

새만금간척 전 · 후 잔차류의 계절변화에 관한연구

A study of seasonal variation of the residual flow before and after Saemangeum reclamation

신 문 섭* / T. Yanagi** / 홍 성 근*** / 이 동 주*

Shin, Moon Seup / Teatsuo Yanagi / Hong, Sung Kun / Lee, Dong Ju

Abstract

The land reclamation area of Saemangeum(Kunsan) is located between 126°10' E~126°50' E and 35°35' N~36°05' N at the western coast of the Korean peninsula. The reclamation area of Saemangeum has a range of 5.6m spring tide and the maximum tidal current speed is about $1.41 m s^{-1}$ in ordinary spring tide. Most of the sediments deposited on the tidal flats are transported from the Geum river, the Mankyung river and the Dongjin river. The soil in this area consists of silty sand with the depth of 10m to 30m. The wind in winter is strong from the direction of northwest. Saemangeum coastal area is being constructed 33km the sea dike and 40,100ha reclamation area. The purpose of this study is to find the residual circulations in four seasons before and after the dike construction by a robust diagnostic and prognostic numerical model.

keywords : Water circulations, Robust diagnostic model, prognostic model, Residual current

요 지

새만금간척지역은 동경 126°10' ~126°50' 와 북위 35°35' ~36°05' 위치하고 있다. 새만금간척지역은 대조차가 5.6m 이고 최대 조유속은 $1.41 m s^{-1}$ 이다. 조간대 침전물의 대부분은 금강, 만경, 동진강으로부터 유입되고 있다. 이 지역의 저질은 실트질 모래로 구성되어 있다. 동절기의 바람은 북서풍이 우세하다. 새만금간척면적은 40,100ha 이고 방조제의 길이는 33km이다. 본 연구의 목적은 강 진단모델과 예보모델에 의하여 간척전 · 후의 잔차류의 계절변화를 규명하는 것이다.

핵심용어 : 물 순환, 강 진단모델, 예보모델, 잔차류

* 군산대학교 공과대학 토목환경공학부 교수
Pfor., Dept. of Civil Eng., Kunsan National Univ., Kunsan, 573-701, Korea
(E-mail : seup@kunsan.ac.kr)

** Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Kasuga, Japan

*** 군산대학교 해양과학대학 해양생산학부 교수

1. 서 론

우리나라의 간척사업의 대부분은 수산자원이 풍부한 하구에 실시되고 있다. 새만금종합개발사업도 전북 무안군 변산면 대항리를 시점으로 고군산군도의 신시도, 야미도와 군산시 비응도를 종점으로 하는 33km의 방조제를 축조하여 4만1백ha의 국토를 확장하는 사업으로써 만경강, 동진강하구의 연안해역에 대규모적으로 실시되고 있다. 대규모 간척사업을 시행함으로써 일어날 수 있는 자연과 수산자원의 파괴 등 생태계 변화에 대응을 위해서는 우선 조류가 강한 서해안에서는 조석과 조류에 대한 이해가 기본적으로 필요하다. 바람, 하천유량, 기상조건 등도 연안해역의 유동에 영향을 미치지만 일시적인 형태로서 유동에는 큰 영향을 미치지 못하고 본다. 그러나 조류는 해수유동에 큰 영향을 미친다고 연구되고 있다. 또한 조석잔차류는 조류의 유속에 비하여 작지만 장기적인 관점에서 볼 때 연안해역에서 물질수송에 큰 영향을 미치고 있다. 연안해역에서 임의의 한 점에 있는 물 입자는 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 조류의 역할이 크다고 보았으나 실제 연안해역에서의 물질교환과 확산을 주의 깊게 관찰해 보면 수 조석주기 이상의 장기간의 물질교환은 왕복류(往復流)인 조류보다도 미약하지만 한 방향으로 흐르는 잔차류의 역할이 크다는 것이 밝혀졌다. 연안해역의 잔차류의 주성분은 조류운동의 비선형성에 의한 조석 잔차류(tide induced residual current), 바람에 의한 취송잔차류(wind driven current), 밀도편차에 의한 밀도 잔차류(density driven current)의 세 가지가 있다. 본 연구에서는 금강하구의 퇴적특성, 어류의 난치어 등과 같은 물질의 분산을 예측하기 위하여 방조제 축조전·후의 잔차류를 계산하였다. 방조제 축조전의 잔차류는 관측에 의하여 얻은 수온·염분·바람자료와 계산된 조석잔차류를 이용하여 진단(a robust diagnostic)모델에 의하여 잔차류를 계산하였다. 방조제 축조후의 잔차류는 관측에 의하여 얻은 경계(open boundary)에서 수온·염분자료, 바람자료, 계산에 의하여 얻어진 조석잔차류 계산결과를 이용하여 예보모형(prognostic model)에 의하여 방조제 축조 후 수온·염분과 잔차류를 예측하였다.

2. 방조제 축조전·후의 조류 계산

2.1 조류 계산을 위한 기초방정식

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

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv \quad (1)$$

$$= -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\tau_x}{h}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu \quad (2)$$

$$= -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\tau_y}{h}$$

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

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 $1.0km \times 1.0km$ 하였으며, 계산 시간 간격 Δt 은 27초로 하였다. 경계는 서·남 북경계로, 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 는 시간이다. 계산영역을 정방형 격자로 나누고, CFL(courant friedrics 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 격자 크기, Δt 는 time step, u 는 가장 빠른 천해파의 전파 속도(\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 조석 잔차류는 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 갖지 않는 발산류이지만 조석잔차류는 와도를 가지는 비발산류이고 또한 등밀도면과 등압면이 평행한 순압(barotropic)적인 특성을 하고 있기 때문에 대조와 소조에서 그 크기가 변화한다. 연안에서 밀도가 일정하고 바람, 하천수 유입, 해면을 통한 가열·냉각이 없는 해역에서 조석과 조류가 존재한다고 가정하면 이 때 연안의 유동을 지배하는 운동방정식과 연속방정식에서 유속 변동과 수위변동을 조석주기 평균성분(U, V, η)과 조석 변동성분(u', v', η')으로 분해한다.

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

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

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

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

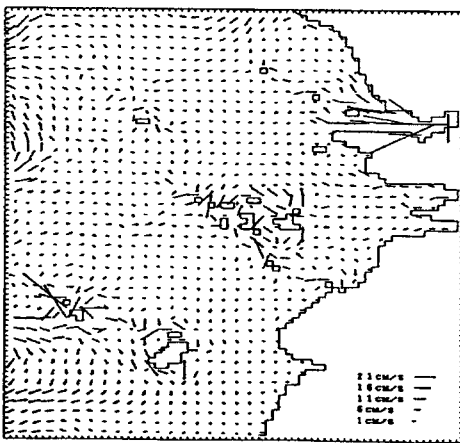
$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (9)$$

여기서,

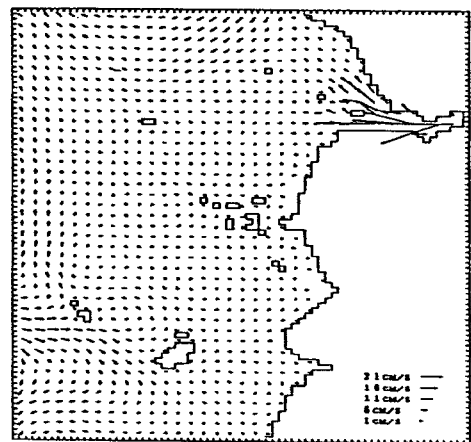
$$S_x = - \overline{\left(u' \frac{\partial u'}{\partial x} + v' \frac{\partial u'}{\partial y} \right)} \quad (10)$$

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

여기서, 밀도는 일정하기 때문에 압력경사항의 p 는 η 로 변환시키고 연직 점성은 1차의 해저마찰계수 R 을 이용해서 바꿔 쓸 수 있다. (10)의 “—”는 1조석 주기 평균을 나타내고 S_x, S_y 를 조석 응력(tidal stress)이라고 한다. (7)(8)식은 조류 운동의 비선형 성분의 1조석 주기 평균에서 파생된 조석응력이 평균류를 일으키는 것을 나타내고 있다. 이와 같이 왕복운동인 조류의 비선형성의 결과로 생기는 평균류를 조석잔차류(tidal-induced residual current)라 한다. 지형의 영향과 조류의 비선형성에 의하여 발생된 조석잔차류의 계산결과를 Fig.1과 같다



(a) before Saemangeum reclamation



(b) after Saemangeum reclamation

Fig. 1. Calculated tide-induced residual current by M_2 tidal current before and after the Saemangeum reclamation.

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. 관측지점은 Fig.2로 나타내었다.

수온·염분 관측data는 쌍곡선함수를 이용하여 보간을 하였다. 보간식은 다음과 같다.

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

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

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. Fig.3(a,b,c,d)는 관측된 수온·염분·현장밀도를 보간 한 것을 나타내고 있다. 현장밀도는 $\sigma_t = (\rho_{s,t,p} - 1) \times 10^3$ 로 구한

다. 여기서 $\rho_{s,t,p}$ 는 염분, 수온, 압력이 각각 s,t,p일 때 해수의 밀도이다. 관측자료분석결과 봄의 수온분포는 만경·동진·금강하구에 가까울수록 높아졌으나 염분은 낮았다. 밀도는 수심이 깊어질 수록 증가하였다. 여름의 수온분포는 만경·동진·금강하구 중 금강하구에 가까울수록 높았으나 염분은 만경·동진·금강하구 중 금강하구부분에서 낮았다. 가을의 수온분포는 만경·동진강하구는 비슷한 분포를 하고 있었다. 염분은 만경·동진·금강하구 중 금강하구에 가까울수록 낮았다. 이것은 금강하구의 유출량이 다른 계절에 비하여 가을에 많았기 때문이라고 판단된다. 겨울의 수온·염분분포는 만경·동진·금강하구 중 금강하구에 가까울수록 낮았다.

3.1.2 방조제 축조전 잔차류계산

방조제 축조전 잔차류는 진단(robust diagnostic) 모델에 의하여 잔차류를 계산하였다. 잔차류 계산을 위한 운동방정식은 (11),(12)와 같다.

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

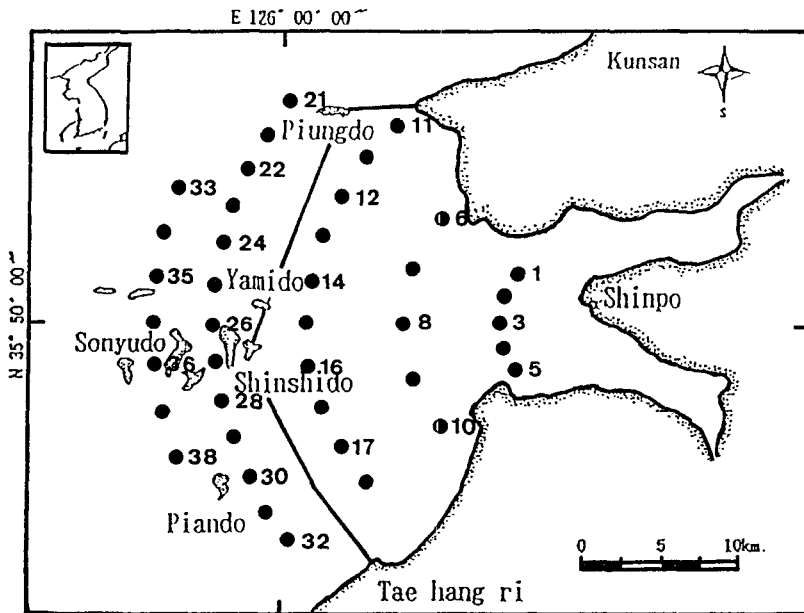
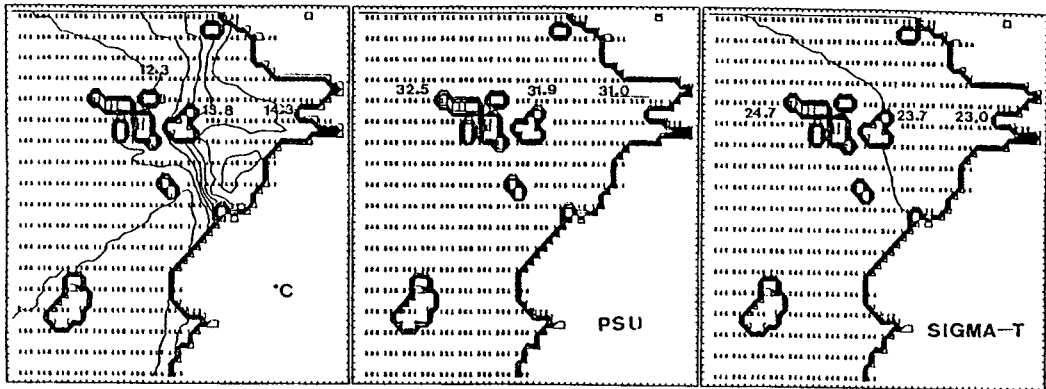


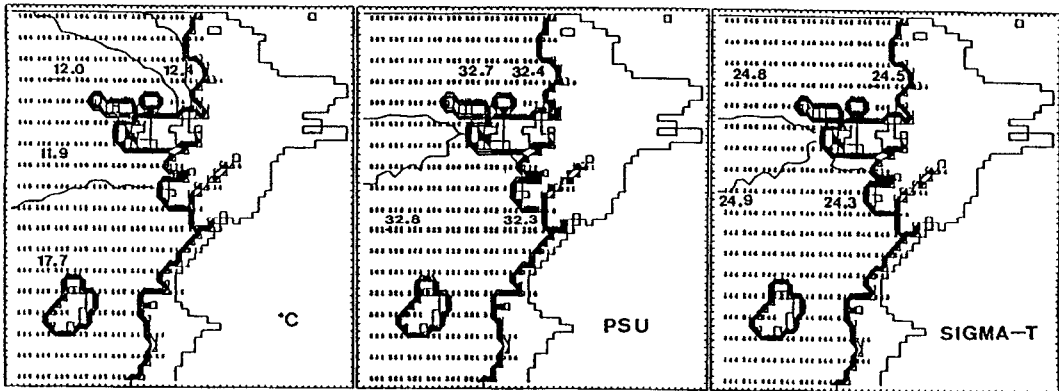
Fig. 2. Observation stations of water temperature and salinity



W.T-1
upper layer

S-1
upper layer

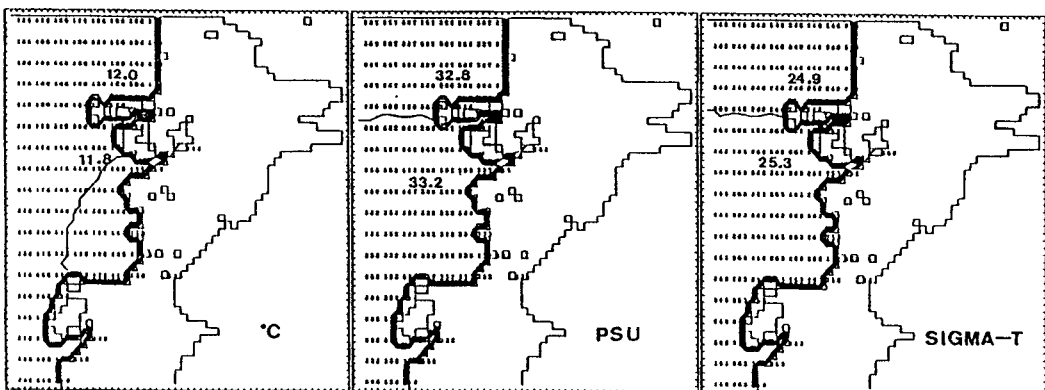
σ_t -1
upper layer



W.T-2
middle layer

S-2
middle layer

σ_t -2
middle layer

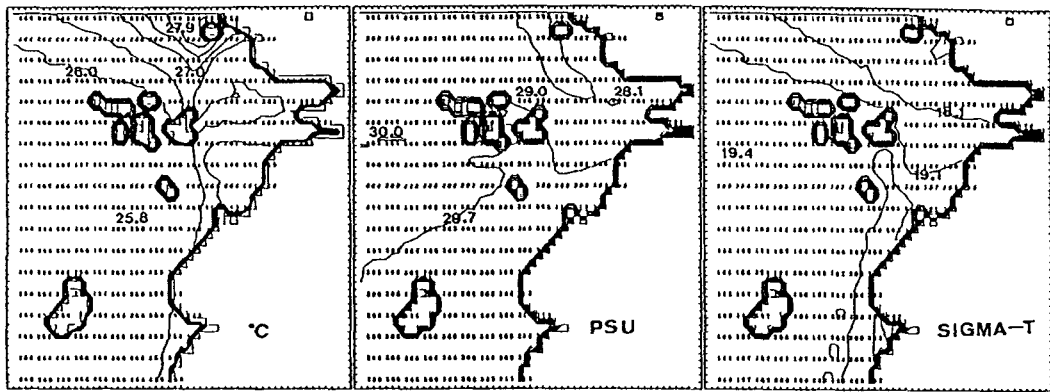


W.T-3
lower layer

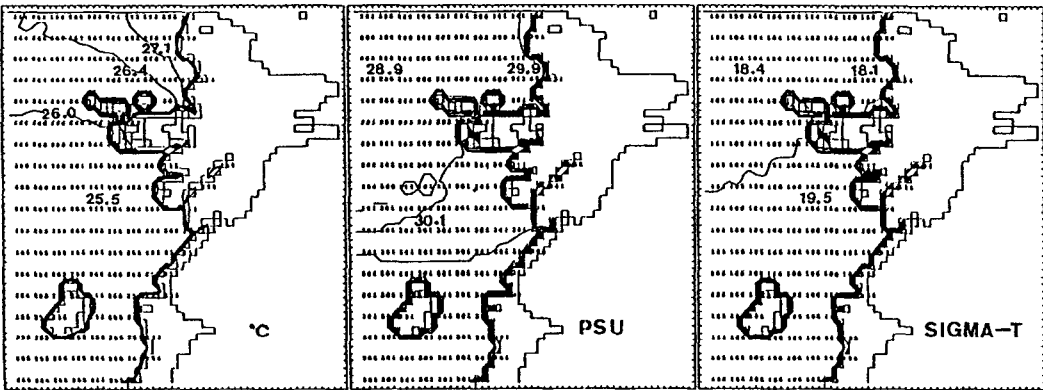
S-3
lower layer

σ_t -3
lower layer

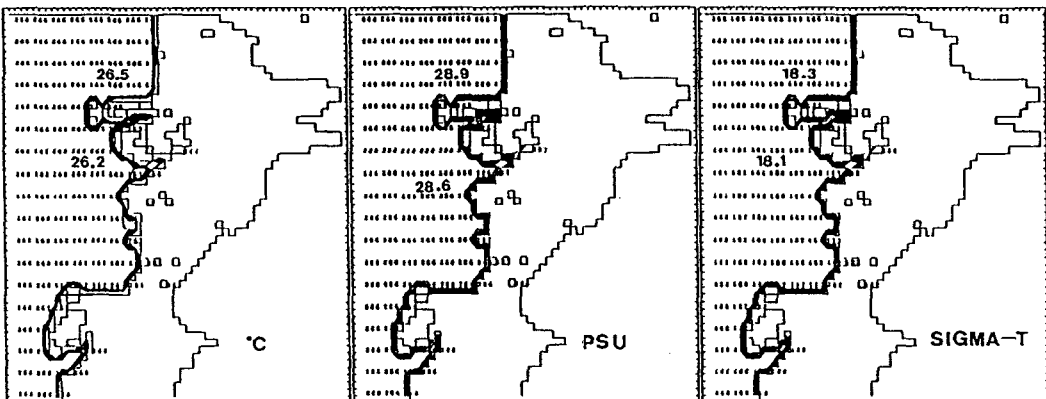
Fig. 3(a). Distributions of water temperature, salinity and density in spring(May,1992).



W.T-1 upper layer S-1 upper layer σ_t-1 upper layer

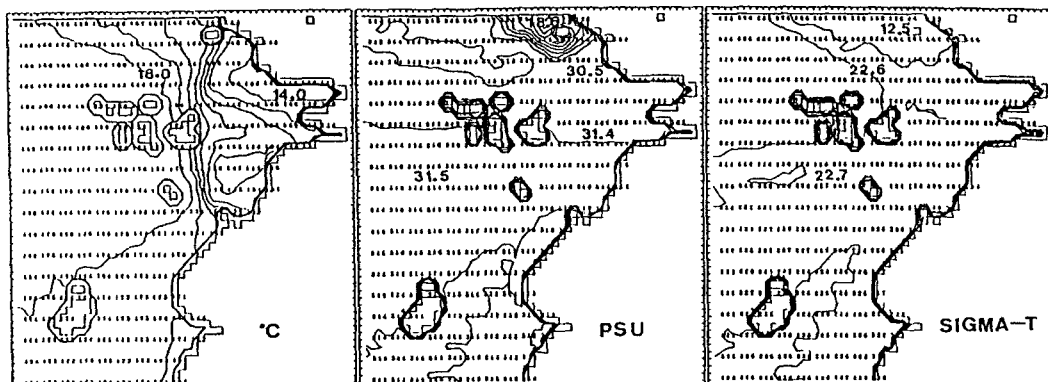


W.T-2 middle layer S-2 middle layer σ_t-2 middle layer



W.T-3 lower layer S-3 lower layer σ_t-3 lower layer

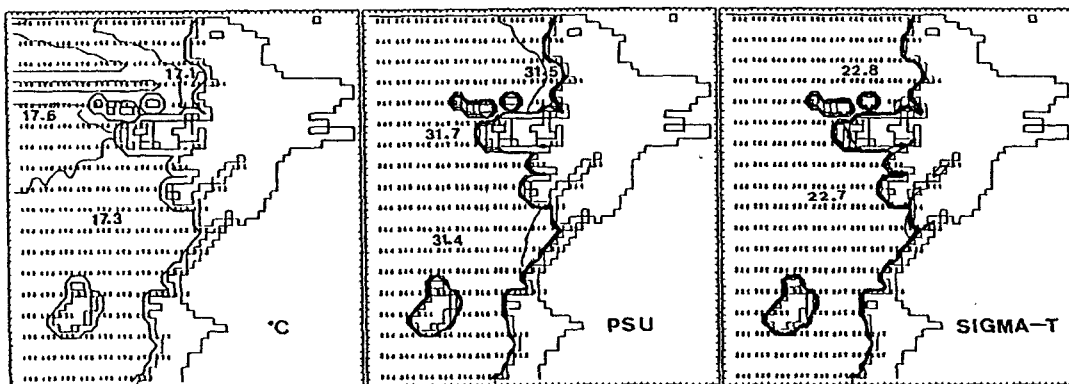
Fig. 3(b). Distributions of water temperature, salinity and density in summer (August, 1992).



W.T-1
upper layer

S-1
upper layer

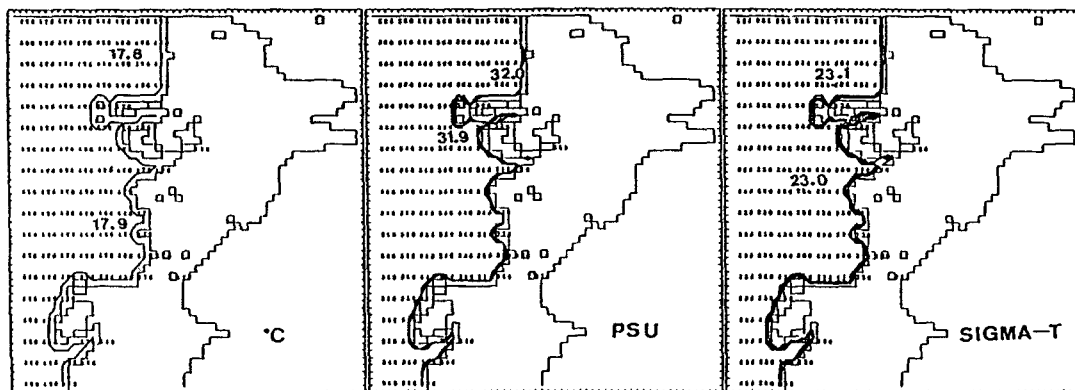
σ_t -1
upper layer



W.T-2
middle layer

S-2
middle layer

σ_t -2
middle layer



W.T-3
lower layer

S-3
lower layer

σ_t -3
lower layer

Fig. 3(c). Distributions of water temperature, salinity and density in autumn(October, 1992).

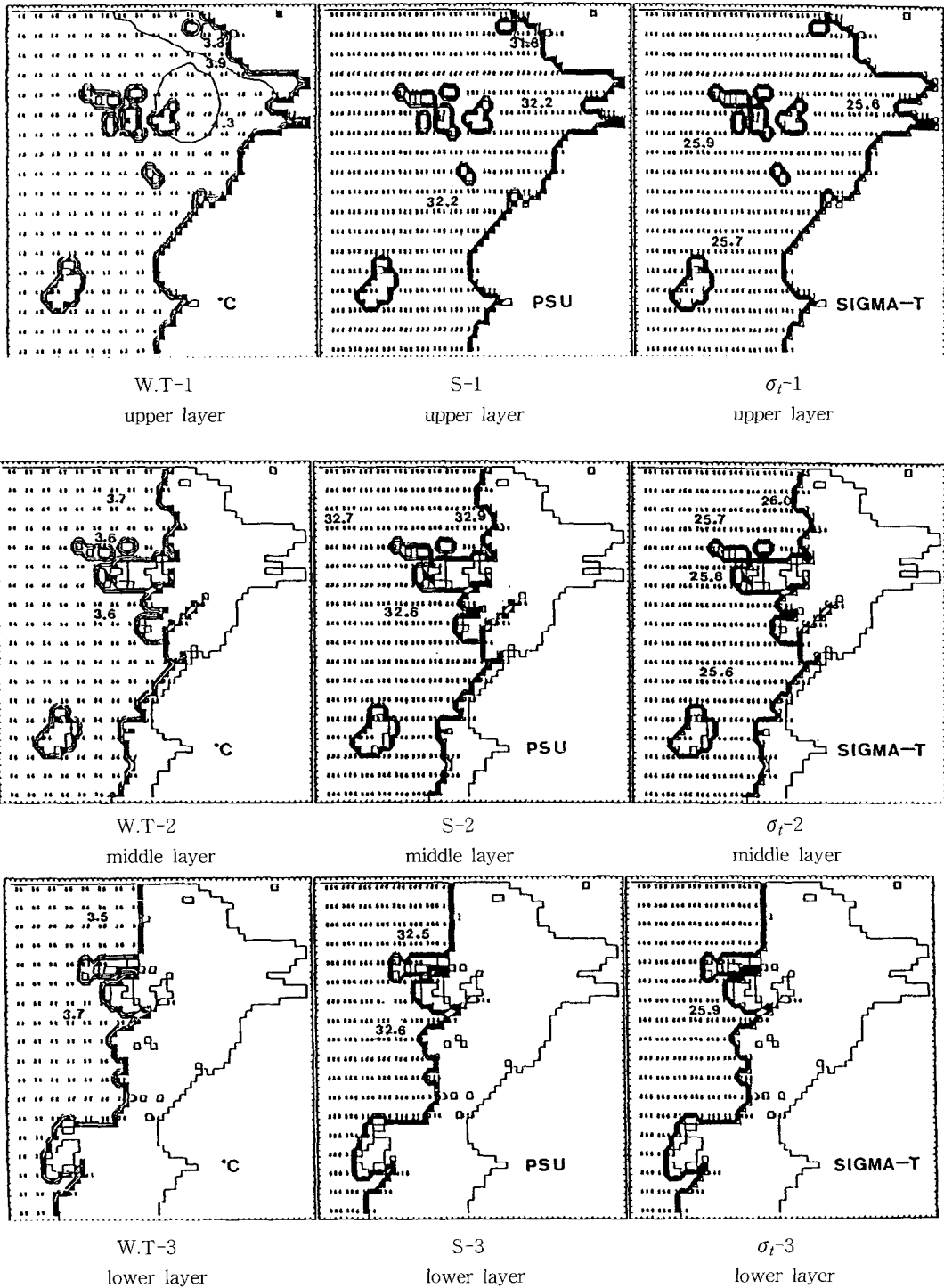


Fig. 3(d). Distributions of water temperature, salinity and density in winter(January, 1993).

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + f v \quad (12)$$

$$= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + S_y$$

$$p = \rho_0 g \eta - \rho_0 \int_z^0 B dz, \quad (13)$$

여기서, $B = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} g$ 이며 ρ_0 는 기준이 되는 밀도이다.

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, f 는 코리올리 인자, ρ_0 는 평균밀도, ρ 는 대상수심에서 밀도, p 는 압력, A_h, A_v 는 수평·연직 와동점성계수, B 는 부력, g 는 중력가속도, S_x, S_y 는 조석응력의 x, y 성분, η 는 평균해면에서 수위변화이다. 그리고 잔차류 계산을 위한 수온·염분 이류확산방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \\ & = K_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + K_h \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \gamma (T^* - T) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} \\ & = K_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} + K_h \left(\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} \right) + \gamma (S^* - S) \end{aligned} \quad (16)$$

식(13)의 밀도 ρ 는 수온 T 와 염분 S 의 값을 이용하여 다음과 같은 함수의 상대방정식을 이용하여 구한다.

$$\begin{aligned} (\rho - 1.0) \times 10^3 = & \sum_t + (\rho_{T=0} + 0.1324) \\ & \{1 - A_t + B_t(\rho_{T=0} - 0.1324)\} \end{aligned} \quad (17)$$

여기서,

$$\rho_{T=0} = -0.069 + 1.4708CI - 0.01570CI^2 + 0.0000398CI^3$$

$$A_T = T(4.7867 - 0.098185T + 0.0010843T^2) \times 10^{-3}$$

$$B_T = T(18.030 - 0.8164T + 0.01667T^2) \times 10^{-6}$$

$$\sum_t = -\frac{(T - 3.98)^2}{503.570} \times \frac{T + 283}{T + 67.26}$$

이며 CI 은 ‰로 나타낸 염소량으로 염분 S (psu)와는 다음과 같은 관계가 있다.

$$S = 0.030 + 1.8050CI \quad (18)$$

이렇게 구한 밀도를 이용해 압력 p 를 구하여 이를 운동방정식에 대입하게 된다. 또 식(15)와 식(16)에서 T^* 와 S^* 는 각각 온도와 염분의 실측치를 나타내고 γ 는 시간의 역수 단위를 갖는 가중계수(weighting factor)이다. 이 식들의 마지막 항은 계산된 T 와 S 가 관측치 T^* 와 S^* 의 값과 크게 달라지는 것을 방지하기 위한 것이다. 따라서 식(15)와 식(16)은 관측된 T^* 와 S^* 를 비현실적인 값이 나오지 않도록 보정해주는 역할을 하게 된다. 보정의 정도는 γ 의 크기에 따라 달라지게 되는데 γ 를 크게 하면 T 와 S 의 값은 관측치에 크게 지배를 받게 되어 $T = T^*, S = S^*$ 로 놓는 순수한 진단모형에 가깝게 되고 γ 를 작게 하면 T 와 S 는 관측치의 영향을 거의 받지 않게 되어 예측모형(prognostic model)에 접근하게 된다. 본 강 진단 모형에서 γ 는 매우 중요한 역할을 하기 때문에 γ 의 값을 잘 선택해서 사용해야 한다. γ 값의 선정 기준에 대해서는 여러 연구결과가 있는데, 그 중 Sarniento와 Bryan (1982)은 γ 를 수심에 따라서 감소시켜서 사용하였고, Fujio와 Imasato(1991)는 γ 를 위도에 따라 변화시켰다. 본 연구와 같이 현장에서 관측된 자료를 이용해 유속장을 구하려고 하는 경우에는 비교적 큰 γ 값을 사용하게 되는데, 이 경우에는 계산되는 유속이 확산계수(K_v, K_h)에 별로 영향을 받지 않게 된다. 본 연구에서는 γ 를 관성 주기의 역수인 $\gamma = 1/24 \text{hour}^{-1}$ 로 일정치를 사용하였다.

3.1.3 방조제 축조전의 적용 및 잔차류계산결과

방조제 축조전의 잔차류계산은 관측된 수온·염분자료(Fig.3), Table 1,2를 이용하여 운동방정식과 연속방정식, 수온·염분확산방정식(Yanagi, 2000, 1993)을 차분화하여 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 3층Level Model로 하였다. 차분방법은 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. 방조제 축조전의 잔차류계산결과 는 Fig.4(a,b,c,d)와 같다

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)	980cm sec^{-2}
Coriolis parameter (f)	$8.55 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$
Bottom frictional coefficient (r_b^2)	2.6×10^{-3}
Surface frictional coefficient (ca)	1.3×10^{-3}
Overall mean density (ρ_o)	1.0238g 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	3.95m sec^{-1} and WNW

Table 2. Parameters used in residual flow calculation

Name of river	Discharge (m^3/s)				Heat flux ($\text{cal cm}^{-2} \text{day}^{-1}$)				Wind								
									Wind Velocity (m sec^{-1})				Wind Direction				
	Sp.	Su.	Au.	Wi.	Sp.	Su.	Au.	Wi.	Sp.	Su.	Au.	Wi.	Sp.	Su.	Au.	Wi.	
Geum r.	1871.0	3124.0	1056.4	1263.6													
Mankyung r.	23.0	90.0	17.0	8.0	100	300	100	-200	3.95	3.95	4.10	3.80	WNW	WSW	WNW	WNW	
Dongjin r.	20.0	74.0	17.0	8.0													

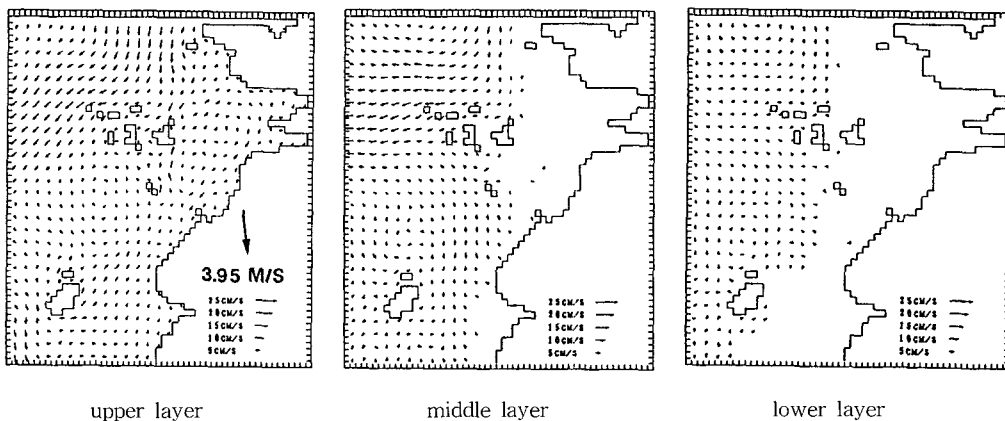


Fig. 4(a). The flow patterns of residual currents at three layers during spring obtained by diagnostic model.

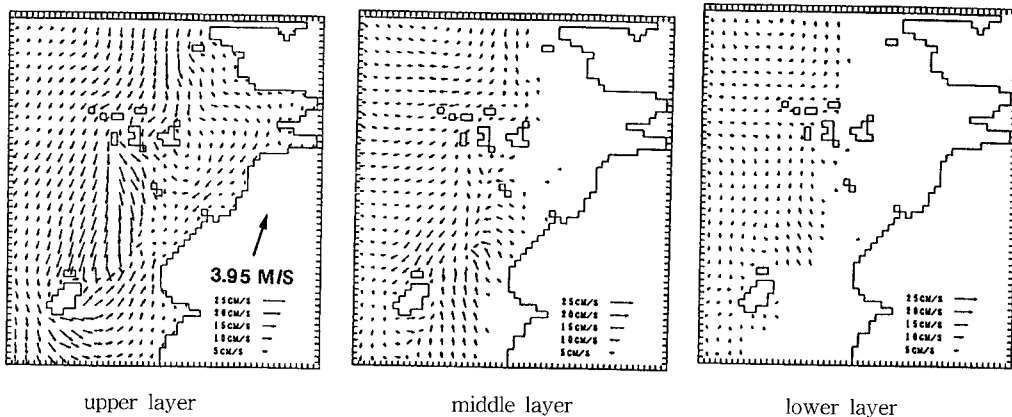


Fig. 4(b). The flow patterns of residual currents at three layers during summer obtained by diagnostic model.

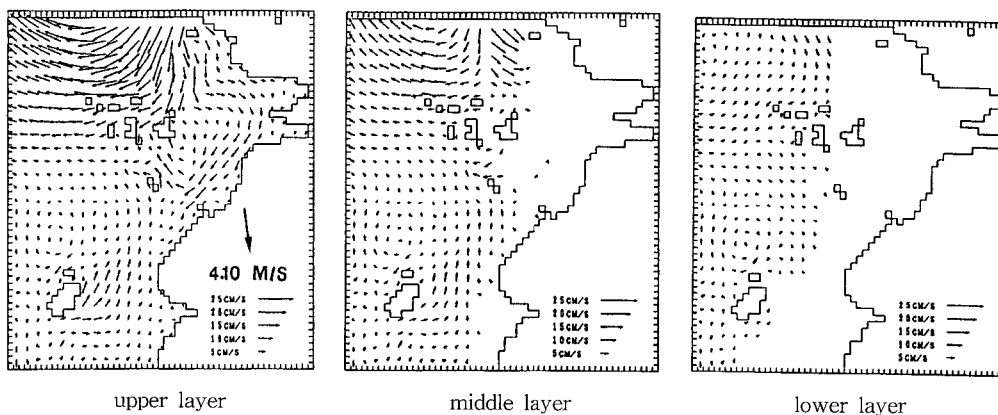


Fig. 4(c). The flow patterns of residual currents at three layers during autumn obtained by diagnostic model.

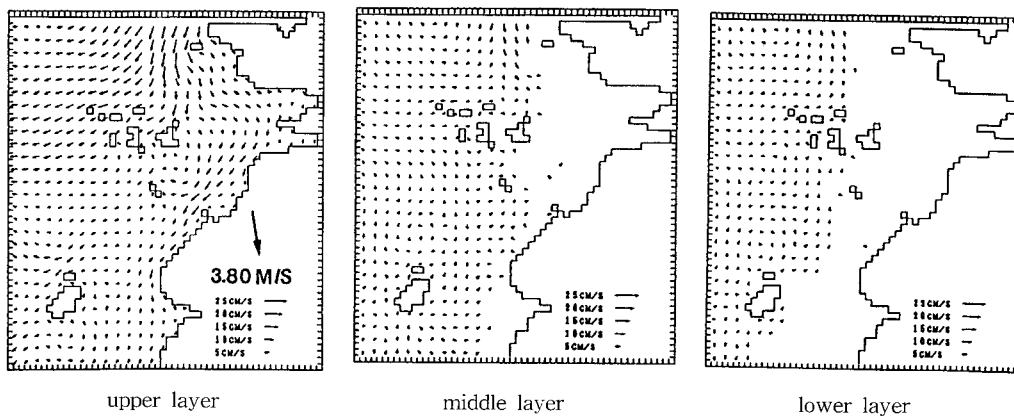
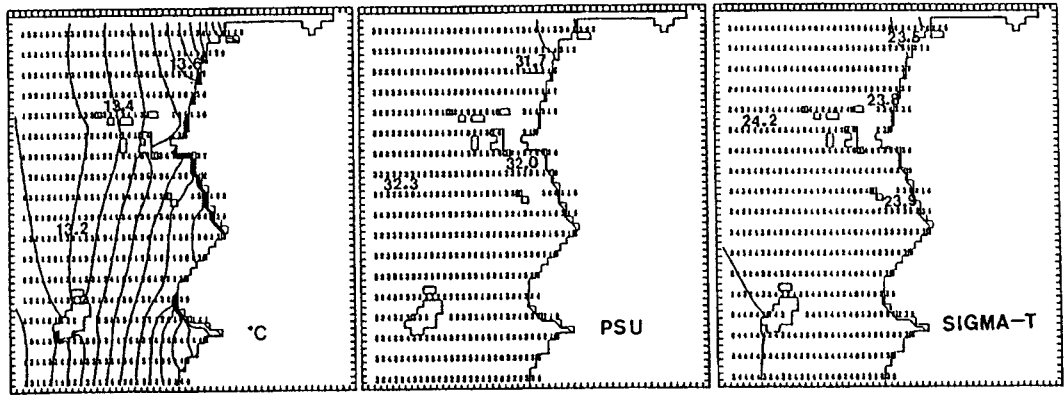


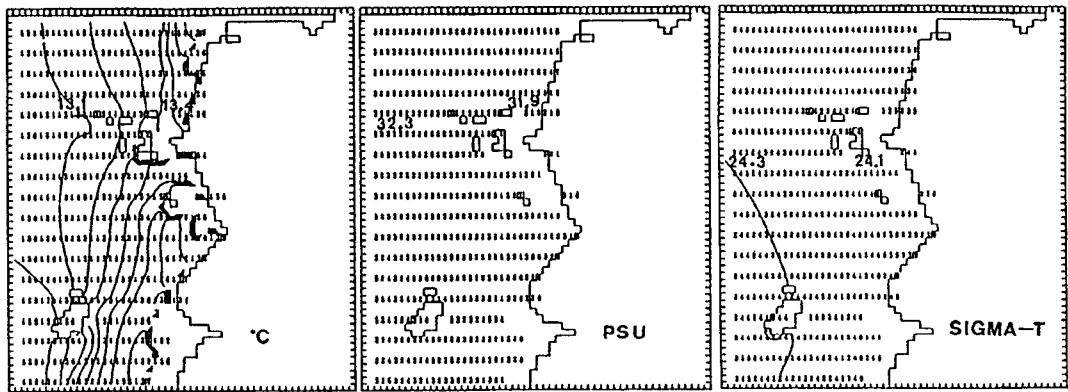
Fig. 4(d). The flow patterns of residual currents at three layers during winter obtained by diagnostic model.



W.T-1
upper layer

S-1
upper layer

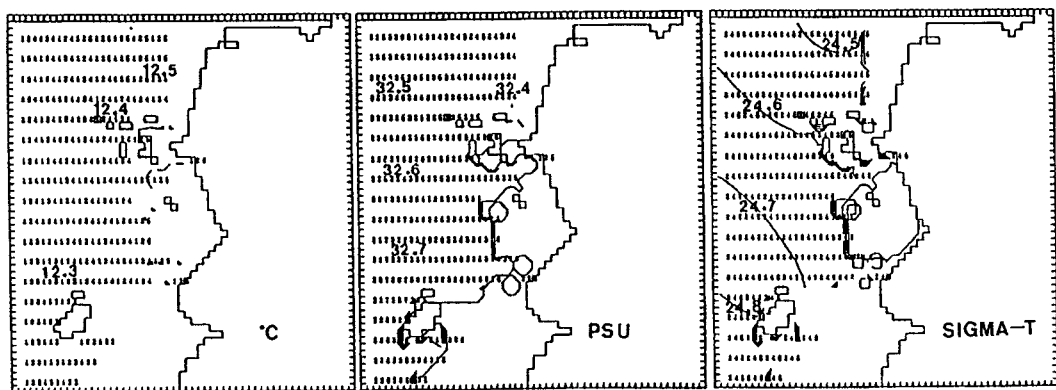
σ_t -1
upper layer



W.T-2
middle layer

S-2
middle layer

σ_t -2
middle layer



W.T-3
lower layer

S-3
lower layer

σ_t -3
lower layer

Fig. 5(a). Distributions of water temperature, salinity and density at three layers in spring obtained by prognostic model.

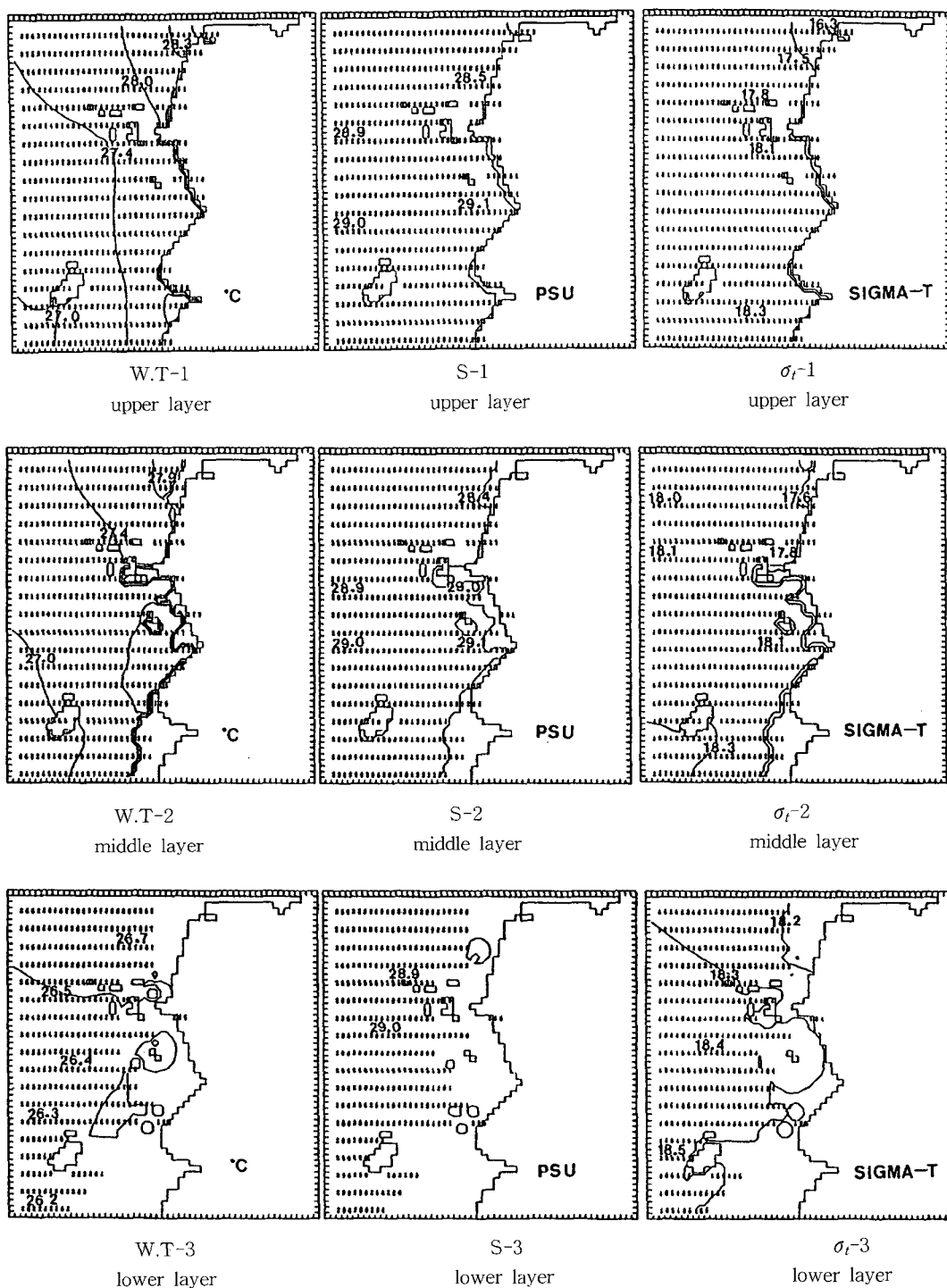


Fig. 5(b). Distributions of water temperature, salinity and density at three layers in summer obtained by prognostic model.

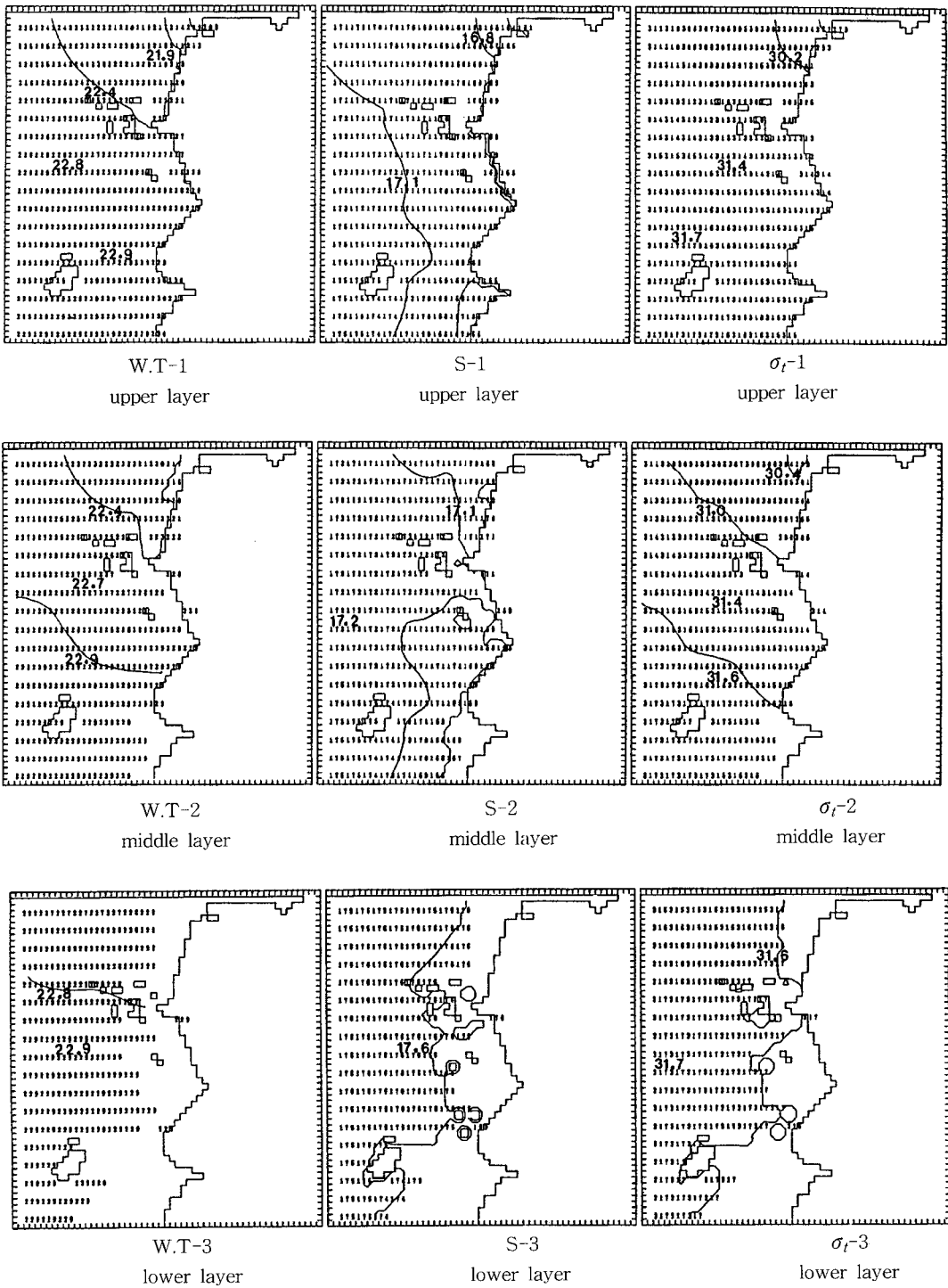


Fig. 5(c). Distributions of water temperature, salinity and density at three layers in autumn obtained by prognostic model.

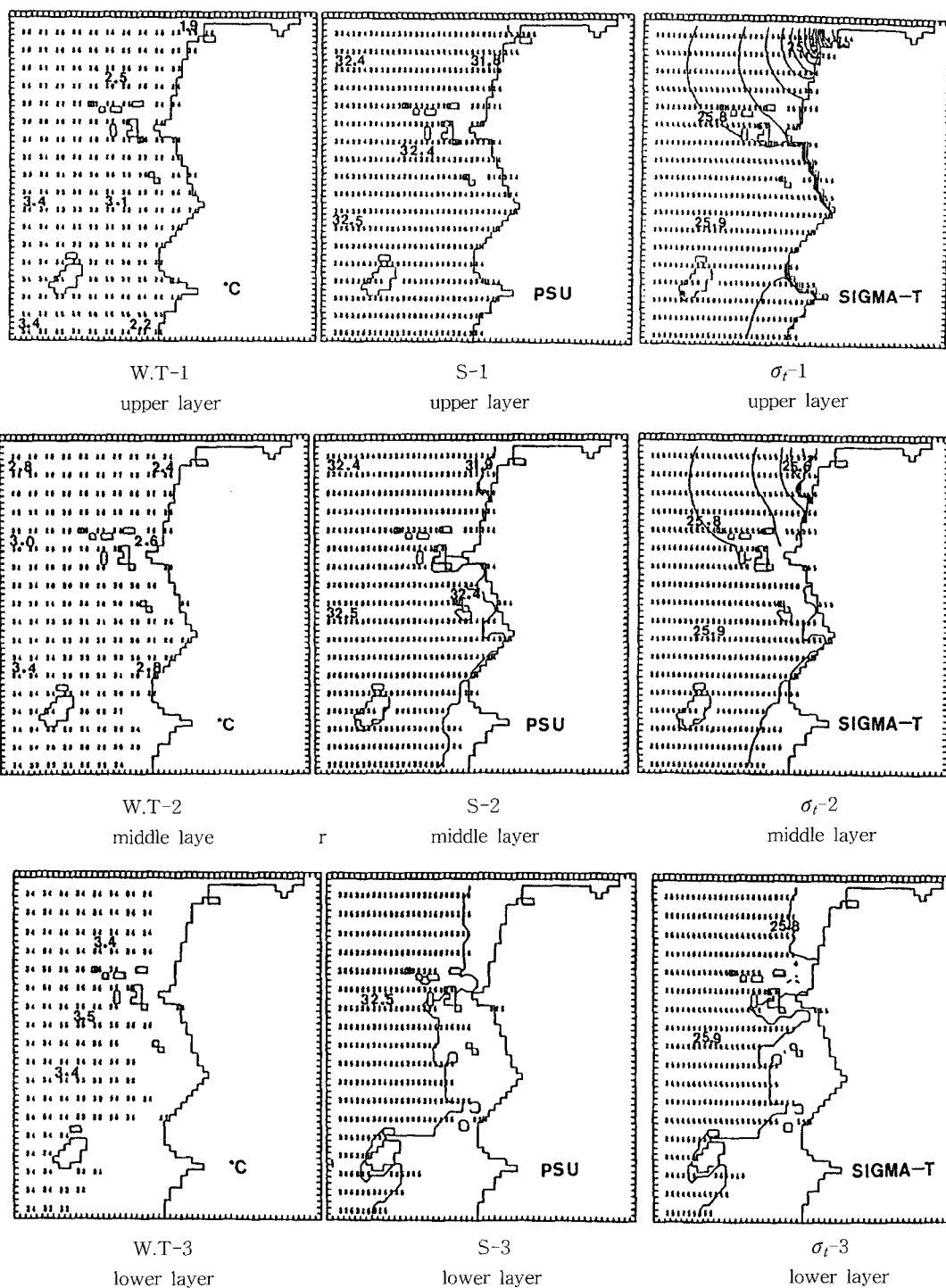


Fig. 5(d). Distributions of water temperature, salinity and density at three layers in winter obtained by prognostic model

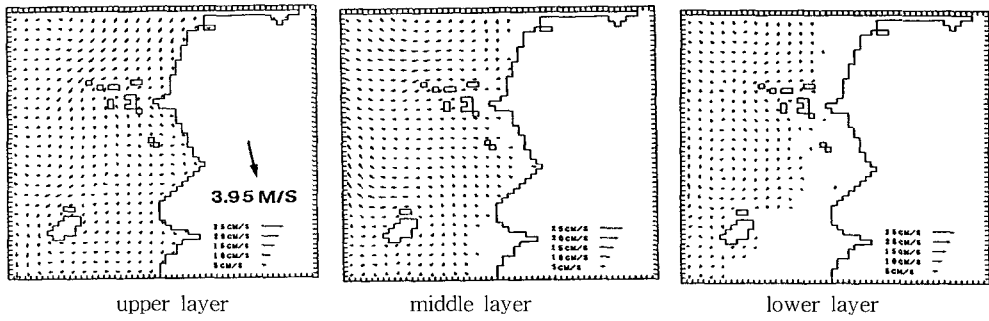


Fig. 6(a). The flow patterns of residual currents at three layers during spring (May, 1992) obtained by prognostic model.

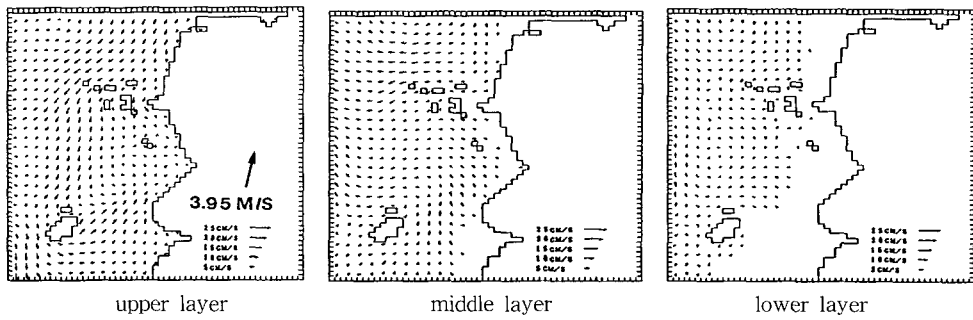


Fig. 6(b). The flow patterns of residual currents at three layers during summer (August, 1992) obtained by prognostic model.

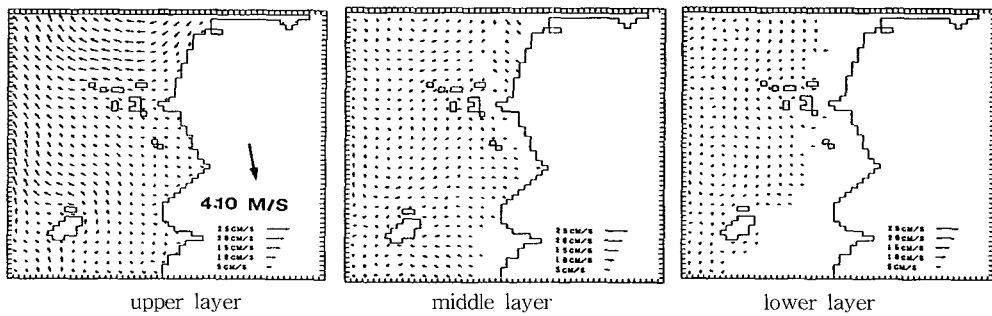


Fig. 6(c). The flow patterns of residual current at three layers during autumn (October, 1992) obtained by prognostic model.

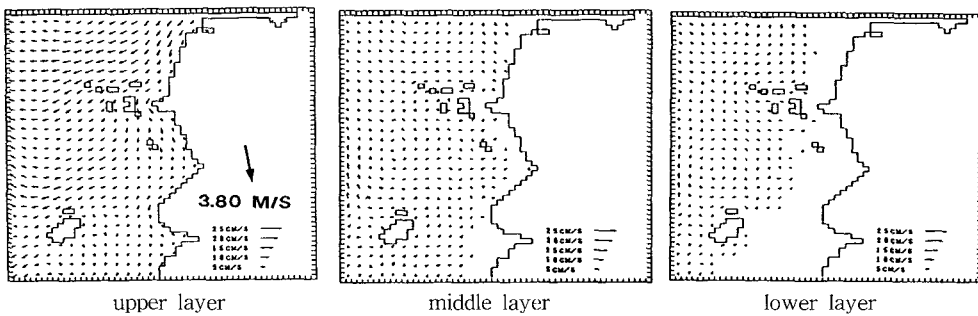


Fig. 6(d). The flow patterns of residual currents at three layers during winter (January, 1993) obtained by prognostic model.

Table 3. Values of water temperature and salinity used as boundary condition in the prognostic model

layer		season	spring		summer		autumn		winter	
			water T.	salinity	water T.	salinity	water T.	salinity	water T.	salinity
northern boundary	upper layer		14.4	31.4	28.8	28.1	15.5	29.9	3.1	31.9
	middle layer		14.4	31.5	28.7	28.5	15.4	30.2	3.1	32.2
	lower layer		14.3	31.7	28.4	29.4	15.3	31.4	3.1	31.9
western boundary	upper layer		12.2	32.6	25.9	29.0	17.9	31.3	3.4	32.1
	middle layer		11.9	33.0	25.8	29.1	17.6	31.6	3.6	32.4
	lower layer		11.9	33.2	26.1	29.2	17.5	31.8	3.6	32.5
southern boundary	upper layer		12.6	31.7	27.7	30.0	16.6	31.1	3.7	31.9
	middle layer		12.5	31.7	27.0	30.3	16.7	31.2	3.7	32.4
	lower layer		12.3	32.1	27.0	32.0	16.8	31.6	3.6	32.5

3.2 방조제 축조후 잔차류 계산

3.2.1 기초방정식

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

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

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

3.2.2 잔차류계산결과

방조제 축조후의 잔차류 계산은 관측에 의하여 얻어진 Table 3과 같은 경계(Open boundary)에서 수온·염분자료, 바람자료, 계산에 의하여 얻어진 조석 잔차류 계산결과를 이용하여 예보모형(Prognostic model)에 의하여 방조제 축조 후 수온·염분과 잔차류를 예측하였다. 방조제 축조후의 수온·염분예측결과는 Fig.5 (a,b,c,d)와 같고 잔차류 계산결과는 Fig.6(a,b,c,d)와 같다.

4. 결 론

잔차류는 해역의 장기적인 물질 분산특성을 예측하기 위하여 대단히 중요하다. 따라서 새만금간척해역을 중심으로 조류운동의 비선형성에 의해서 생기는 조석잔

차류(Tide induced residual current), 바람에 의해 생기는 취송류(Wind driven current), 밀도편차에 의해 생기는 밀도류(Buoyancy driven current)의 세가지를 고려하여 계절별 잔차류를 계산하였다. 잔차류 계산에 사용한 자료는 계절별 수온·염분·바람 관측자료와 계절별 열 수지자료, 만경·동진·금강의 유출량 자료를 이용하여 새만금간척해역을 중심으로 계절별 잔차류를 계산하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 관측자료분석결과 봄의 수온분포는 만경·동진·금강하구에 가까울수록 높아졌으나 염분은 낮았다. 밀도는 수심이 깊어질수록 증가하였다. 여름의 수온분포는 만경·동진·금강의 하구에 가까울수록 높았으나 염분은 만경·동진·금강하구부에서 낮았다. 가을의 수온분포는 만경·동진강하구는 비슷한 분포를 하고 있었다. 염분은 만경·동진·금강하구에 가까울수록 낮았다.
2. 봄에 관측한 수온·염분, 바람, 조석응력을 이용하여 계산한 잔차류의 특성은 상층에서 만경강과 동진강 하구역에 시계방향의 흐름분포를 나타내었다. 그리고 하구특성의 하나인 밀도류에 의한 흐름은 하구쪽 방향으로 아주 작은 분포를 하고 있었다.
3. 계절별 잔차류를 계산하여 본 결과 가을과 겨울의 중층에서 흐름분포는 만경강 하구쪽으로 잔차류를 형성하고 있었다. 따라서 가을과 겨울에는 밀도류 효과가 뚜렷하게 나타나 하구의 흐름특성을 잘 나타내주고 있었다. 간척후의 잔차류형태는 간척전과 유사했으나 크기는 감소하고 있었다.

참 고 문 헌

- 농림수산부 농어촌진흥공사(1994), 새만금지구 수리 실험 및 파랑관측보고, pp.37~91, 319 ~340
- 박승우(1988), 농어촌진흥공사, “해수면 및 해저퇴적층 변화에측연구”, pp.400~523.
- 신문섭(1997), “A study of sedimentation processes in Saemangeum coastal area”, *International Offshore and Polar Engineering Conference*, pp.966~972.
- 신문섭(1999), “경강과 동진강하구의 퇴적과정에 관한 연구”, 한국농공학회학술발표논문집, pp.143~148.
- 신문섭(1999), “새만금간척과 미티게이션”, 농공기술, 농어촌진흥공사, pp.51~75.
- 신문섭(1999), “새만금간척에 따른 미티게이션”, 한국 농공학회학술발표논문집, pp.169~174.
- 신문섭(2000), “A study of sedimentation processes before and after Saemangeum reclamation”, 한국지반환경공학회발표논문집, pp.237~246.
- 신문섭(2000), “Mitigation for the anti-function of development in caused by Saemangeum reclamation in Korea”, 일본수산공학회논문발표집, pp.55~58.
- 신문섭, Yanagi T.(1999), “새만금 간척에 따른 역기능 보완에 관한연구”, 대한토목학회논문집, 제19권Ⅱ-3, pp.317~327.
- 신문섭, Yanagi T., 권철휘(1997), “조석간차류에 의한 새만금간척지구의 미치게이션” 대한토목학회논문집, 제17권Ⅱ-5호, pp.461~468.
- Fujio, Imasato(1991), “Diagnostic calculation for circulation and water mass movement in the deep Pacific”, *J.Geophy.Res.*, 96, C1, pp.246~252.
- Kim, G.R.(1994), “Fishery damage compensation report of Saemangeum development work”, *Coastal Research Center*, Kunsan National University, pp.5~192.
- Project Office of Kumgang estuary Rural Research Corporation of Korea(1995), Operation and Maintenance Report of Kumgang estuary, pp.366~376.
- Sarmiento J.L. and K. Bryan(1982), “A ocean transport model for the North Atlantic”, *J. Geophy .Res.*, 87, pp.394~498.
- Yanagi T., Tsukamoto H., Inoue H. and Okaichi T.(1983), “Numerical Simulation of Drift Cards Dispersion”, Vol 21, pp.218~224.
- Yanagi, T.(1993), “Seasonal variation of circulations in the East China Sea and the Yellow Sea”, *Journal of Oceanography*, 49, pp.503~520.
- Yanagi, T.(1993), “Sedimentation processes in Tokyo Bay”, *Japan, La mer*, 31, pp.91~101
- Yanagi, T.(2000), *Coastal Oceanography*, Terra Scientific Publishing Company Tokyo, pp.7~20.

(논문번호:02-09/접수:2002.1.29/심사완료:2002.07.22)