

3차원 진단모델을 이용한 진해만의 수치유동실험

배상완 · 조규대* · 김동선** · 조광우**

(주)우대기술단, *부경대학교 해양학과, **부경대학교 해양산업개발연구소

(1997년 8월 30일 접수)

Circulation Experiment of the Chinhae Bay using a Three-Dimensional Diagnostic Numerical Model

San-Wan BAE, Kyu-Dae CHO*, Dong-Sun KIM** and Kwang-Woo CHO**

Woodai Engineering Co., *Dept of Oceanography, **Research Center for Ocean Industrial Development, Pukyong National University

(Received August, 30, 1997)

Abstract

We calculated the residual current forced by buoyancy, wind stress, and tidal stress in the Chinhae Bay using a three-dimensional diagnostic model. The calculated current was also compared with the observation. The flow directs outward from the central area of the Bay in the upper layer, and also forms eddy-shape structure in the upper and middle layers. The flow of bottom layer shows an opposite pattern compared to those of top and middle layers. The maximum speed was 6.05 cm/sec (September) and 3.49 cm/sec (November) in the upper layer, and 4.39 cm/sec on both month in the middle layer. The Kinetic energy of November (8.39×10^3 W) was larger than that of September (1.24×10^3 W), mainly resulting from larger buoyancy effect in September. In spite of the roughness of the grid size(1 km) and wind date, the calculated flow shows correlation($r=0.71$) with the observation. We expect that the correlation be increased by increased by adopting the fine grid and the variable coefficients of diffusion and viscosity.

1. 서 론

연안해역의 물질수송은 왕복류인 조류보다는 미약하지만 일정한 방향으로 흐르는 잔차류(residual current)의 역할이 큰것으로 알려져 있다(Yanagi, 1974).

연안해역의 잔차류(residual current)의 주성분은 수평적인 밀도차로 인한 압력경도력에 의해 생성되는 밀도류(buoyancy-driven current,

density-driven current), 바람에 의해 생성된 취송류(wind-driven current), 조류운동의 비선형성에 의해 생성되는 조석잔차류(tide-induced residual current)의 3가지가 있다.

柳·高橋(1988)는 하계 일본 오오사카만의 남동부에서 하천유량과 일사량의 증대에 기인한 밀도차로 북동방향의 잔차류(residual current)가 뚜렷하게 나타나며, 바람에 의한 취송류가 잔차류 변동에 기여하고 있음을 보고 하였다. 또한 이 취

송류에 의한 순환이 조석잔차류, 밀도류에 의한 순환과 혼합되어 잔차류의 계절변동을 하고 있는 것이 밝혀졌다.

본 연구해역인 진해만은 조류의 반일주조성분이 우세한 지역이며(Table 1), 지금까지 이지역에서의 물질수송에 대한 연구는 조석잔차류(tide-induced residual current)의 영향만 고려하여 계산되어진 것이 대부분이다. 그러나, 이 지역은 육지로부터 담수의 유입이 많이 이루어져 염분의 차가 크게 나타나고, 미약한 해수유동과 얇은 수심으로 인해 기상조건등에 민감한 해역이므로 밀도류와 취송류가 만내의 해수유동에 매우 중요한 역할을 할 것으로 예상된다. 따라서 장기적인 물질수송의 보다 정확히 규명하기 위해서는 조류의 역할 뿐만 아니라 밀도류와 취송류의 효과를 고려한 3차원 수치실험을 이용한 유동해석이 필요하다.

Table 1. Harmonic components of tide at Chinhae Bay (KORDI, 1983).

Station	Constituent	Period (hour)	Amplitude (cm)	Phase (deg)	Form number $\left(\frac{K_1+O_1}{M_2+S_2}\right)$
T ₀	M ₂	12.42	59.2	274.2	0.18
	S ₂	12.00	22.6	286.7	
	K ₁	23.93	9.9	163.4	
	O ₁	25.82	4.9	130.9	
T ₁	M ₂	12.24	68.2	253.4	0.11
	S ₂	12.00	40.2	302.8	
	K ₁	23.25	7.5	176.9	
	O ₁	25.82	4.6	130.5	
T ₂	M ₂	12.24	57.5	244.7	0.11
	S ₂	12.00	34.8	290.4	
	K ₁	23.25	5.8	161.9	
	O ₁	25.82	3.9	121.9	
T ₃	M ₂	12.24	55.6	245.9	0.11
	S ₂	12.00	33.5	291.3	
	K ₁	23.25	6.0	167.8	
	O ₁	25.82	3.7	117.5	
T ₄	M ₂	12.24	53.8	234.7	0.12
	S ₂	12.00	32.4	291.3	
	K ₁	23.25	6.1	169.8	
	O ₁	25.82	3.7	126.6	
T ₅	M ₂	12.24	54.4	244.5	0.12
	S ₂	12.00	32.4	291.9	
	K ₁	23.25	6.4	168.9	
	O ₁	25.82	4.1	125.9	

지금까지 진해만의 적조 발생 및 오염에 대한 원인 규명 및 대책 수립에 대한 여러 분야에 걸쳐 많은 연구(해양연구소, 1980, 1981, 1983)가 행해져 왔으나, 밀도기울기와 바람의 효과 그리고 조석을 모두 고려한 수치모델은 찾아보기 어렵다. 따라서 우리는 진해만에서 잔차류(residual current)을 계산하기 위하여 조석과 바람 및 부력의 효과를 고려한 3차원 Robust 진단 모델을 이용하였다. Robust 진단모델을 이용한 이전의 연구로는 Fujio and Imasato(1991) 와 Yanagi and Takahashi(1993), Seung and Yoon(1995), Kim et al.(1996)등의 연구가 있었다.

본 연구의 목적은 수온·염분의 분포에 의한 밀도기울기와 바람 및 조석잔차류의 효과를 고려한 3차원의 Robust 해수 유동모델을 이용하여 잔차류(residual current)를 계산하는데 있다.

II. 현장관측

수온·염분은 한국해양연구소가 1980년 9월27일~30일과 11월 3일~6일 동안 관측한 자료를 이용하였다(Fig. 1). 계산격자점에서 수온과 염분은 Wadachi(1987)의 객관보간법($C = \sum(C' L' / \sum(L'))$); C는 격자점에서의 값, C'는 관측점에서의 값, L은 관측점과의 거리)을 이용하여 구하였으며, 이 수온과 염분을 사용하여 밀도(σ_t)를 구하였다.

Fig. 2 와 Fig. 3은 9월과 11월의 수온, 염분 및 밀도(σ_t)의 수평분포도이다. 수온의 분포를 보면 연구해역의 동쪽방면이 저수온의 분포를 보이고 있으며 서쪽으로 갈수록 고수온의 분포양상을 나타내고 있다. 또한 거제도 동쪽의 해역이 다른 해역에 비하여 고수온의 분포를 보이고 있는 특징을 나타내고 있으며, 9월과 11월의 수온의 차는 9월이 약 5~6°C정도 높게 분포하고 있다. 염분의 분포는 해역의 바깥쪽인 가덕수로 부근에서 고염분을 나타내고 있으며 가덕수로에서 서쪽으로 갈수록 저염분의 분포를 보이고 있다. 9월과 11월의 지역적인 염분의 차를 보면 가덕수로쪽이 약 2.5%정도, 해역의 안쪽인 원문만에서 약 3.1%정도의 차이를 보이면서 9월이 11월에 비해 저염분의 분

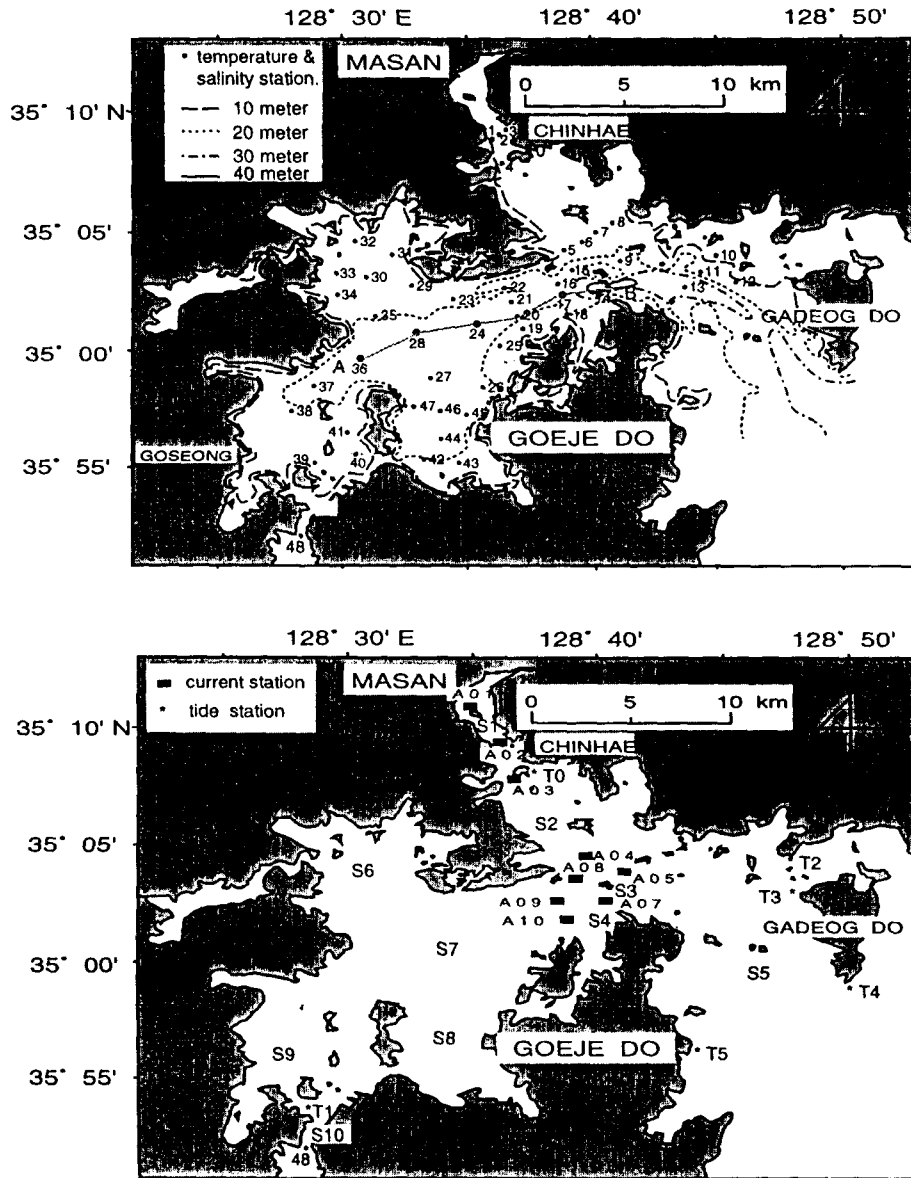


Fig. 1. Locations of observation sites of temperature and salinity with bathymetry (top), and of tide and current (bottom)(S1: Masan Bay, S2: Chinhae Harbour & Haengam Bay, S3: Chamdo, S4: Kwangjimal, S5: Gadeog Sudo, S6: Jindong Bay, S7: The central part in Chinhae Bay, S8: Gohyunseong Bay, S9: Weonmmun Bay, S10: Kyunnaeryang Channel).

포를 나타내고 있다. 밀도(σ_t)의 분포는 가덕 수로부근이 고밀도의 분포를 보이며 원문만에서

는 저밀도의 분포를 나타내고 있으며, 9월에 비교하여 11월에 고밀도 현상이 뚜렷하게 나타났다.

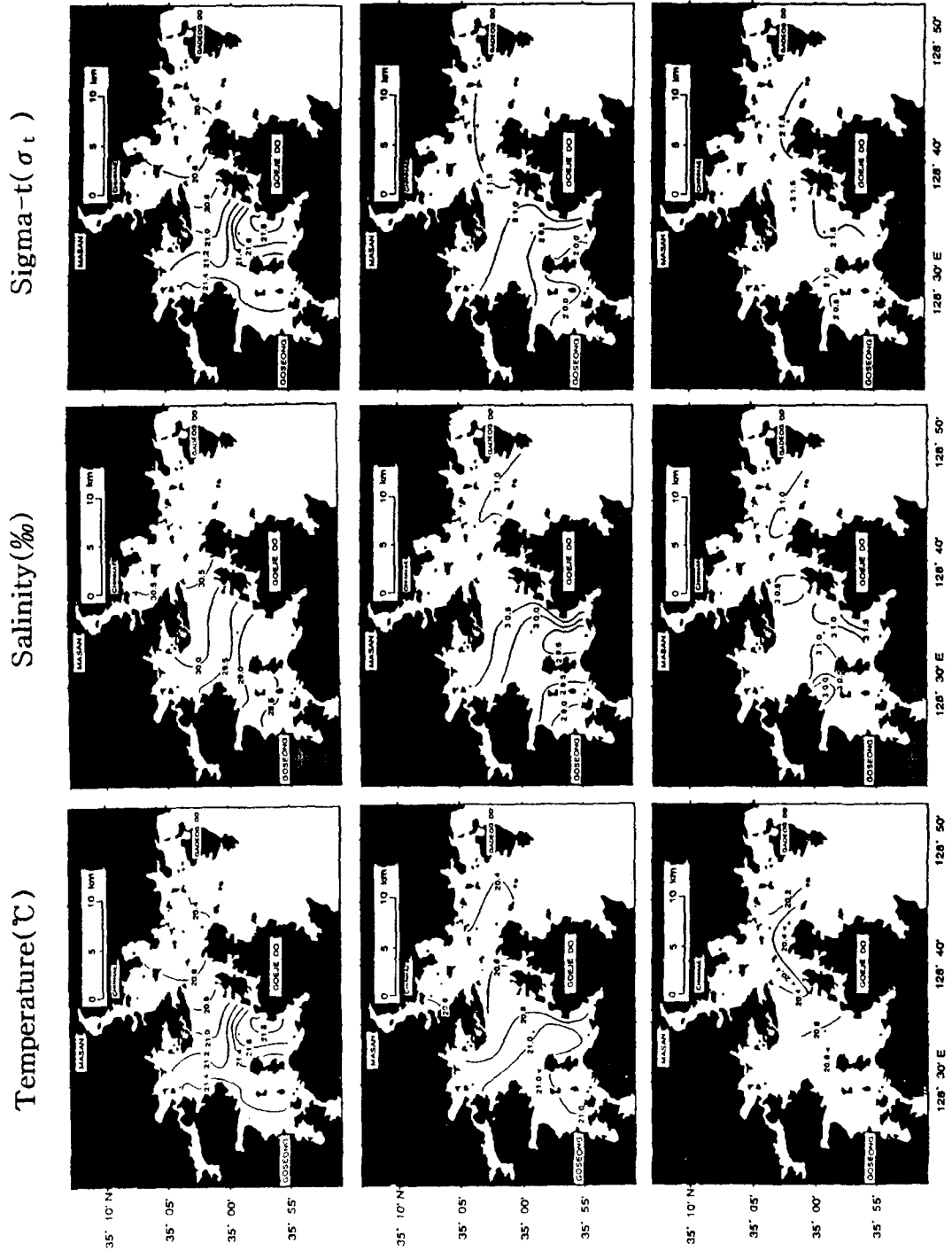


Fig. 2. Horizontal distributions of temperature, salinity and sigma-t in the upper layer(top), middle layer(middle) and lower layer(bottom) of the September of 1980.

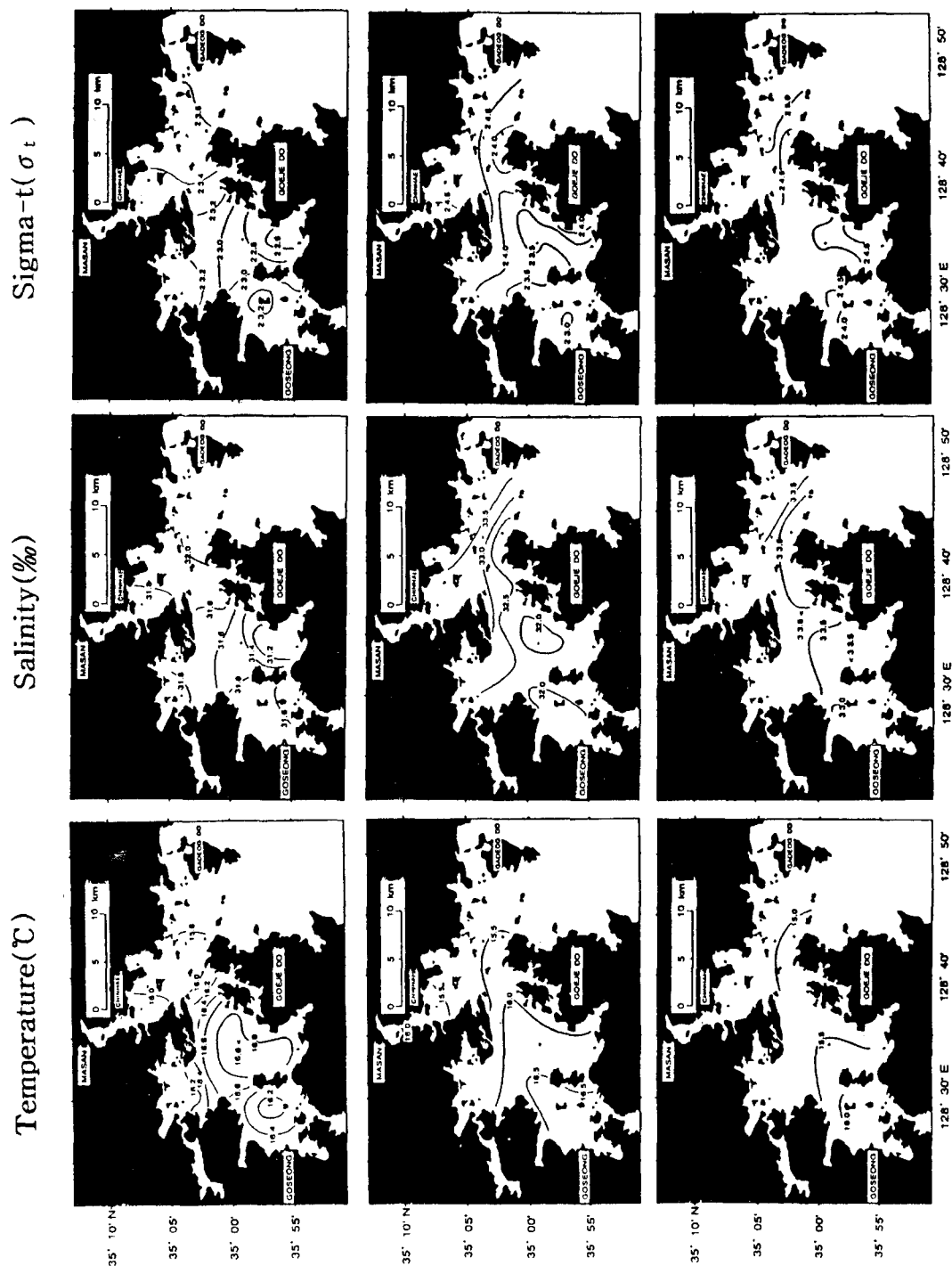


Fig. 3. Horizontal distributions of temperature, salinity and sigma-t in the upper layer(top), middle layer(middle) and lower layer(bottom) of the November of 1980.

3차원 진단모델을 이용한 진해만의 수치유동실험

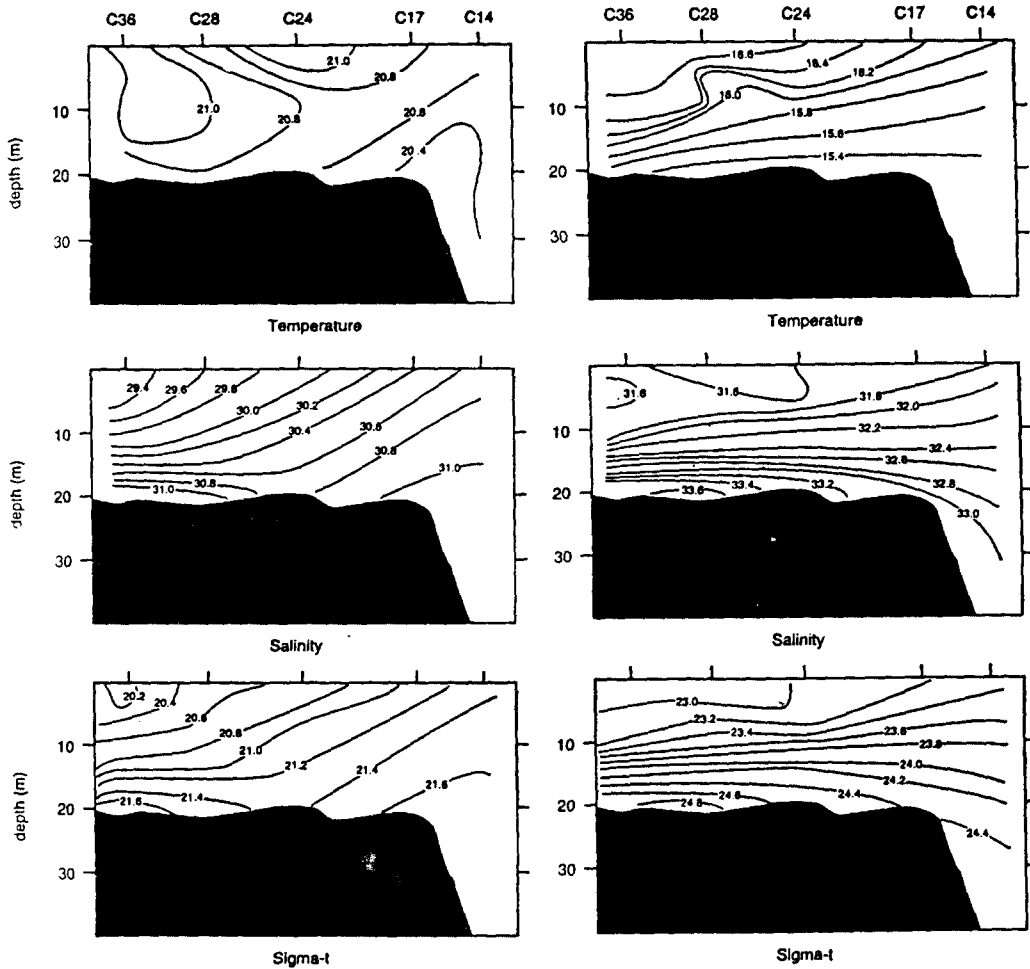


Fig. 4. Vertical distributions of temperature (top), salinity (middle), and sigma-t (bottom) in the September (left column) and November (right column) of 1980. The cross-section is shown in Fig. 1 as A-B line

Fig.4는 진해만의 중앙부 A-B Line(Fig.1)의 수온, 염분 및 밀도(sigma-t)의 연직분포도이다. 저온고염수가 만입구에 걸쳐있고 만의 안쪽으로 갈수록 고온저염수가 있으며 내만의 저층에 고밀도가 있다.

Ⅲ. 수치계산

수치계산의 수평적인 격자크기는 $\Delta x = \Delta y = 1$ km 로 하고 연직적으로 상층을 0-5m, 중층을 5-15m, 저층을 15m-bottom까지 3층으로 구분하

여 각층의 유동을 계산하였다. 해수는 비압축 점성 유체라는 가정하에 전통적인 근사, 정수압근사, Boussinesq가정 등을 적용한 운동 방정식(1~2), 정수압 방정식(3), 연속 방정식(4), 열염 이류 확산 방정식(5~6) 등을 사용하여 잔차류를 계산하였다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}) - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + A_h (\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}) + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + F_x \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z}) + fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + A_h (\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}) + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + F_v \quad (2)$$

$$P = \rho_0 g \eta + \int_z^0 \rho g dz \quad (3)$$

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

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z}) = K_h (\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}) + K_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \gamma (T^* - T) \quad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + (u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z}) = K_h (\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2}) + K_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} + \gamma (S^* - S) \quad (5)$$

여기서 동쪽을 x , 북쪽을 y , 해면을 기준으로 연직 상방향을 z 방향으로 한 오른손 직교 좌표계를 사용하였다. u, v, w 는 각각 x, y, z 방향의 유속 성분, f 는 Coriolis parameter ($f = 2 \omega \sin \phi$; ω 는 지구 자전 각속도, ϕ 는 위도 35°), g 는 중력 가속도 ($= 980 \text{ cm/s}^2$), t 는 시간, ρ_0 는 연직평균밀도, ρ 는 현장 밀도, P 는 압력, $A_h (= 10^6 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1})$, $A_v (= 10 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1})$ 는 수평, 연직 난류점성 계수이고, $K_h (= 5 \times 10^5 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1})$, $K_v (= 0.5 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1})$ 는 수평, 연직 난류확산 계수이다. (1) 과 (2)식에서 조류의 비선형성분에 의해 발생하는 조석응력(tidal stress)을 아래와 같은 식(Yanagi and Yamamoto, 1993)을 이용하여 계산하였다.

$$F_x = -(\overline{u^* \frac{\partial u^*}{\partial x}} + \overline{v^* \frac{\partial u^*}{\partial y}}) \quad (7)$$

$$F_y = -(\overline{u^* \frac{\partial v^*}{\partial x}} + \overline{v^* \frac{\partial v^*}{\partial y}}) \quad (8)$$

F_x, F_y 는 x, y 방향의 조석응력(tidal stress)을 의미하며, u^*, v^* 는 각각 M_2 조류의 x, y 성분을 나타내고 있으며, (7)과 (8)식에서 (—)는 1조석 주기의 평균을 의미한다.

(5)와 (6)식의 마지막항은 γ 항이라고 하는데, 이것은 Sarmiento 와 Bryan(1982)에 의하여 도입된 항으로써 관측한 수온, 염분(T^*, S^*)과 계산한 수온, 염분(T, S)값과의 편차를 줄이기 위해서 도입한 항이다. 즉, γ 가 크면 관측치에 제한되어 순

수한 진단 모델이 되고, γ 가 작을 경우 관측치와는 독립된 결과를 가져오는 예보모델이 된다(Fujio and Imasato, 1991). 본 계산에서는 수온과 염분의 관측치에 의한 유동계산이므로 진단모델로써 γ ($0.5 / \Delta_t$, Δ_t : 계산의 시간간격) 값을 적용하였다. 계산의 시간간격 Δ_t 는 C-F-L조건에 의해 50초로 하였으며, 수온과 염분에 의한 밀도 분포에 따라 흐름이 생기도록 하였다. 본 모델에서는 해면의 승강에 대해서 semi-implicit scheme을 적용하였다(Backhaus, 1983).

경계 조건으로는 흐름이 경계를 가로지르지 못하도록 하였으며, 경계면에서 경계에 평행한 성분은 no slip condition을 적용하였고, open boundary에서는 수온과 염분의 변화가 없도록 하였다. 해저 면에서의 경계 조건은 해저면의 마찰을 고려하여 다음과 같이 하였다.

$$A_u \frac{\partial u}{\partial z} = C_b u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (9)$$

$$A_v \frac{\partial v}{\partial z} = C_b v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (10)$$

여기서 C_b 은 해저 마찰 계수($= 0.0026$)를 나타낸다. 해수면에서의 경계 조건은 해수면위로 향한 흐름을 없게하였고, 해수면에서의 압력은 동일하게 주고, 해수면에서의 바람응력은 아래식(11,12)을 이용하였다. 바람은 충무지역의 바람을 이용하여 9월에는 동서방향성분 및 남북방향성분이 각각 27.6 cm/sec, 14.0 cm/sec, 11월에는 각각 46.9 cm/sec, 85.7 cm/sec 였으나, 해상풍이 육상풍보다 1.5-2배 정도 강하기 때문에 여기서는 2배로 일괄 적용하였다(Yanagi, 1980).

$$A_u \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\rho_a}{\rho_0} C_D W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (11)$$

$$A_v \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\rho_a}{\rho_0} C_D W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (12)$$

여기서 ρ_a 는 해수의 밀도, ρ_0 는 공기의 밀도 ($= 0.0012 \text{ g/cm}^3$), W 는 풍속이며, C_D 는 해면 마찰 계수($= 0.0013$)로 本多, 光易(1980) 실험식(13)으로 구하였다.

$$C_D = (1.29 - 0.024 \times W) \times 10^{-3}, W < 8 \text{ m/s} \quad (13)$$

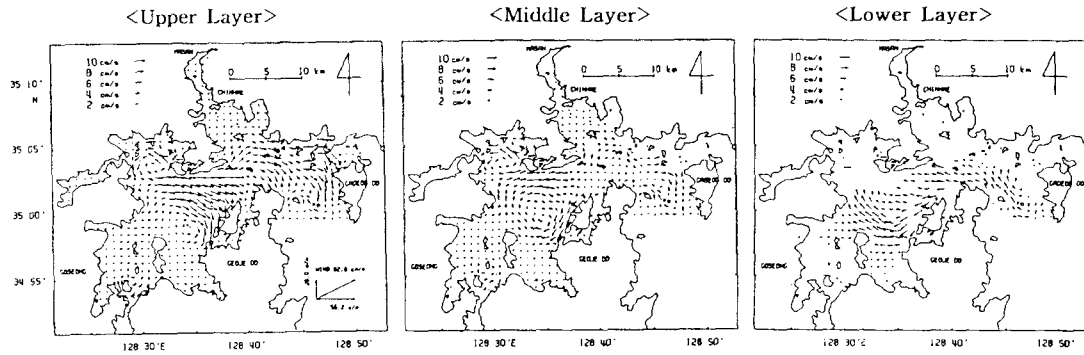


Fig. 5. Computed residual currents in the upper layer, middle layer and lower layer of the September, 1980.

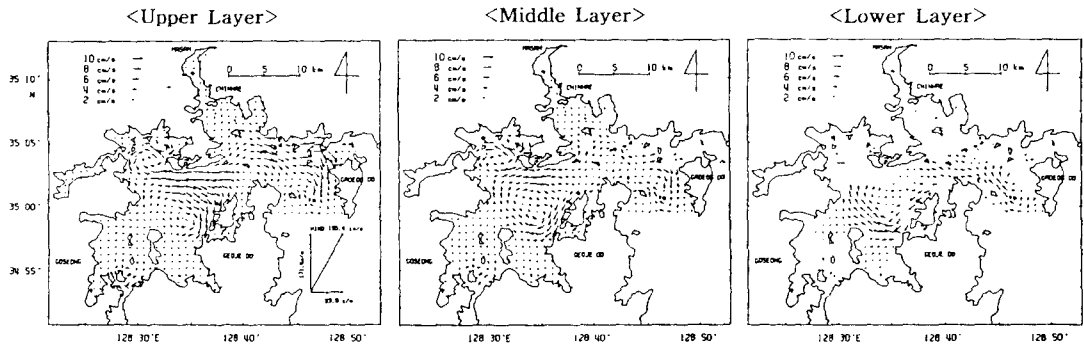


Fig. 6. Computed residual currents in the upper layer, middle layer and lower layer of the November, 1980.

IV. 결과 및 고찰

진해만에서 부력과 바람 및 조석잔차류의 효과를 고려한 3차원의 진단수치모델을 이용하여 유동장을 계산하였다. 9월과 11월의 잔차류(residual current)의 유동분포를 보면, 표층 및 중층의 유동은 연구해역의 안쪽인 진해만 중앙부에서 바깥쪽인 가덕수로쪽으로 흘러 나가는 양상을 보이고 있으며, 양쪽 소만에서는 시계방향의 작은 환류가 존재하고 있다. 또한 저층에서의 유동은 표·중층에 대해서 반대의 유동형태를 보이고 있다. 즉, 연구해역의 바깥쪽인 가덕수로쪽에서 안쪽인 만의 중앙부로의 흐름이 나타나고 있다. 9월

과 11월의 유속의 크기를 보면, 표층에서 각각 최대 6.05 cm/s, 3.49 cm/s의 속도로 외해 쪽으로 흐르며, 중층에서는 9월에 최대 4.39 cm/s의 속도, 11월에는 최대 4.39 cm/s의 속도로 내만 쪽으로 흐른다(Fig. 5, 6).

잔차류의 계산결과에 대한 모델의 타당성을 검증하기 위하여 관측치와 계산치를 Table 2에 나타냈다. 9월의 A04 (3, 8 m) 와 A09 (12, 20 m) 및 A10 (10, 17 m)에서 유속의 관측치와 결과치를 보면, A09와 A10지점에서의 관측치와 계산치는 유향과 유속이 거의 유사하나, A04 지점의 3 m에서 유향은 거의 같으나 유속은 계산치가 관측치(1.23 cm/s)의 약 3배(3.85 cm/s)가 나왔다. 또한, 11월

Table 2. Comparison between observed and calculated currents.

	Observed			Calculated			
	station	depth (m)	direction (deg)	speed (cm/s)	depth (m)	direction (deg)	speed (cm/s)
Sep.	A09	5	140.0	11.42	3	95.2	9.40
	A09	12	114.2	4.23	10	66.9	2.53
	A09	20	352.0	7.30	20	278.3	6.93
	A10	10	167.7	0.97	10	202.5	1.18
	A10	17	250.0	9.48	20	256.4	9.48
	A04	3	43.3	1.23	3	43.7	3.85
	A04	8	357.7	5.60	10	3.0	2.40
Nov.	A05	5	134.3	4.38	3	106.9	4.91
	A07	20	218.1	4.16	20	301.8	4.34
	A08	20	210.7	3.76	20	287.4	6.04
	A01	3	236.2	1.57	3	251.8	0.18
	A01	6	208.6	1.29	10	262.2	0.33
	A02	10	349.6	1.61	10	287.3	0.28
	A03	25	329.4	2.48	20	274.8	1.38

* Observed data adopted from KORDI (1980).

에 마산만 지역의 A01 (3, 6 m), A02 (10 m), A03 (25 m)과 진해만의 입구의 잠도 주변인 A05 (5 m), A07 (20 m), A08 (20 m) 지점의 유속의 관측치와 계산치를 비교하면, A05, A07 과 A08 지점에서는 관측치와 계산치가 유사한 형태로 나타났으나 마산만(A01, A02, A03)에서는 관측치보다 계산치가 작게 나타났다. 이와같은 관측치와 계산치의 두 성분 분에 대한 vector성분의 상관관계를 Fig. 7에 나타냈다. 관측치와 계산치간의 변동에 대한 유사성을 나타내는 상관계수(r)는 0.71의 값을 보이고 있다. 관측치와 계산치간의 상관계수가 높게 나타나지 않은 것은 진해만의 중앙부(A05, A07, A08, A09, A10)에서는 관측치와 계산치간의 유사성이 있으나, 연안역이나 좁은해역인 마산만(A01, A02, A03)에서는 관측치와 계산치간의 오차가 크게 나타나고 있기 때문이다. 따라서 연안역이나 좁은해역에서의 계산 결과를 현장치에 좀더 가깝게 접근시키기 위해서는 다음과 같은 방법이 고려되어야 한다. 첫째로, 연안해역의 좁은지역인 마산만은 폭이 2~3 km 정도인것에 비하여 계산격자는 1 km로 계산격자의 크기가 부적절하게 사용되었으며, 따라서 계산격자의 크기를 보다 세밀하게하여 계산을 수행하면 오차의 한계를 더욱 줄일 수 있

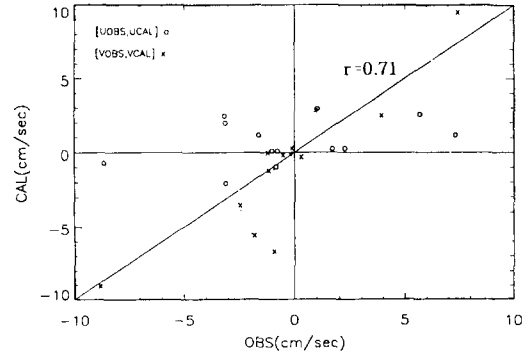


Fig. 7. Comparison between calculated and observed current at selected station.

을 것이다. 다음으로는 본 연구의 잔차류의 계산에 있어서는 전해역에 일정한 확산계수와 점성계수를 사용하였으나, 계산격자별로 지형의 효과에 따른 점성 및 확산계수를 고려한 유동계산이 수행된다면 보다 현장치에 근접한 결과치를 산출할 수 있을것으로 예상된다.

柳·高橋(1988)가 하계 일본의 오오사카만에서 부력과 바람 및 조석응력의 효과를 잘 나타낸 잔차류의 유동양상을 설명하였고, Kim(1994)은 진해만에서 3차원 유동모델로써 조류 및 취송류를 계산하여 바람의 효과를 잘 표현하였다. 그러나 본 연구의 잔차류(residual current)의 계산에서는 바람의 효과(9월 약 0.62 m/s, 11월 약 1.96 m/s)가 아주 작으며, 이것은 앞의 柳·高橋(1988) 과 Kim(1994)의 연구에서 적용한 바람(柳·高橋: 15 일간의 평균 약 3.6 m/s, Kim: 4.14 m/s)에 비해 바람세기가 매우 작아서 이들 연구결과에 비해 바람의 효과에 따른 취송류의 크기가 작을것으로 사료된다. 따라서 부력 및 조석잔차류와 더불어 바람의 효과를 고려한 잔차류(residual current)의 계산에서 바람의 효과를 잘 나타내기 위해서는 장기간에 걸친 보다 정량적인 바람자료의 필요성이 요구된다.

또한, 9월과 11월의 잔차류(residual current)의 크기를 알아보기 위하여 Kim and Yanagi (1997)가 사용한 잔차류의 운동에너지 계산방법을 이용하였다. 9월과 11월의 잔차류의 운동에너지는 각각 $1.24 \times 10^{-2} W$, $8.39 \times 10^{-3} W$ 로 9월의

잔차류의 운동에너지가 11월보다 약 148% 정도 큰값을 가지고 있다. 이와같은 결과는 9월이 11월에 비해 밀도변화에 따른 유동의 변화가 크게 작용하고 있다고 해석할 수 있다. 그것은 조류가 안정되어있기 때문에 조석잔차류의 효과는 년중 안정되어 있으며, 한편 바람의 효과는 9월(바람의 세기 : 0.62 m/s)에 비해 11월(바람의 세기 : 1.96 m/s)이 크게 작용하고 있다. 따라서 9월의 잔차류가 11월에 비해 크다는 것은 그만큼 9월에 밀도의 기울기에 의해 구동되는 유동량이 11월에 비해 상대적으로 크다는 것으로 사료된다.

따라서 진해만과 같이 밀도의 변화나 바람의 효과가 심한 연안해역에서의 장기적인 물질수송을 규명하기 위해서는 조석의 효과뿐만 아니라 밀도나 바람효과를 고려한 잔차류(residual current)의 계산을 이용하는 것이 보다 정확한 물질거동을 파악하는데 도움이 될 것으로 생각한다.

사 사

이 연구는 한국과학재단지정 부경대학교 해양산업개발연구소의 연구 지원비에 의하여 수행되었다. 그리고 이 논문이 완성되기까지 귀중한 조언에 아낌이 없으셨던 일본 에히메대학의 柳 哲雄 교수님과 武岡英隆 조교수님께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

- Backhaus, J. O. (1983): A semi-implicit scheme for the shallow water equation for application to shelf water sea modeling. *Con. Shelf Res.*, 2, 243-254.
- Fuijo, S. and N, Imasato (1991): Diagnostic calculation for circulation and water mass movement in the deep Pacific. *J. Geophys. Res.*, 96, 759-774.
- Kim, C. K. (1994): Three-dimensional numerical model experiments of tidal and wind-driven currents in Chinhae Bay. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 29, 95-106.
- Kim, D. S. , T. Yanagi and K. D. Cho (1996): Seasonal variation of residual flow in Suyoung Bay, Korea. *La mer*, 34, 273-282.
- Kim, D. S. and T. Yanagi (1997): Seasonal variation of kinetic and potential energy of residual flow field in Suyoung Bay, Korea. *J. of the Korean Environ. Sci. Soc.*, 6(4), 313-322.
- Sarmiento, J. L. and K. Bryan (1982): An ocean transport model for the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 87, 394-408.
- Seung, Y. H. and J. H. Yoon (1995): Robust diagnostic modeling of the Japan Sea circulation. *J. Geophys. Res.*, 51, 421-440.
- Wadachi, K.(ed.) (1987): *Encyclopedia of Oceanography*. Tokyodo-Press, Tokyo, 589 pp.
- Yanagi, T (1980): Variability of the constant flow in Osaka Bay. *J.Oceano. Soc. Japan*, 36, 246-252.
- Yanagi, T. and T. Yamamoto (1993): Data assimilation for prediction of coastal sea condition. *J.Adv. Mar. Tec. Conf.*, 8, 85-98.
- Yanagi, T and S. Takahashi (1993): Seasonal variation of circulations in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Oceano. Soc. Japan*, 49, 503-520.
- Yanagi, T.(1974) : *Contributions, Geophysical Institute, Kyoto University*, 14, 1-10.
- 本多忠夫, 光易恒 (1980): 第27回海岸工学講演會論文集, 90-93.
- 柳 哲雄, 高橋 曉 (1988): 沿岸海洋學ノト, 26, 66-70.
- 해양연구소 (1980): 진해만의 적조 및 오염 모니터링 시스템 개발을 위한 기초연구. BSPE:22-43-7.
- 해양연구소 (1981): 진해만의 적조 및 오염 모니터링 시스템 개발을 위한 기초연구. BSPE:31-56-7.
- 해양연구소 (1983): 적조 및 오염 모니터링 연구. BSPE:48-80-7.