

새만금간척전 · 후 잔차류의 계절변화에 관한연구

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

신 문 섭 (군산대)

Shin, Moon Seup

Abstract

The land reclamation area of Saemangeum(Kunsan) is located between $126^{\circ}10' E \sim 126^{\circ}50' E$ and $35^{\circ}35' N \sim 36^{\circ}05' N$ at the western coast of the Korean peninsula. There are many small islands including extensive areas of semi-diurnally flooded and dewatered tidal flats. 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. In the past twenty years, land reclamation projects for agricultural purpose or industrial complex have been mostly implemented along the western coast of Korea. Saemangeum coastal area is being constructed the 33km sea dike and 40,100ha reclamation area. The purpose of this study is to find the residual circulations in four seasons after the dike construction by a robust diagnostic and prognostic numerical model. Heat flux at the sea surface in January, May, August, October was adopted on the basis of the daily inflow of solar radiation at the earth surface, assuming an average atmospheric transmission and no clouds, as a function of latitude and time of year(George L.P.,J. E. William,1990). The discharge from the Geum, the Mankyung and the Dongjin rivers was adopted on the basis of experience formula of river flow in January, May, August, October(The M. of C.,Korea, 1993). Water temperature and salinity along the open boundaries are obtained from the results of field observations.

1. 서 론

간척은 한마디로 말해 해면을 육지화하여 간척지와 수자원을 이용하여 국민경제발전에 이바지하는데 있다. 간척사업에는 해면간척, 하구간척, 호소간척이 있으며, 이러한 간척사업은 만조시 수심이 얕은 간척지 개발에서부터 기술이 발달함에 따라 깊은 바다로 진전하여 대규모적이고 다목적의 사업으로 개발되어 가고 있다. 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 施行함으로써 일어날 수 있는 自然과 水産資源의 破壞등 생태계 변화예측을 위해서는 우선 조류가 강한 서해안에서는 조석과 조류에 대한 이해가 기본적으로 필요하다.

바람,하천유량,기상조건등도 연안해역의 유동에 영향을 미치지만 일시적인 형태로서 유동에는 큰 영향을 미치지못한다고 본다. 그러나 조류는 해수유동에 큰 영향을 미친다고 연구되고 있다. 조석잔차류는 조류의 유속에 비하여 작지만 장기적인 관점에서

볼 때 연안해역에서 물질수송에 큰 영향을 미치고 있다. 연안해역에서 임의의 한 점에 있는 볼 입자는 조석 한 주기후에 최초의 위치로 돌아오지 않는다. 이것은 잔차류와 난류의 영향인 것으로 연구되었다. 특히 잔차류는 해수표면에서 바람응력, 평균해수면경사, 수평밀도구배, 조류의 비선형성등에 원인이 있다고 한다. 종래의 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 비선형성에 의해서 생기는 조석잔차류(Tide induced residual current), 바람에 의해 생기는 취송류(Wind driven current), 밀도편차에 의해 생기는 밀도류(Buoyancy driven current, density driven current)의 세가지가 있다. 우리나라 서해안 해역에서 유동은 조류·조석잔차류·밀도류가 탁월하며 서해안 연안 해역의 수온·염분 분포는 기본적으로 이러한 유동장애의 하여 지배되고 있다. 따라서 연안 해역의 물질의 분산, 어류의 난·치어등과 같은 생물의 이동·분산을 예측하기 위하여 새만금간척전·후 잔차류의 계절적 변화를 알아보았다.

2. 수치 Model

2.1 조류·조석의 지배방정식

새만금간척지구 연안 해역의 조류·조석계산을 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 $z = \eta$ 는 해저 및 해면으로 한다. 계산의 편리를 위하여 몇 가지 가정을 설정하면 유체는 점성, 비압축성이고 압력은 정수압분포를 한다. 연직방향의 흐름 $\left(\frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial x}, \frac{\partial w}{\partial y}, \frac{\partial w}{\partial z} \right)$ 은 무시한다. 새만금 간척지구해역의 조석, 조류를 계산하기 위하여 이용한 기본 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\tau_x}{h} \quad (1)$$

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

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

여기서, u , v 는 x , y 방향의 유속, $f(8.55 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1})$ 는 Coriolis 계수, $g(980 \text{ cm sec}^{-2})$ 는 중력 가속도, η 는 평균 수면으로부터 해면상승량, h 는 수심, $A_h(10^4 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1})$ 는 수평와동점성계수, τ_x , $\tau_y(2.6 \times 10^{-3})$ 는 해저마찰을 나타내고 있다. 계산 결과로부터 얻어진 새만금간척전·후의 M_2 분조의 진폭과 위상 분포, 조석잔차류는 신문섭 등(1997)에 기술되어 있다. 논문의 결과분석에서 M_2 분조의 진폭과 위상 분포는 관측 결과로부터 얻어진 고군산의 M_2 분조의 진폭($H: \text{cm}$)과 위상($K: ^\circ$)은 각각 $204 \text{ cm}, 75^\circ$ 였으며, 계산 결과로부터 얻어진 고군산의 M_2 분조의 진폭($H: \text{cm}$)과 위상($K: ^\circ$)은 각각 $204 \text{ cm}, 70^\circ$ 로 계산치는 관측치를 잘 재현하였다고 보았다. 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.

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.1로 나타내었다.

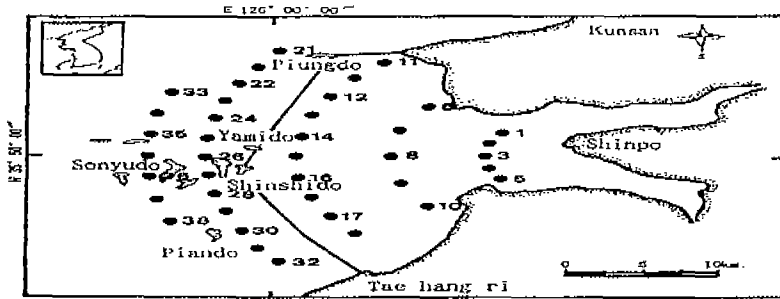


Fig.1 Observation stations of water temperature and salinity.

수온·염분관측데이터는 쌍곡선함수를 이용한 개관 보관을 하였으며, 보간식은(4)식과 같다.

$$T(i, j) = \sum_{k=1}^n (T^*/L_k) / (1/L_k), \quad S(i, j) = \sum_{k=1}^n (S^*/L_k) / (1/L_k) \quad (4)$$

여기서, $T(i, j)$, $S(i, j)$: 보관된 격자점에서 수온·염분값, T^* , S^* : 수온·염분의 관측치, L_k : 구하려고 하는 격자점과 관측점과의 거리이다.

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

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - f v = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + S_x \quad (5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + f v = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + S_y \quad (6)$$

$$p = \rho_o g \eta - \rho_o \int_z^0 B dz, \quad B = \frac{\rho_o - \rho}{\rho_o} g \quad (7)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (8)$$

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 조석응력의 x, y 성분, B 는 부력, η 는 평균해면에서 수위변화, g 는 중력가속도이다. 그리고 잔차류계산을 위한 수온·염분 이류확산방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \cdot \nabla T + w \frac{\partial T}{\partial z} = K_h \nabla^2 T + K_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \gamma (T^* - T) \quad (9)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \cdot \nabla S + w \frac{\partial S}{\partial z} = K_h \nabla^2 S + K_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} + \gamma (S^* - S) \quad (10)$$

여기서, T_s 는 신문섭 등(1997)에 의하여 계산된 조석응력, T^* , S^* 는 수온·염분의 관측치, K_h , K_v 는 수평·연직와동확산계수, γ 는 Nothing계수로서 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. 해수 밀도는 수온·염분의 관측치로부터 Knudsen의 식으로부터 구했다.

$$S_x = -\left(u' \frac{\partial u'}{\partial x} + v' \frac{\partial u'}{\partial y} \right) \quad (11)$$

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

여기서, “—”는 1조석 주기평균, u' , v' 는 M_2 조류의 조석주기 변동성분, 바람은 군산 기상대 20년 자료를 분석한 평균 풍속 4.10 m sec^{-1} , 풍향 WNW, 수온·염분 자료는 군산대학 해양개발연구소에서 1992년 여름부터 1993년 봄까지 김중래(1994) 등에 의하여 관측한 관측치를 이용하였으며 Table. 1과 같다.

Table 1. 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	100	300	100	-200	3.95	3.95	4.10	3.80	WNW	WSW	WNW	WNW
Mankyung r.	23.0	90.0	17.0	8.0												
Dongjin r.	20.0	74.0	17.0	8.0												

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

3.1.2.1 기초방정식

예보모형(Prognostic model)에 의하여 방조제 축조후 잔차류를 계산하였다. 잔차류 계산을 위한 운동방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla_h)u + w \frac{\partial u}{\partial z} + f \times u = \quad (12)$$

$$- \frac{1}{\rho_0} \nabla_h p + A_h \nabla_h^2 u + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + T_s$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g \quad (13)$$

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

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

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

여기서 ρ_0 는 연직평균밀도, T_s 는 조석잔차류, A_h 는 수평와동점성계수, K_h 는 수평 확산계수, A_v 는 수직와동점성계수, K_v 는 수직확산계수, T 는 수온, S 는 염분이다.

4. 계산방법

간척전 잔차류를 계산하기 위하여 운동방정식(5,6)과 연속방정식(8), 수온·염분확산방정식(9)과(10)을 차분화하여 계산하였으며, 수평방향격자는 1.0km×1.0km의 정방형 격자로 분할하고, 연직방향으로는 상층(0~-5m), 중층(-5~-10m), 하층(-10m~해저면)으로 분할하여 3층 Level 모형으로 하였다.간척후 잔차류를 계산하기 위하여 운동방정식(12)과 연속방정식(14), 수온·염분확산방정식(15)과(16)을 차분화하여 계산하였다. 차분방법은 Dufort-Frankel법을 이용한 leap-frog scheme를 사용하였다. 첫step는 Euler-backward scheme으로 계산을 시작하여 8Step 마다 Euler-backward scheme를 삽입하여 leap-frog scheme에 의한 주기 $2\Delta t$ 의 noise를 제거하면서 계산하였다(Oonishi,1978).

5. 계산결과분석

해면에서 열수지(Heat flux), 바람,수온·염분자료를 이용하여 계산한 간척전·후 잔차류의 1992년봄부터 1993년겨울까지 계절별 계산결과는 Fig.2,3,4,5(a,b)와 같다.

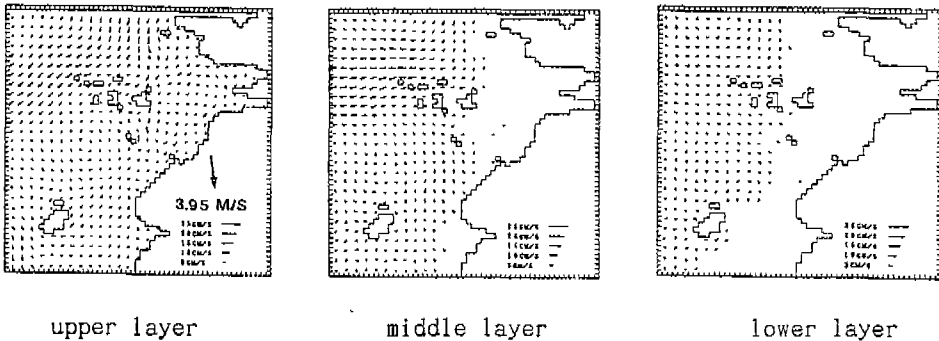


Fig.2(a) The flow patterns of residual currents at three layers during spring (May,1992) obtained by diagnostic model.

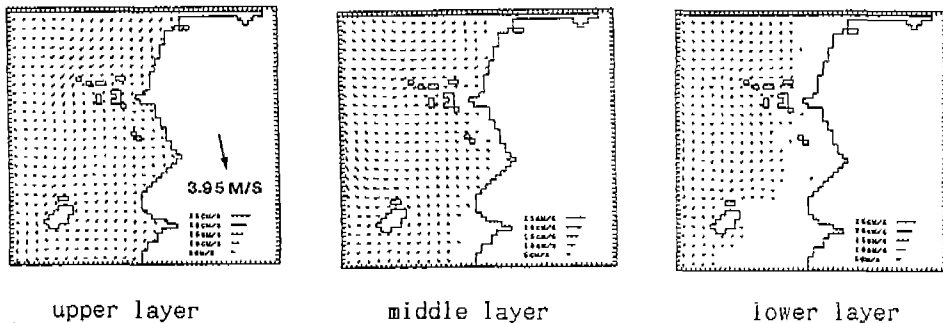
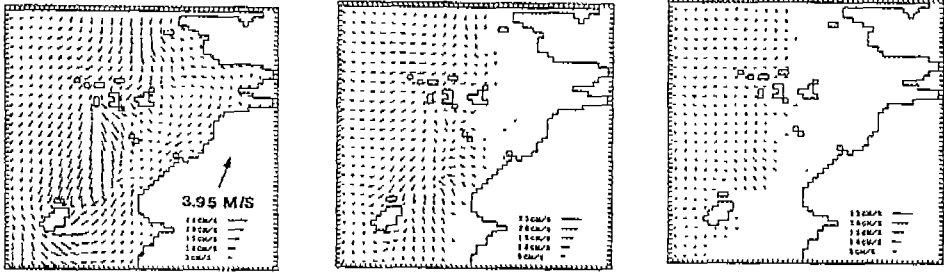
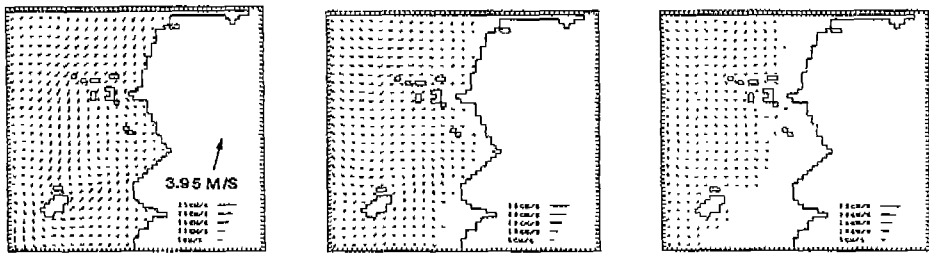


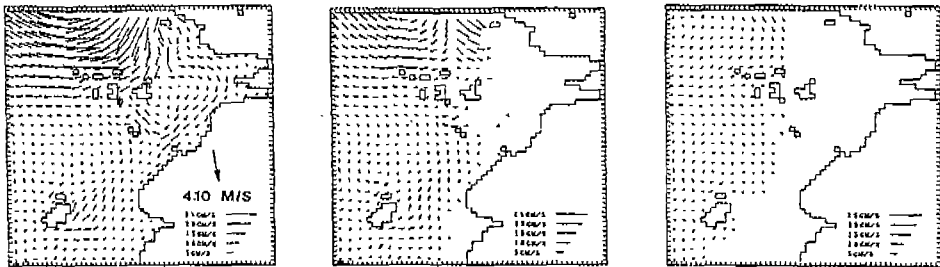
Fig.2(b) The flow patterns of residual currents at three layers during spring (May,1992) obtained by prognostic model.



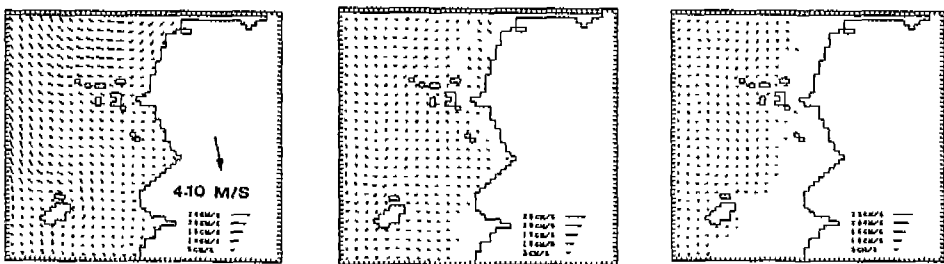
upper layer middle layer lower layer
 Fig.3(a) The flow patterns of residual currents at three layers during summer (August, 1992) obtained by diagnostic model.



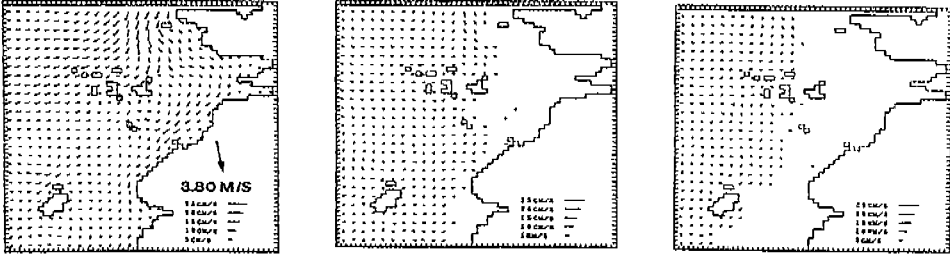
upper layer middle layer lower layer
 Fig.3(b) The flow patterns of residual currents at three layers during summer (August, 1992) obtained by prognostic model.



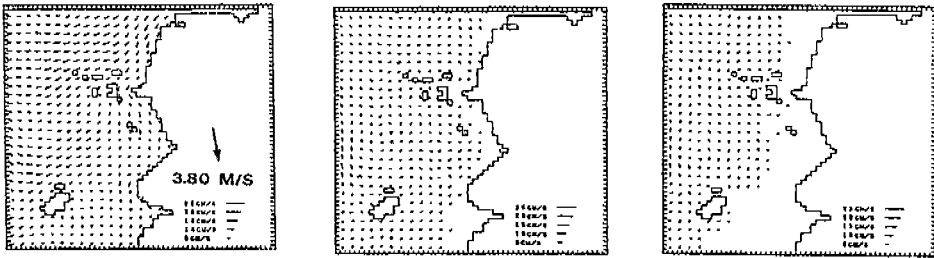
upper layer middle layer lower layer
 Fig.4(a) The flow patterns of residual currents at three layers during autumn (October, 1992) obtained by diagnostic model.



upper layer middle layer lower layer
 Fig.4(b) The flow patterns of residual current at three layers during autumn (October, 1992) obtained by prognostic model.



upper layer middle layer lower layer
 Fig.5(a) The flow patterns of residual currents at three layers during winter(January, 1993) obtained by diagnostic model.



upper layer middle layer lower layer
 Fig.5(b) The flow patterns of residual currents at three layers during winter(January, 1993) obtained by prognostic model.

6. 결 론

잔차류는 해역의 장기적인 물질 분산특성을 예측하기 위하여 대단히 중요하다. 따라서 새만금 간척해역을 중심으로 조류운동의 비선형성에 의해서 생기는 조석잔차류(Tide induced residual current),바람에 의해 생기는 취송류(Wind driven current),밀도편차에 의해 생기는 밀도류(Buoyancy driven current,density driven current)의 세가지를 고려하여 계절별 잔차류를 계산하였다. 잔차류계산에 사용한 자료는 계절별 수온·염분·바람 관측자료와 계절별 열수지자료,만경·동진·금강의 유출량자료를 이용하여 새만금간척해역을 중심으로 계절별 잔차류를 계산하여 본결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 관측자료분석결과 봄의 수온분포는 만경·동진·금강하구에 가까울수록 높아졌으나 염분은 낮았다. 밀도는 수심깊어질수록 증가하였다. 여름의 수온분포는 만경·동진·금강하구중 금강하구에 가까울수록 높았으나 염분은 만경·동진·금강하구중 금강하구부분에서 낮았다. 가을의 수온분포는 만경·동진강하구는 비슷한분포를 하고 있었다. 염분은 만경·동진·금강하구중 금강하구에 가까울수록 낮았다.이것은 금강하구의 유출량이 다른 계절에 비하여 가을에 많았기 때문이라고 판단된다.
2. 계절별 잔차류를 계산하여 본결과 가을과 겨울의 중층에서 흐름분포는 만경강하구쪽으로 잔차류를 형성하고 있었다. 따라서 가을과 겨울에는 밀도류 효과가 뚜렷하게 나타나 하구의 흐름특성을 잘나타내주고 있었다. 간척후의 잔차류형태는 간척전과 유사했으나 크기는 감소하고 있었다.

References

1.申文燮,Yanagi T,權哲輝,(1997),"조석잔차류에 의한 새만금간척지구의 미치게이션"대한토목학회논문집,제17권Ⅱ-5호,pp.461-468.