기 때문에 압력경사항의 ρ 는 η 로 변환시키고 연직 점성은 1차의 해저마찰계수 R 을 이용하여 바꿔 쓸 수 있다. (10)의 "—"는 1조석 주기평균을 나타내고 S_x, S_y 를 조석 응력(tidal stress)이라고 한다. 식 (7), (8)식은 조류 운동의 비선형 성분의 1조석주기 평균에서 과생된 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 비선형성에 의하여 발생된 조석잔차류는 그림 1과 같다.



(a) 새만금간척전



(b) 새만금간척후

그림 1 계산에 의한 새만금간척 전·후의 M_2 분조에 의한 조석잔차류

2.4 관측

새만금 간척지구해역의 조석, 조류의 계산결과를 관측치와 비교하기 위하여 농어촌진흥공사에서 (1994)년에 관측한 조류·조위의 관측지점은 그림 2와 같다.

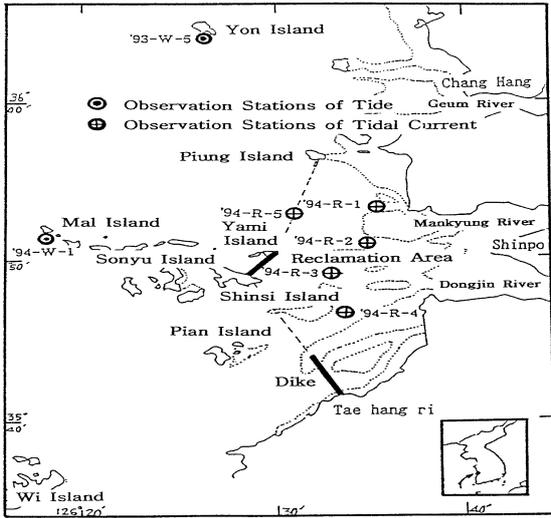
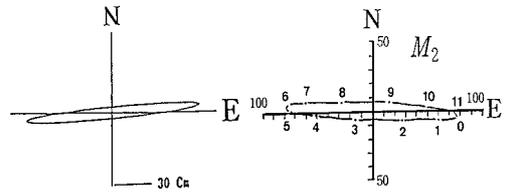
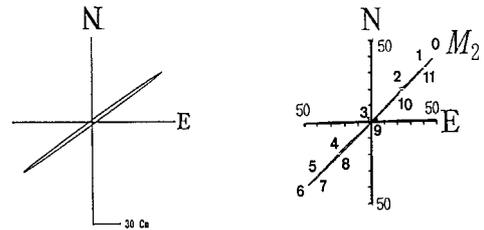


그림 2 조류와 조위관측지점

그림 3는 관측지점 (94-R-3,4)에서 계산에 의한 조류타원도와 관측에 의한 조류타원도를 나타내고 있다. 그림 4는 계산결과에 의한 M_2 분조에 의한 간척 전·후의 창·낙조류분포를 나타내고 있다. 계산 결과로부터 얻어진 새만금간척전·후의 M_2 분조의 진폭과 위상 분포, 조석잔차류는 신문섭, Yangi T. (1997)에 의하여 발표되었다. 신문섭, Yangi T. (1997)에 의하여 발표된 내용에서 M_2 분조의 진폭과 위상 분포는 관측 결과로부터 얻어진 고군산의 M_2 분조의 진폭($H: cm$)과 위상(K_c)은 각각 $204 cm$, 75° 였으며, 계산 결과로부터 얻어진 고군산의 M_2 분조의 진폭($H: cm$)과 위상(K_c)은 각각 $204 cm$, 70° 로 계산치는 관측치를 잘 재현하였다고 보였다. 또한 계산 결과로부터 얻어진 계산지점(측점:94-R-4, 측점:94-R-3)의 조화분석한 M_2 분조의 조류타원도는 관측 결과로부터 얻어진 관측지점(측점:94-R-4, 측점:94-R-3)의 조화분석한 M_2 분조의 조류타원도를 잘 재현하였다고 판단되기 때문에 본 논문에서는 검증은 생략한다.

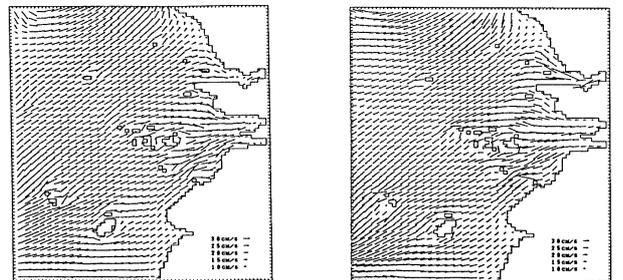


계산치 관측치
(94 R 3)



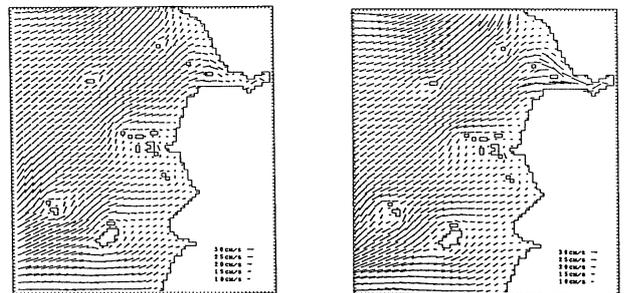
계산치 관측치
(94 R 4)

그림 3 관측지점 (94 R 3,4)에서 조류타원도



간척전 창조류분포

간척전 낙조류분포



간척후 창조류분포

간척후 낙조류분포

그림 4 계산결과에 의한 M_2 분조에 의한 간척 전·후의 창·낙조류 분포

3. 방조제 축조 전·후 의 잔차류 계산

3.1 수온·염분관측자료분석

잔차류 계산을 하기 위한 수온·염분자료는 군산대학 해양개발연구소에서 1992년 여름부터 1993년 봄까지 김중래(1994) 등에 의하여 계절별로 관측일을 정하여 3층으로 관측한 자료를 이용하였다. 관측지점은 그림 5로 나타내었다.

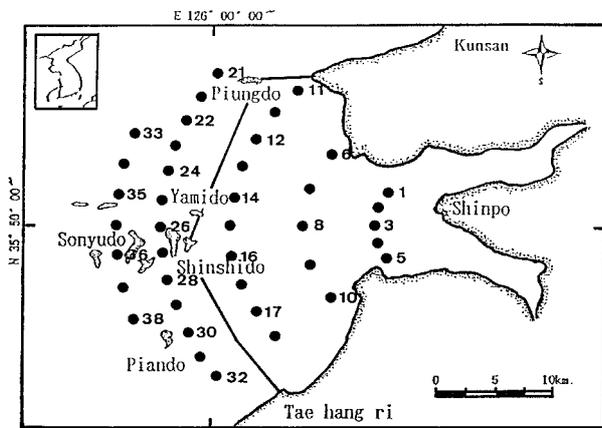
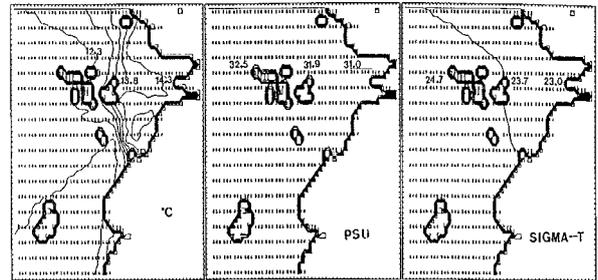


그림 5 수온·염분관측지점

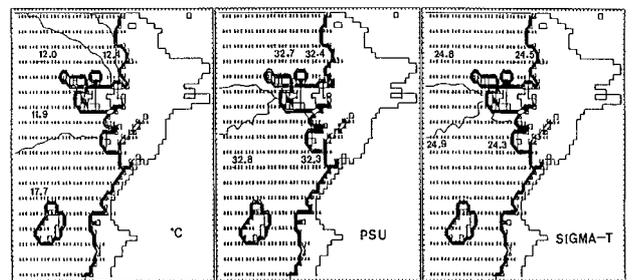
수온·염분 관측 데이터는 쌍곡선합수를 이용하여 보간을 하였다. 보간식은 다음과 같다.

$$T(i, j) = \sum_{k=1}^n (T^*/L_k) / (1/L_k), \quad S(i, j) = \sum_{k=1}^n (S^*/L_k) / (1/L_k)$$

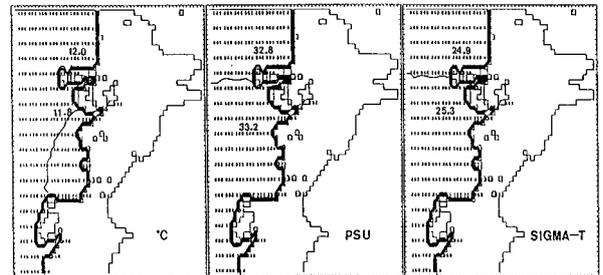
여기서, $T(i, j), S(i, j)$ 는 보간된 격자점에서 수온·염분값, T^*, S^* 는 수온·염분의 관측치, L_k 는 구하려고 하는 격자점과 관측점과의 거리이다. 그림 6은 1993년 5월에 관측된 수온·염분·밀도를 보간한 것을 나타내고 있다. 현장밀도($\sigma_t = (\rho_{s,t,p} - 1) \times 10^3$), 여기서 $\rho_{s,t,p}$ 는 염분, 수온, 압력이 각각 s,t,p일 때 해수의 밀도이다.



표층수온 표층염분 표층밀도



중층수온 중층염분 중층밀도



저층수온 저층염분 저층밀도

그림 6 1993년 봄에 관측된 수온·염분·밀도의 층별분포

3.2 방조제 축조전 진단(a robust diagnostic)모델에 의한 잔차류

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

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = f - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + S_x \quad (11)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + f u$$

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

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

연속방정식은 식(14)와 같다.

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

여기서, u, v, w 는 x, y, z 방향의 유속, ρ_o 는 연직 평균밀도, p 는 압력, B 는 부력, A_h, A_v 는 수평·연직 와동점성계수, S_x, S_y 는 조석응력의 x, y 성분, η 는 평균해면에서 수위이다. 잔차류 계산을 위한 수온·염분 이류확산방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z}$$

$$= K_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + K_h \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \gamma (T^* - T) \quad (15)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z}$$

$$= K_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} + K_h \left(\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} \right) + \gamma (S^* - S) \quad (16)$$

여기서, K_h, K_v 는 수평·연직와동확산계수, T 는 수온, S 는 염분, T^*, S^* 는 수온·염분의 관측치, γ 는 mixing계수로서 γ 가 0이면 예보모델(prognostic model)이 되고, 0보다 큰 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($\gamma = 1/24 \text{hour}^{-1}$)를 사용하였다. 해수밀도는 수온·염분의 관측치로부터 Knudsen의 식으로부터 구했다.

$$S_x = \overline{\left(u' \frac{\partial u'}{\partial x} + v' \frac{\partial u'}{\partial y} \right)} \quad (17)$$

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

여기서, “—”는 1조석 주기평균, u', v' 는 M_2 조류의

조석주기변동성분, 바람은 군산기상대 20년 자료를 분석한 평균풍속 $4.10 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$, 풍향 WNW, 수온·염분자료는 군산대학 해양개발연구소에서 1992년 여름부터 1993년 봄까지 김중래 등(1994)이 관측한 관측치를 이용하였다. 유입유량은 금강에서 $1871.0 \text{ m}^3/\text{sec}$, 만경강에서 $23.0 \text{ m}^3/\text{sec}$, 동진강에서 $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이 유입하는 것으로 하여 계산하였다. 간척전·후 잔차류를 계산하기 위하여 운동방정식과 연속방정식, 수온·염분확산방정식을 차별화하여 계산하였다. 수평방향격자는 $1.0\text{km} \times 1.0\text{km}$ 의 정방형 격자로 분할하고, 연직방향으로는 상층(0~5m), 중층(-5~-10m), 하층(-10m~bottom)로 분할하여 3층 Level Model로 하였다. 차별 방법은 Dufort-Frankel법을 이용한 leap-frog scheme를 사용하였다. 첫step은 Euler-backward scheme으로 계산을 시작하여 8 Step 마다 Euler-backward scheme를 삽입하여 leap-frog scheme에 의한 주기 $2\Delta t$ 의 noise를 제거하면서 계산하였다. 그림 7은 Table 1을 이용하여 얻어진 새만금 간척전 봄의 잔차류를 나타내고 있다. 계산결과 표층에서는 북에서 남으로 잔차류 흐름이 형성되고 있었고, 중층에서는 금강 하구앞의 해역에서 흐름은 시계방향의 잔차류가 형성되고 있었다.

Table 1 Parameters for the residual current calculation

| | |
|--|---|
| Mesh interval (ΔS) | 1.0km |
| Time step (Δt) | 30sec |
| Coefficient of horizontal eddy viscosity (A_h) | $5 \times 10^5 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ |
| Coefficient of vertical eddy viscosity (A_v) | $5.0 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ |
| Coefficient of horizontal eddy diffusivity (K_h) | $5 \times 10^5 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ |
| Coefficient of vertical eddy diffusivity (K_v) | $5.0 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ |
| Gravitational acceleration (g) | 980 cm sec^{-2} |
| Coriolis parameter (f) | $8.55 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$ |
| 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 | $1.2 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ |
| Heat flux | $100 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ |
| Wind Velocity and Wind Direction | $3.95 \text{ (m sec}^{-1})$ and WNW |

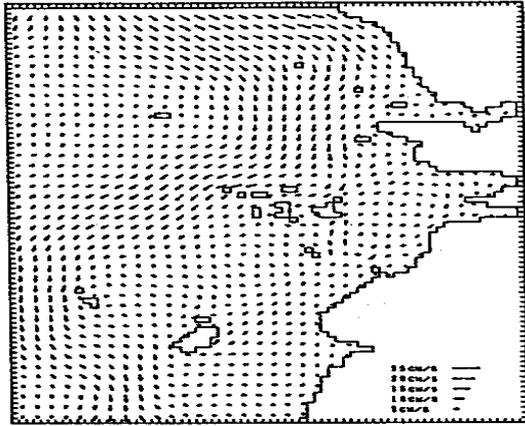
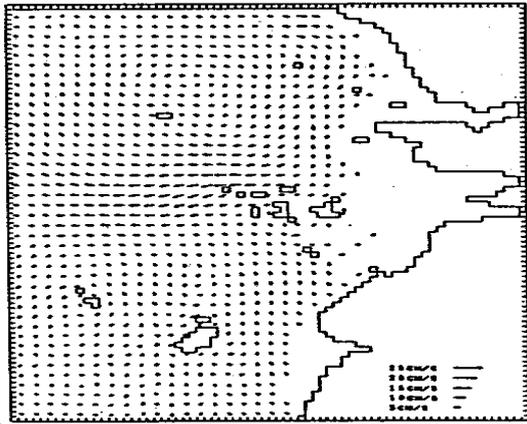
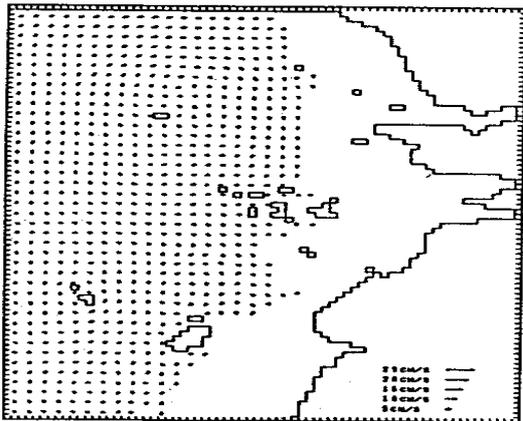


표 층



중 층



저 층

그림 7 새만금 간척전 봄의 잔차류

3.3 방조제 축조후 예보수치모형(Prognostic numerical model)에 의한 잔차류

예보모형(Prognostic model)에 의하여 방조제 축조 후 잔차류를 계산하였다. 잔차류 계산은 운동방정식 (11) 및 식 (12)과 연속방정식 (14)을 이용하였다. 수온·염분확산방정식은 식 (18) 및 (19)와 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \\ = K_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + K_h \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} \\ = K_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} + K_h \left(\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (19)$$

그림 8은 Table 2의 경계조건을 이용하여 예보수치모형에 의하여 계산된 새만금 간척 후 봄의 잔차류를 나타내고 있다. 계산결과 전체적인 흐름형태는 간척전의 잔차류의 흐름형태와 비슷하나 잔차류의 크기는 작아진 것을 알 수 있다. 그림 9는 예보모델에 의하여 계산된 간척 후 수온·염분분포이다.

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 |

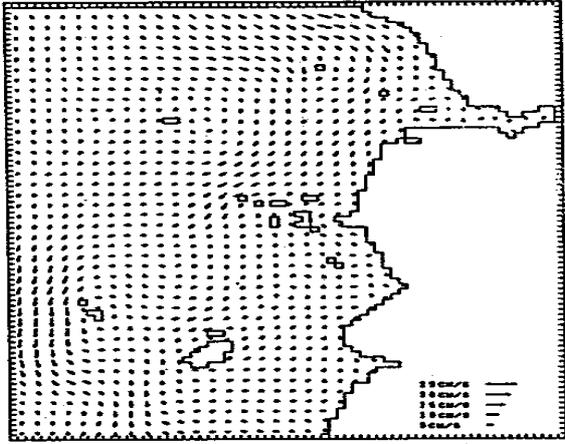
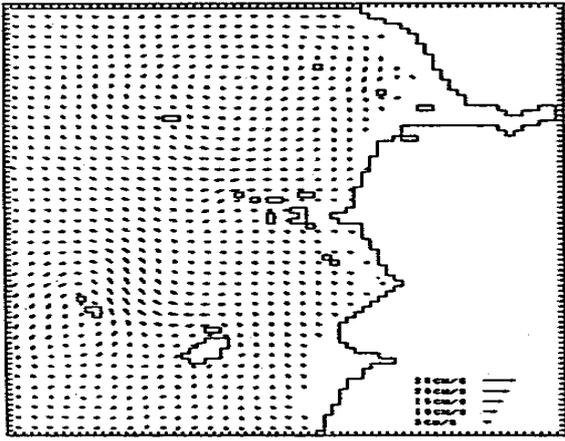
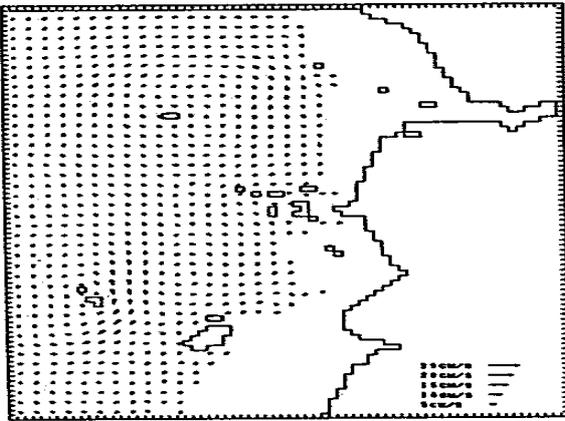


표 층

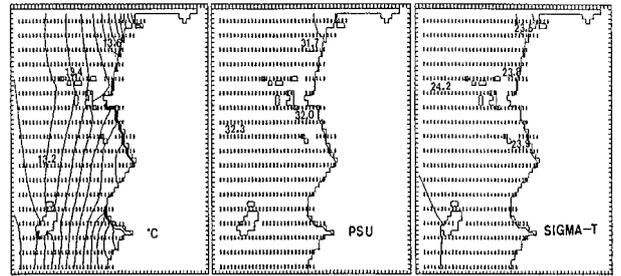


중 층



저 층

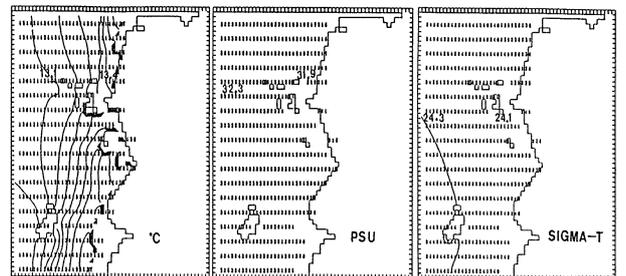
그림 8 새만금 간척후 봄의 잔차류



표층수온

표층염분

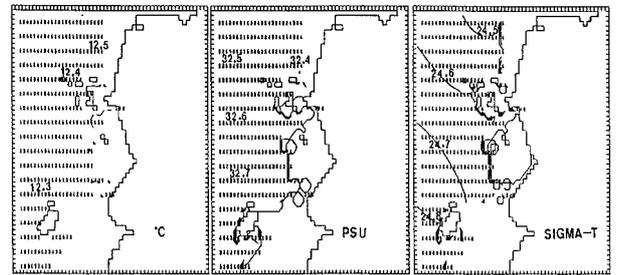
표층밀도



중층수온

중층염분

중층밀도



저층수온

저층염분

저층밀도

그림 9 예보모형에의하여 계산된 봄의 수온 염분 밀도의 층별분포

4. 금강하구에서 부유사 거동특성

부유사의 수송 Model은 대상해역의 흐름특성을 규명한 후 부유사의 특성을 고려한 입자 추적실험을 하였다. 계산은 방조제 축조전 잔차류의 계산결과를 이용하여 Euler Lagrange 방법으로 부유사의 분산과정을 수치 실험 하였다. Euler Lagrange 방법은 어느 시각 n였어서 입자의 위치를 (x^n, y^n, z^n) 라고 하면, Δt 시간

후의 입자의 위치($x^{n+1}, y^{n+1}, z^{n+1}$)를 (x^n, y^n, z^n)의 주위에 Taylor 전개하여 구한다. 단 4차이상의 고차항은 무시하고, 난류로서 취급한다.

$$X_{n+1} = X_n + u \Delta t + (\nabla u) u t^2 + R_x \quad (20)$$

$$Y_{n+1} = Y_n + v \Delta t + (\nabla v) v t^2 + R_y \quad (21)$$

$$Z_{n+1} = Z_n + w_s \Delta t + R_z \quad (22)$$

$$R_x \text{ and } R_y = \gamma (2 \Delta t D_h)^{1/2}$$

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

여기서, u, v 는 x, y 방향의 잔차류 성분, w_s 는 부유사 침강속도, γ 는 평균0, 표준편차1의 정규난수, D_h 는 수평분산계수, D_z 는 수직분산계수이다.

4.1 경계조건과 초기조건

계산은 금강의 하구둑에서 토사를 방류시켜 확산 분포를 알아 보았다. 경계조건은 Table 3과 같다. 토입자의 침강속도는 Stocks Law's 의 법칙을 적용하였다.

| | |
|-------------------------------|---------------------------|
| Mean grain size of soil | 150,300,400 μm |
| Time of discharge | 24hr and 72hr |
| Density of soil | 2.65 |
| Number of released soil grain | 200 |

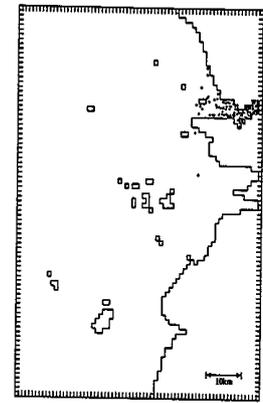
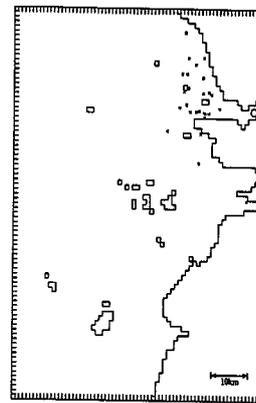
Table 3 Parameters used in the numerical experiment

4.2 계산결과

계산은 진단모형에서 계산한 잔차류 성분과 토입자의 중앙입경이 150 μm , 300 μm , 400 μm 의 경우에 대하여 적용하였고 土粒子的 분포사항은 금강하구둑에서 土粒子 방류후 24시간과 72시간에 대하여 알아보았다. 그 결과 그림 10(a,b),11(a,b),12,13,14,15과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 토입자의 입경이 클수록 이동거리가 짧은 것을 알 수 있다. Table 4은 토입자의 입경과 방류시간에 따른 토입자의 침강갯수와 부유갯수를 나타내고 있다.

Table 4 Number of suspended and falling particle

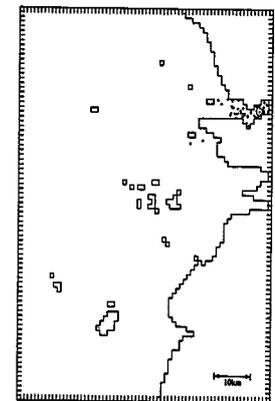
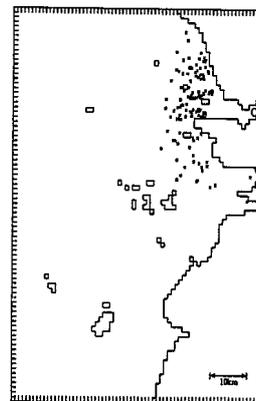
| Mean grain size of soil | Time of discharge | Number of soil particle | |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|
| | | Number of suspended | Number of falling particle |
| 150 μm | 24hr | 172 | 28 |
| 150 μm | 72hr | 64 | 136 |
| 300 μm | 24hr | 162 | 38 |
| 300 μm | 72hr | 56 | 144 |
| 400 μm | 24hr | 160 | 40 |
| 400 μm | 96hr | 34 | 166 |
| 400 μm | 120hr | 23 | 177 |
| 400 μm | 120hr | 15 | 185 |



착저

부유

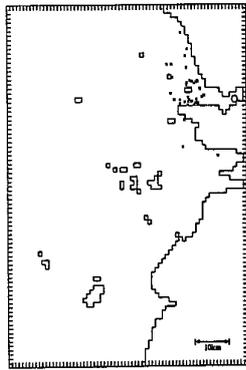
그림 10(a) 새만금 간척전 금강의 부유사 퇴적과 부유분포(土粒子的 크기:150 μm , 방류후24hr)



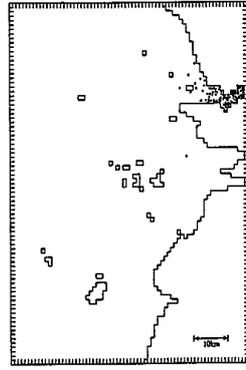
착저

부유

그림 10(b) 새만금 간척전 금강의 부유사 퇴적과 부유분포(土粒子的 크기:150 μm , 방류후72hr)

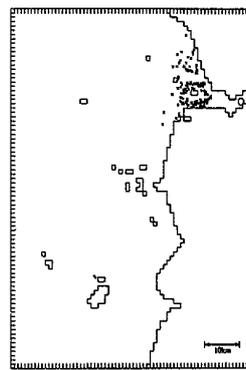


착저

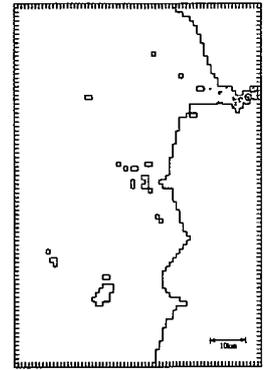


부유

그림 11(a) 새만금 간척전 금강의 부유사 퇴적과 부유분포
(土粒子的 크기:300 μ m, 방류후24hr)

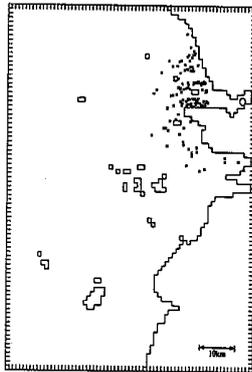


착저

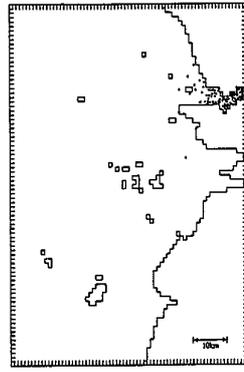


부유

그림 13 새만금 간척후 금강의 부유사 퇴적과 부유분포
(土粒子的 크기:400 μ m, 방류후96hr)

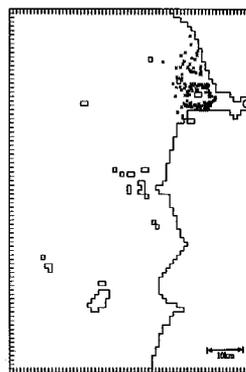


착저

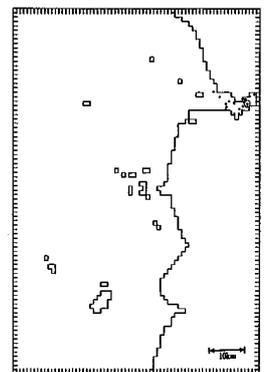


부유

그림 11(b) 새만금 간척전 금강의 부유사 퇴적과
부유분포(土粒子的 크기:300 μ m, 방류후72hr)

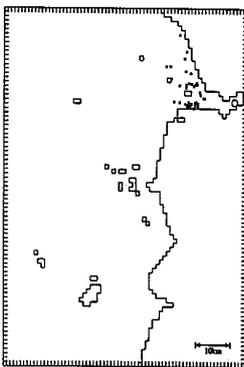


착저

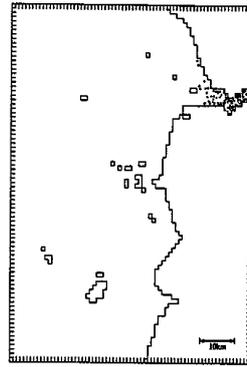


부유

그림 14 새만금 간척후 금강의 부유사 퇴적과 부유분포
(土粒子的크기:400 μ m, 방류후120hr)

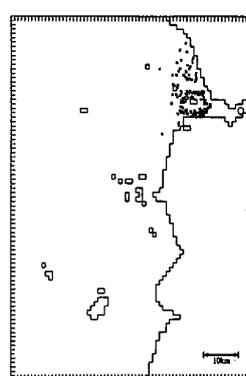


착저

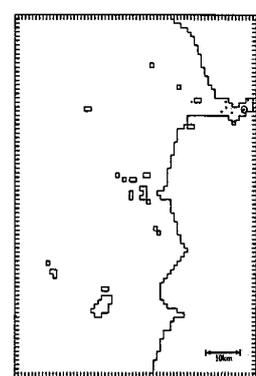


부유

그림 12 새만금 간척후 금강의 부유사 퇴적과 부유분포
(土粒子的 크기:400 μ m, 방류후24hr)



착저



부유

그림 15 새만금 간척후 금강의 부유사 퇴적과 부유분포
(土粒子的 크기:400 μ m, 방류후144hr)

5. 결 론

금강하구의 퇴적변화를 예측하기 위하여 *Euler Lagrange* 방법으로 부유사의 분산과정을 수치실험하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 봄에 관측한 수온·염분, 바람, 조석응력을 이용하여 계산한 잔차류의 특성은 상층에서 만경강과 동진강하구역에 시계방향의 흐름분포를 나타내고 있었다. 그리고 위도와 신시도 사이에서 반 시계 방향의 흐름분포를 나타내고 있었다. 또한 중층에서 금강과 장항하구역에서 시계방향의 흐름분포를 나타내고 있었다.

그리고 하구특성의 하나인 밀도류에 의한 하구쪽 방향으로의 흐름은 아주 작은 분포를 하고 있었다.

2. 부유사의 분산·퇴적과정을 수치실험한 결과, 투하 24시간 후 토입자의 크기가 150 μ m일 때 입자의 침강은 28개인 반면 72시간 후에는 136개, 토입자의 크기가 300 μ m이고 투하24시간 후 입자의 침강은 38개인 반면 72시간 후에는 144개로 투입량의 약 1/5이 퇴적하였다. 24시간후의 퇴적분포는 대부분 금강하구와 장항해역에서 퇴적분포를 나타내고 있었으나 72시간 후에는 금강하구와 장항해역, 만경강과 동진강하구까지 퇴적분포를 나타내고 있었다. 또한 토입자의 입경이 클수록 이동거리가 짧은 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2000년도 경상대학교 해양과학대학 해양산업연구소의 연구조정비에 의하여 연구되었으며, 본 연구를 위하여 연구비를 지원하여 주신 관계자에게 감사를 드린다.

(접수일자 : 2001. 2. 1.)

참 고 문 헌

- 1 申文燮, Yanagi T, 權哲輝(1997), 조석잔차류에 의한 새만금간척지구의 미티게이션 대한토목학회논문집, 제17권, 제II 5호, pp 461~468
- 2 申文燮(1999), 새만금 간척에 따른 역기능보완에 관한연구 대한토목학회논문집, 제19권, 제(II 3)호, pp 317~327
- 3 申文燮(1999), 만경강과 동진강하구의 퇴적과정에 관한 연구 한국농공학회학술발표논문집 pp 143~148
- 4 申文燮(2000), A study of sedimentation processes before and after Saemangeum reclamation 한국지반환경공학회발표논문집 pp 237~246
- 5 申文燮(1996), 해상공사에 따른 토사확산 韓國海岸·海洋工學會誌, 제2권, pp 204~214
- 6 申文燮(2000), Mitigation for the anti function of development in caused by Saemangeum reclamation in Korea 일본수산공학회논문발표집 pp 55~58
- 7 申文燮(1997), A study of sedimentation processes in Saemangeum coastal area International Offshore and Polar Engineering Conference pp 966~972
- 8 申文燮(1999), 새만금간척에 따른 미티게이션 한국농공학회학술발표논문집 pp 169~174
- 9 Fujio ,Imasato(1991), Diagnostic calculation for circulation and water mass movement in the deep Pacific J Geophy Res ,96,C1 246~252
- 10 Sarmiento J L and K Bryan(1982), An ocean transport model for the North Atlantic J Geophy Res , 87 pp 394~498
- 11 Kim,G R (1994), Fishery dastmage compensation report of Saemangeum development work Coastal Research Center,Kunsan National University
- 12 Yanagi T (1978), Fundamental study on the tidal residual circulation J Oceanogr soc Japan,Vol 34, pp 67~72
- 13 Rural Research Corporation of Korea(1994), Survey of wave and hydraulic experimental in Saemangeum coastal area pp 331~340