

## 鎮海灣 潮流의 2차원 水理 및 數值 모델링

金次謙 · 張善德<sup>1</sup> · 李宗燮<sup>1</sup>

國立水產振興院 環境科, <sup>1</sup>釜山水產大學校 海洋工學科

## Two-Dimensional Hydraulic and Numerical Modeling of Tidal Currents in Chinhae Bay

CHA-KYUM KIM, SUN-DUCK CHANG<sup>1</sup> and JONG-SUP LEE<sup>1</sup>

Department of Environment, National Fisheries Research and Development Agency,  
Yangsan-gun, Kyungsangnam-do 626-900, Korea

<sup>1</sup>Department of Ocean Engineering, National Fisheries University of Pusan,  
Nam-gu, Pusan 608-737, Korea

現場觀測, 水理實驗 및 數值實驗에 의해 鎮海灣 潮流 및 潮汐殘差流의 2차원적 변동특성을 연구하였다. 水理 및 數值 實驗結果는 現場觀測結果와 비교적 잘 일치하였다. 가덕수로, 견내량수로 및 鎮海灣의 중앙수로에서 大潮期 최강유속은 약 90~110 cm/s이고, 小潮期 최강유속은 약 30~40 cm/s로써 강하게 나타났으며, 潮汐殘差流도 여러개의 渦流를 형성하면서 강하게 일어났다. 鎮海灣의 서부해역과 북부해역에서 大潮期 최강유속은 약 30 cm/s 이하, 小潮期 최강유속은 약 10 cm/s 이하로써 약하며, 潮汐殘差流도 비교적 약하게 일어났다. 가조도 북부해역에서는 북향하는 殘差流, 가조도 이남해역에서는 남향하는 殘差流가 일어났으며, 부도 주변해역에서는 시계방향으로 회전하는 渦流가 발생하였다. 灣內에서 표층흐름은 바람 및 하천유출수에 의해 강하게 지배되고, 大潮期보다 小潮期의 흐름이 바람과 유출수의 영향을 더 많이 받는다.

Two-dimensional tidal and tidal residual currents in Chinhae Bay are investigated by field observations, hydraulic and numerical experiments. The results of hydraulic and numerical model experiments roughly coincide with the field measurements. Maximum tidal currents during the spring and neap tides in Kaduk and Kyunnaeryang channel and the central channel of Chinhae Bay are strong as 90 to 110 and 30 to 40 cm/s respectively, and strong tidal residual currents having numerous eddies take place. Maximum tidal currents during the spring and neap tides in the western and northern parts of the bay are weak as below 30 and 10 cm/s respectively, and also tidal residual currents are relatively weak. Tidal residual currents in the northern part of Kajo-do go toward the north, whereas the currents in the southern part move down the bay, and the currents rotating clockwise occur around Bu-do. The surface currents in the bay depend strongly on the wind and river inflow, and such phenomena are more remarkable during the neap tide than the spring tide.

### 緒 論

鎮海灣은 韓國의 南東海岸에 위치한 폐쇄성이 강한 내만으로 지형이 대단히 복잡하며, 가덕수로와 견내량수를 통해 해수교환이 일어나고 있다(Fig. 1). 가덕수로는 폭이 넓으며 최고수심이 약 45m이

고, 견내량수로는 폭이 대단히 좁으며 최고수심이 약 8m이다. 大潮期 때 가덕수로를 통한 해수교환량은  $471 \times 10^6 \sim 507 \times 10^6 \text{ m}^3$ (김, 1984)로써 鎮海灣 전체 해수교환의 86~90%를 차지하고 있으며, 조형지수는 0.11~0.12(한국해양연구소, 1983)로써 반일주조가 탁월하다. 鎮海灣에서 적조는 1962년(박과

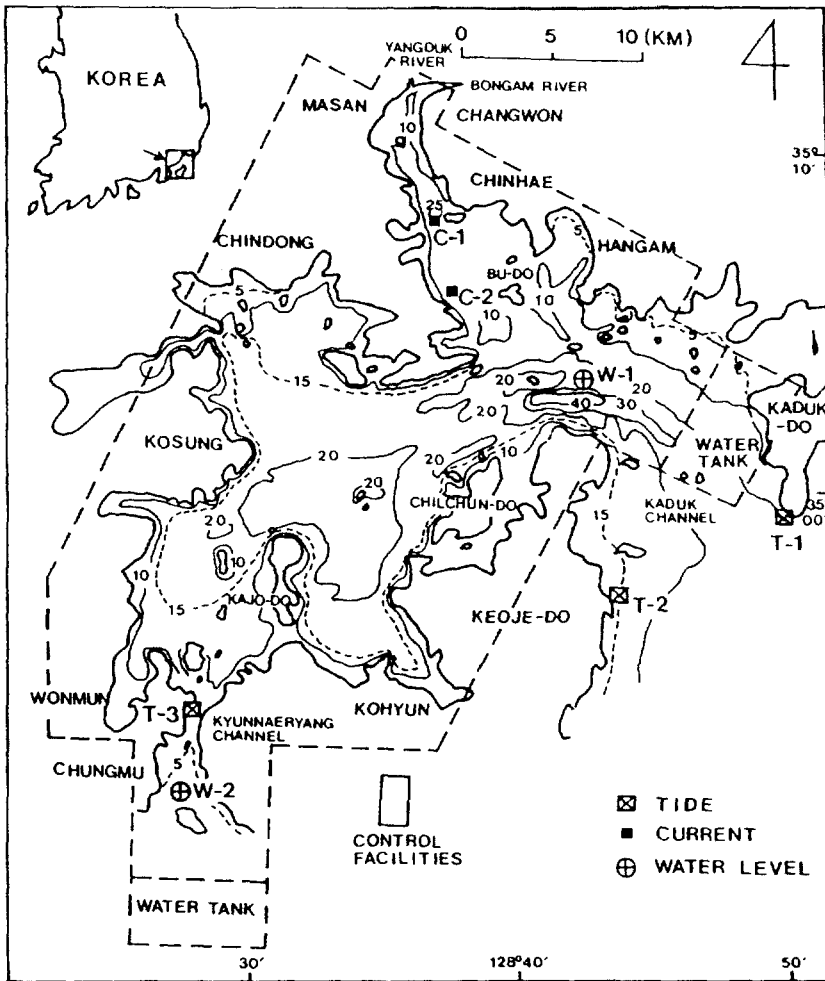


Fig. 1. Schematic diagram of experimental facilities.

김, 1967)에 발생하기 시작하여 1978년과 1981년에는 대규모 적조가 발생하여 수산생물이 대량폐사하였으며, 이후 적조가 매년 발생하고 있다(국립수산진흥원, 1989). 최근에는 鎮海灣의 서부해역에 위치한 가조도 주변해역, 원문만, 고현만 및 진동만에서 하계에 貧酸素水塊가 형성되는 등 수질오염이 심각하다(국립수산진흥원, 1990, 1991). 따라서, 鎮海灣의 양식장 및 어장을 보전·관리하기 위한 대책이 수립되어야 한다. 이를 위해서는 오염물질의 거동을 지배하는 潮流 및 潮汐殘差流에 대한 이해가 필요하며, 이들 흐름구조를 명확히 파악하여 오염물질의 거동을 보다 정확하게 예측하여야 한다. 鎮海灣 潮

流의 현지관측 및 수치실험에 대해서는 한국해양연구소(1983)와 김 등(1989)의 연구가 있으나, 이들이 사용한 2-D 및 3-D 수치모델에서는 1) 가덕도 상단의 개경계에서 해수교환량을 실제 현상보다 훨씬 많이 주었고, 2) 견내량수로를 폐경계로 처리하였으며, 3)  $M_2$  분조의 潮流만 고려하였기 때문에 鎮海灣 전역에 대한 해수유동이 잘 재현되지 못했다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하여 수치실험과 수치실험을 행하고, 또한 현지관측을 통해 鎮海灣 潮流 및 潮汐殘差流의 변동특성을 해석하여 오염물질의 확산을 예측·제어하기 위한 기초자료로 사용하고자 한다.

Table 1. Physical parameters in the prototype and hydraulic model

Parameter	Scale	Prototype	Model
Distance	1/2,000	2.0 km	1.0 m
Water depth	1/159	50 m	31.5 cm
Tidal range	1/159	2 m	1.26 cm
Tidal period	1/159	12 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>	4 <sup>m</sup> 41 <sup>s</sup>
Velocity	1/12.6	1.25 m/s	5 cm/s
Discharge	1/(4×10 <sup>6</sup> )	100 m <sup>3</sup> /s	25 cm <sup>3</sup> /s

資料 및 實驗方法

1. 現場觀測

小潮期인 1988년 2월 24~25일(월령 6.5~7.5)과大潮期인 1988년 5월 16~17일(월령 0.2~1.2) St. C-2의 표층에서 DPCM-4 자기유속계를 사용하여 5분간격으로 24시간 연속유속을 측정하였다. 小潮期인 1987년 6월 23일(월령 26.5)과大潮期인 1988년 5월 17일(월령 1.2) 마산만 입구(St. C-1)와 부도의 서쪽에 위치한 부도수로(St. C-2)에서 漲·落潮流時 측류판(drogue)을 사용하여 부표추적실험을 하였다. 부표의 저항판은 50×50 cm의 직교형이고, 표류수심은 수면하 2 m이다.

2. 水理模型實驗

2.1 實驗裝置 및 相似則

대상으로 하는 해역은 북위 34°44'~35°09', 동경 128°24'~128°45'이며, 실험장치의 구조와 범위는 Fig. 1의 점선으로 나타났다. 鎭海灣은 가덕수로와 견내랑수로를 통해 해수교환이 이뤄지기 때문에 이 2지점에 기조기를 설치하였다. 기조방법은 전자자동제어방법에 의해 펌프로 물을 순환시키는 방법으로 흐름을 발생시키는 pump flow type이다. 潮流와

擴散現象의 相似則을 얻기 위하여 Richardson의 상대확산이론에 의한 확산계수의 상사와 潮流場에 대한 Floude 상사칙을 만족시키기 위해 수평축척에 대한 연직축척의 비를 구하고, 이로부터 제반 물리적 인자들의 축척비를 식 (1)과 같이 구하였다.

$$t_r = h_r = X_r^{2/3}, U_r = X_r^{1/3}, Q_r = X_r^2, C_r = X_r^{-1/3} \quad (1)$$

여기서,  $t_r$  = 시간축척;  $h_r$  = 연직축척;  $X_r$  = 수평축척;  $U_r$  = 유속축척;  $Q_r$  = 유량축척;  $C_r$  = 저면마찰계수 축척이다. 본 연구에서는 수평축척 1/2,000, 연직축척 1/159인 왜율모형(distorted model)으로 하였으며, 모형수조의 크기는 24 m×12 m이고, 원형과 모형 사이의 각 물리적 인자들의 축척비는 Table 1과 같다.

2.2 實驗方法

鎭海灣은 반일주조가 다른분조에 비해 탁월하기 때문에 潮流은 Fig. 1의 T-1, T-2 및 T-3에서 한국 해양연구소(1983)가 관측한 조화상수 중에서 평균대조( $M_2 + S_2$ )와 평균소조( $M_2 - S_2$ )를 택하였다. 즉, Table 2에 나타난 자료에 근거하여 가덕수로에서 평균대조의 진폭은 86.5 cm, 평균소조의 진폭은 21.7 cm를 취하고, 견내랑수로에서 평균대조의 진폭은 108.4 cm, 평균소조의 진폭은 27.9 cm를 취하였다. 수위는 Fig. 1의 W-1과 W-2에서 수면추적식 전자자동수위계로 측정하였고, 流況은 54 mm 비디오 카메라로 부표를 추적하는 방법으로 측정하였다.

3. 數值模型實驗

3.1 基礎方程式

해수유동의 기본방정식은 식 (2)~(4)에 나타난 수평 2차원 천수방정식을 사용하였다.  
- 연속방정식

Table 2. Tidal harmonic constants used in the hydraulic experimental model

St	Type	Spring tide ( $M_2 + S_2$ )			Neap tide ( $M_2 - S_2$ )		
		Amp(mm)	Period(s)	Phase(°)	Amp(mm)	Period(s)	Phase(°)
T-1	Proto	862	44,700	243.7	214	44,700	243.7
	Model	5.4	281	243.7	1.3	281	243.7
T-2	Proto	868	44,700	244.5	220	44,700	244.5
	Model	5.5	281	244.5	1.4	281	244.5
T-3	Proto	1084	44,700	253.4	279	44,700	253.4
	Model	6.8	281	253.4	1.8	281	253.4

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{ (h + \zeta)U \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ (h + \zeta)V \} = 0 \quad (2)$$

- 운동방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ + \frac{gU\sqrt{U^2 + V^2}}{(h + \zeta)C^2} - \rho_a \gamma_s^2 \frac{W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}}{\rho(h + \zeta)} \\ - A_h \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ + \frac{gV\sqrt{U^2 + V^2}}{(h + \zeta)C^2} - \rho_a \gamma_s^2 \frac{W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}}{\rho(h + \zeta)} \\ - A_h \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,  $x, y$  = 수평방향의 공간좌표;  $U, V$  = 각각 수심평균한  $x, y$ 방향 유속;  $t$  = 시간;  $h$  = 수심;  $\zeta$  = 평균해면으로부터의 수위;  $f$  = Coriolis 계수;  $g$  = 중력가속도;  $C$  = Chezy 저항계수 ( $= 1/0.026(h + \zeta)^{1/6}$ );  $W_x, W_y$  = 각각  $x, y$ 방향의 풍속;  $\rho$  = 해수 밀도 ( $= 1.025 \text{ gr/cm}^3$ );  $\rho_a$  = 대기 밀도 ( $= 0.00123 \text{ gr/cm}^3$ );  $\gamma_s^2$  = 해면에서 바람에 의한 마찰계수 ( $= 1.2 \times 10^{-3}$ );  $A_h$  = 수평와동점성계수이다.

### 3.2 計算方法 및 條件

식 (2)~(4)를 ADI(Alternating Direction Implicit) 유한차분법으로 해석하였다. 계산영역은 북위  $34^\circ 52' \sim 35^\circ 12.7'$ , 동경  $128^\circ 22' \sim 128^\circ 51'$ 이며, 對象潮汐은 半日週潮의 평균대조 및 평균소조이다.  $x$  및  $y$  방향의 격자간격  $\Delta x = \Delta y = 500 \text{ m}$ , 시간간격  $\Delta t = 50$  초, 수평와동점성계수  $A_h = 24 \text{ m}^2/\text{s} (= 0.006 \Delta x^{4/3})$ 로 하였다. 開境界에서 潮汐의 진폭은 Table 2에 나타난 자료에 근거하여 大潮期에는 평균대조의 진폭을, 小潮期에는 평균소조의 진폭을 사용하여 매시간 간격마다 정현파로 주었으며, 육지부의 閉境界條件은 경계와 법선방향의 유속을 없는 것으로 하였다. 바람과 하천유출량이 만내의 해수유동에 미치는 영향을 해석하기 위해 마산만의 북단에 위치한 봉암천과 양덕천에서 유출량을 각각  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 가정하고, 풍향은 마산지방 동계의 주 풍향인 N계, 풍속은 마

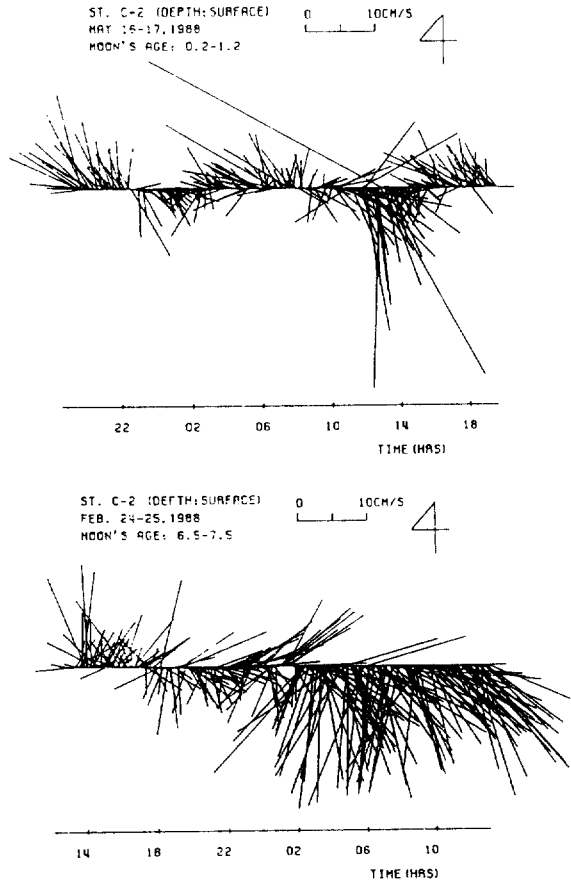


Fig. 2. Time series of observed currents at St. C-2 in Chinhae Bay.

산지방 6년간(1985~1990)의 평균풍속인  $2.3 \text{ m/s}$ 로 하였다. 해상풍은 통상 육상풍의 1.5~2.0배의 풍속을 가지기 때문에(Yanagi, 1980), 본 연구에서는 풍속을 육상풍의 1.8배로 하여 계산하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 現場觀測

부도수로의 西岸인 St. C-2의 표층에서 小潮期와 大潮期에 5분 간격으로 24시간 연속측류한 유속벡터를 Fig. 2에 나타냈다. 大潮期(1988년 5월 16~17일)에는 반일주조의 주기로 漲潮流와 落潮流가 거의 같은 크기로 일어났으며, 이 때 순간최대유속은  $299^\circ$  방향으로  $38 \text{ cm/s}$ 이다. 小潮期(1988년 2월 24~25

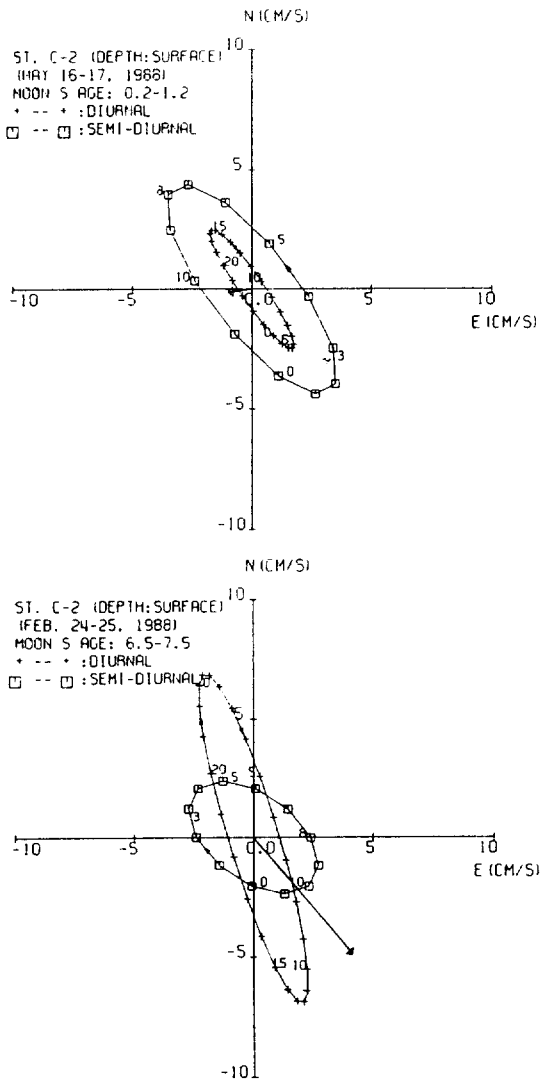


Fig. 3. Tidal current ellipses at St. C-2 in Chinhae Bay.

일)에는 落潮流성분인 남향류가 탁월하게 일어났으며, 이 때 순간최대유속은 202° 방향으로 22 cm/s 이다. 중양기상대 마산측후소에서 관측한 기상자료에 의하면 1988년 2월 24~25일에는 평균풍속 2.3 m/s, 최대풍속 4.2 m/s인 NNE풍이 탁월하였고, 또한 2월 23~24일에 강수량 3.5 mm를 기록하고 있다. 1988년 5월 16~17일에는 평균풍속 2.0 m/s, 최대 풍속 5.7 m/s인 SSE풍과 SSW풍이 탁월하였고, 5월 3~14일 사이에 강수량 79.8 mm를 기록하고 있다.

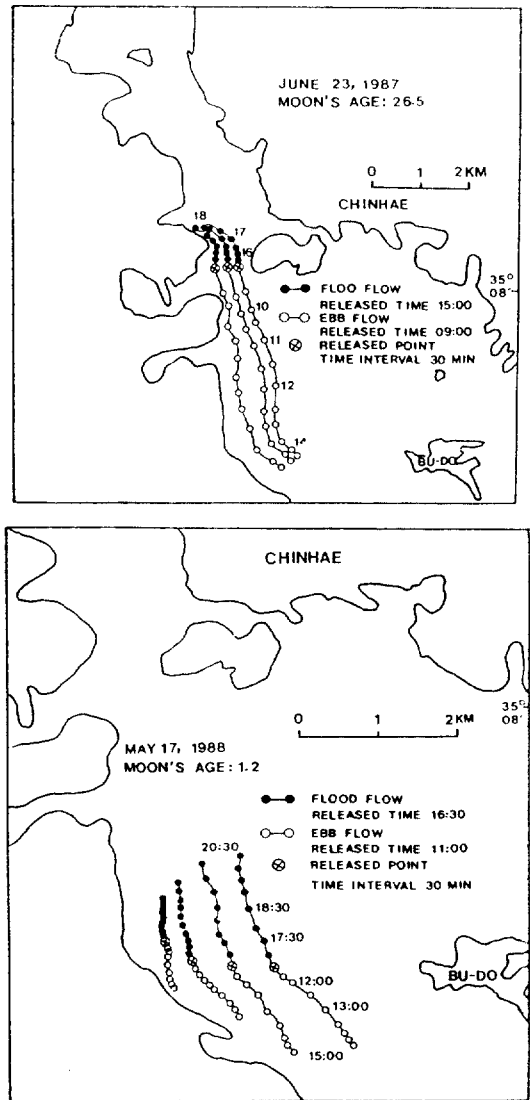


Fig. 4. Drogue tracks in the field during the spring and neap tides.

小潮期 때 남향류가 탁월하게 일어난 것은 지형적인 조건외에 바람 등의 영향이 크게 작용하기 때문이고,大潮期에는 하천유출류와 이에 상반되는 SSE풍 및 SSW풍에 의한 취송류가 서로 어느정도 상쇄되어 흐름은 주로 潮流에 의해 지배되어 반일주조성분이 탁월한 주기적인 흐름이 일어나는 것으로 생각된다. 즉, 만내의 표층흐름은 소조기가 대조기보다 바람 등의 영향을 더 많이 받는 것으로 생각된다.

St. C-2에서 潮流의 조화분해결과를 Fig. 3에 나

타났다. 小潮期에는 기상조건 등으로 인해 일주조가 우세하고 大潮期에는 반일주조가 탁월하게 일어났다. 大潮期 潮流橢圓의 회전방향은 일주조 및 반일주조 모두 반시계방향이고, 小潮期 潮流橢圓의 회전방향은 일주조와 반일주조 모두 시계방향이다. St. C-2에서 大潮期 항류는 서쪽 방향으로 약 0.8 cm/s, 小潮期 항류는 남동 방향으로 약 6.2 cm/s이었다.

표층에서 부표추적결과(Fig. 4)에 의하면 담수유출량이 많은 1987년 6월 23일(小潮期) 마산만 입구에서 부표의 1시간 최대평균유속은 落潮流時에는 22.5 cm/s, 漲潮流時에는 12 cm/s로서 남향류가 탁월하게 일어났다. 이 때 유출량은 조사하지 않았지만, 마산 측후소에서 관측한 강수량자료에 의하면 6월 1~23일 사이에 232 mm의 강수량을 기록하고 있기 때문에 마산만내에 위치한 봉암천, 양덕천 및 주변하천에서 많은 유출량이 발생했을 것으로 생각된다. 1988년 5월 17일(大潮期) 부도수로에서 부표의 1시간 최대평균유속은 落潮流時에는 12.5 cm/s, 漲潮流時에는 10.4 cm/s로 수로중앙부에서 일어났으며, 연안으로 갈수록 표류유속이 점차 감소하였다. 연속 측류와 부표추적실험결과에 의하면 大潮期에는 落·漲潮流의 유속이 거의 비슷하게 나타났지만, 小潮期에는 落潮流가 漲潮流보다 훨씬 강하게 일어났다. 즉, 만내에서 흐름은 하천유출수 및 바람에 의해 강하게 지배되고, 大潮期보다 小潮期의 흐름이 바람 및 하천유출수의 영향을 더 많이 받는 것으로 생각된다. 김(1984)은 거제도 북부해역인 가덕수로에서 칠천도 북부해역인 鎮海灣의 중앙수로까지 및 견내량수로 북부해역에서 大·小潮期에 표류병 추적실험을 하였다. 표류병의 순간최대변위는 鎮海灣의 중앙수로에서 일어났으며, 大潮期 1시간 최대평균유속은 약 78 cm/s, 小潮期 1시간 최대평균유속은 약 36 cm/s로 나타났다. 견내량수로 북부해역에서 大潮期 1시간 최대평균유속은 22 cm/s, 小潮期 1시간 최대평균유속은 16 cm/s로 나타났다.

## 2. 水理模型實驗

大潮期 漲潮流와 落潮流의 순간적인 流況을 Fig. 5에 나타냈다. 小潮期의 流況은 大潮期의 流況과 비슷하고 유속의 크기는 大潮期보다 약 3~4배 정도 작게 나타났다. 가덕수로를 통해 유입한 해수는 크게

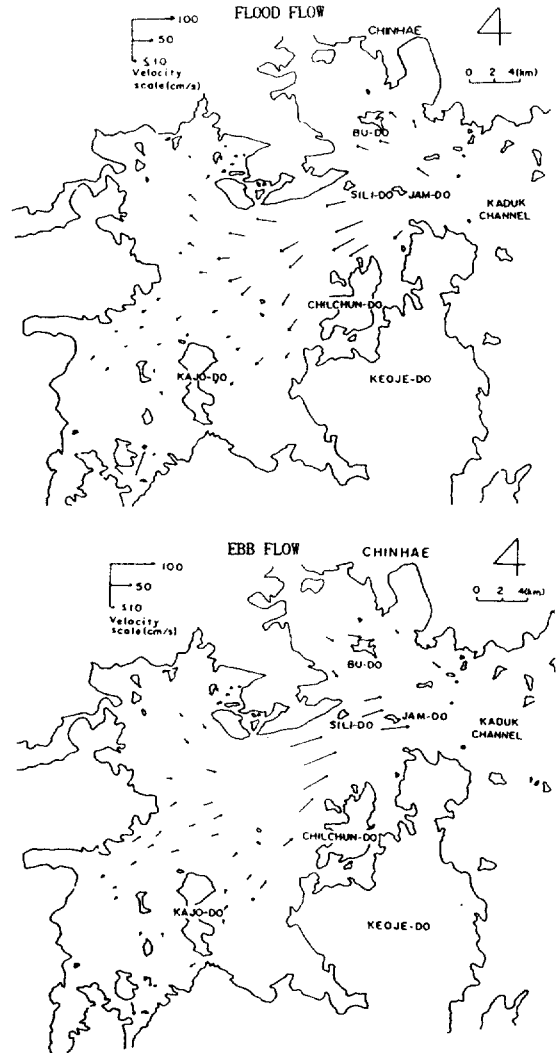


Fig. 5. Flow patterns in the hydraulic model during the spring tide.

2갈래로 구분된다. 하나는 부도수로를 통해 鎮海灣의 북부해역인 마산만 방향으로 유입되고, 다른 하나는 만의 중앙수로를 통해 鎮海灣의 서부해역으로 유입된다. 落潮流時에는 漲潮流時 유입한 대부분의 해수가 가덕수로에서 합쳐져서 외해로 유출된다. 견내량수로를 통한 해수의 유·출입은 만내의 해수유동에 큰 영향을 미치지 못하며, 그 영향범위가 가조도 이남해역이다. 流速은 鎮海灣의 중앙수로인 칠천도 북부해역에서 가장 크게 나타났으며, 大潮期 漲潮流 最強유속은 약 80 cm/s, 落潮流 最強유속은

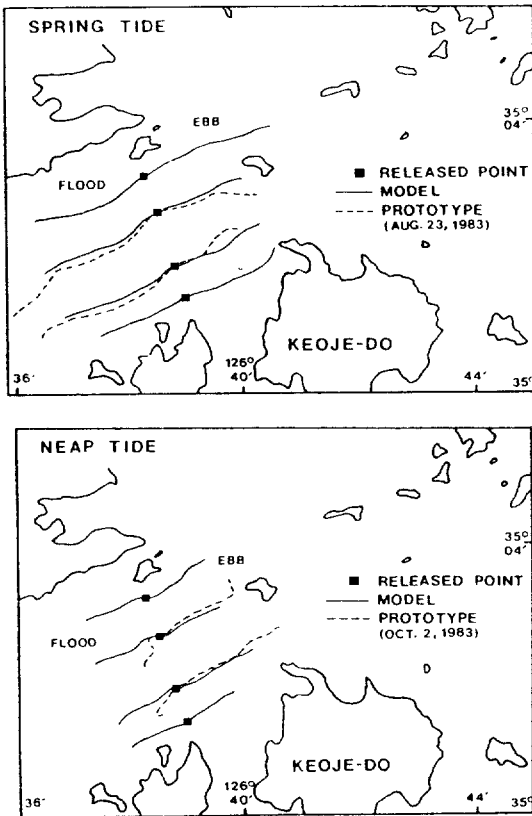


Fig. 6. Comparison of drogue tracks between the prototype and the hydraulic model during the spring and neap tides.

약 90 cm/s이다. 鎮海灣의 서부해역과 부도수로에서 大潮期 落·漲潮流 최강유속은 약 30 cm/s 이하로 약하게 나타났다.

수리실험결과를 김(1984)이 1983년 8월 23일(大潮期)과 1983년 10월 2일(小潮期) 鎮海灣의 중앙수로에서 행한 부표추적실험결과와 비교하여 Fig. 6에 나타냈다. 漲潮流時에는 저조 2시간 후부터 3시간 추적하였고, 落潮流時에는 고조 2시간 후부터 3시간 추적하였다. 大·小潮期 流跡線은 원형과 모형이 비슷하게 나타났다. 大潮期 漲潮流時 부표의 이동거리는 모형에서보다 원형에서 길고, 落潮流時에는 원형과 모형이 거의 비슷하게 나타났다. 이것은 현장에서 평균풍속 2.0 m/s, 최대풍속 3.8 m/s인 E풍의 영향으로 인해 漲潮流時에는 취송류에 의해 흐름이 가속되고, 落潮流時에는 E풍으로 인해 흐름이 다소 억제되기 때문인 것으로 생각된다. 小潮期 漲潮流時

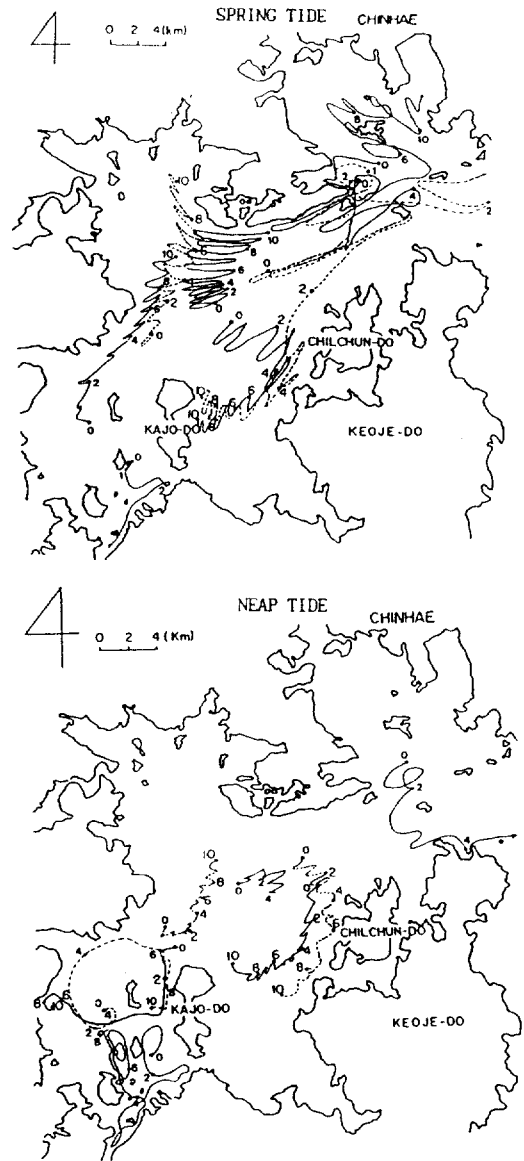


Fig. 7. Tidal residual currents in the hydraulic model during the spring and neap tides.

부표의 이동거리는 원형에서보다 모형에서 길고, 落潮流時에는 모형에서보다 원형에서 길게 나타났다. 이것은 현장에서 평균풍속 1.7 m/s, 최대풍속 5.7 m/s인 WSW풍의 영향으로 인해 漲潮流時에는 潮流와 반대방향의 취송류에 의해 흐름이 감소되고, 落潮流時에는 潮流와 같은 방향의 취송류에 의해 흐름이 가속되기 때문인 것으로 생각된다. 본 연구

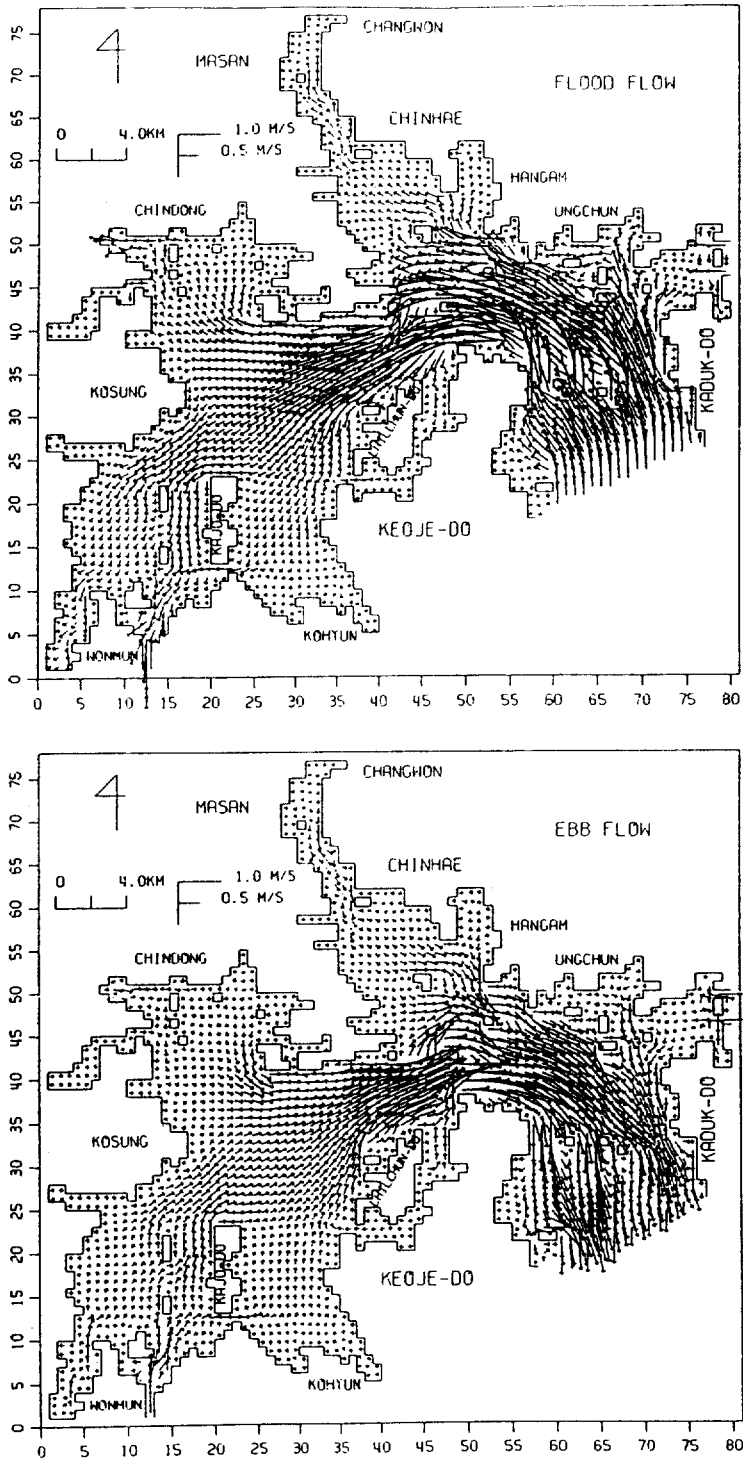


Fig. 8. Computed tidal currents during the spring tide.



결과로부터 만내의 해수유동은 바람에 의해 강하게 지배된다는 것을 알 수 있다.

潮汐殘差流의 장기간 변동특성을 파악하기 위해大潮期와 小潮期 부표의 이동경로를 10潮汐 주기간 추적하여 Fig. 7에 나타냈다. 鎮海灣의 중앙부에서는 시계방향으로 회전하는 還流가 일어났다. 鎮海灣의 서부해역인 가조도 북부해역에서는 북향하는 흐름이 강하고, 가조도 이남해역에서는 남향하는 흐름이 발생하였다. 大·小潮期 부표의 순간변위량은 칠천도 북부해역인 鎮海灣의 중앙수로에서 가장 크게 나타났다. 이 해역에서 반조석 주기동안(6.25 hrs) 부표가 이동한 거리는 大潮期에는 최대 약 10.5 km로써 평균유속이 46.7 cm/s이고, 小潮期에는 최대 약 3.7 km로써 평균유속은 16.4 cm/s이다. 鎮海灣의 서부해역에서 10潮汐 주기간 부표의 순수이동거리는 大潮期에는 약 14.0 km로써 평균이동속도는 3.1 cm/s이고, 小潮期에는 약 6.2 km로써 평균이동속도는 1.4 cm/s이다. 그리고, 부도 주변해역에서는 시계방향으로 회전하는 흐름양상을 보여주고 있다.

3. 數值模型實驗

총 계산시간은 3潮汐 주기이며, 안정된 계산치를 얻기 위해 처음 2潮汐 주기성분은 버리고 나머지 1潮汐 주기성분을 취하였다. 바람과 하천유출량을 고려하지 않고 大潮期 漲潮流(저조 3.5시간 후)와 落潮流(고조 3.5시간 후)時 계산된 潮流場을 Fig. 8에 나타냈다. 大潮期과 小潮期의 유형은 비슷하고 유속의 크기는 大潮期가 小潮期보다 약 3~4배 정도 크게 나타났기 때문에 大潮期 결과만 수록하였다. 鎮海灣의 해수유동은 가덕수로를 통해 유·출입하는 해수에 의해 지배되고, 견내량수로를 통한 해수의 유·출입은 만내의 해수유동에 큰 영향을 미치지 못하며, 그 영향범위는 가조도 이남해역이다. 수치 계산에 의한 落·漲潮流時의 流況은 현장관측 및 수리실험에 의한 流況과 거의 유사하게 나타났다. 견내량수로, 칠천도 북부해역인 鎮海灣 중앙수로 및 가덕수로에서는 大潮期 최강유속은 약 90~110 cm/s이고, 小潮期 최강유속은 약 30~40 cm/s로 나타났다. 鎮海灣의 서부해역과 북부해역에서 大潮期 최강유속은 약 30 cm/s 이하이고, 小潮期 최강유속은 약 10 cm/s 이하로써 약하게 일어났다.

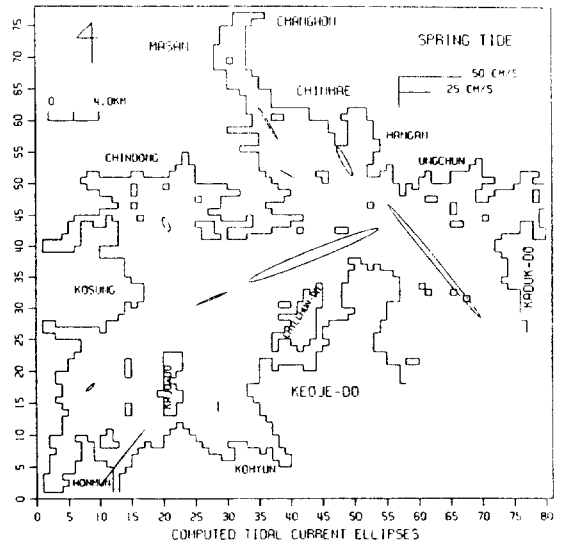


Fig. 9. Computed tidal current ellipses of semi-diurnal component during the spring tide.

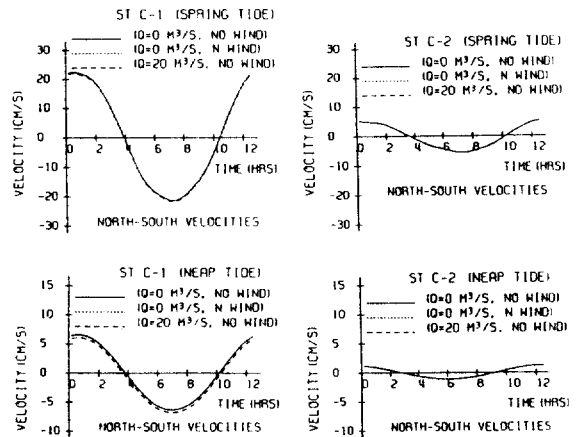


Fig. 10. Time variations of computed north-south velocity components at Sts. C-1 and C-2 during the spring and neap tides.

大潮期 때 바람과 유출량을 고려하지 않고 계산된 조류타원을 10개점에 대해서 Fig. 9에 나타냈다. 전반적으로 조류타원은 왕복성이 강하며, 장축의 방향은 해안선 및 등수심선과 거의 평행하다. St. C-2에서 계산된 조류타원 장축의 방향과 크기는 Fig. 3에 나타난 大潮期 관측결과와 거의 일치한다. 가덕수로, 견내량수로 및 鎮海灣의 중앙수로에서는 조류타원 장축의 길이가 크게 나타났으나, 견내량

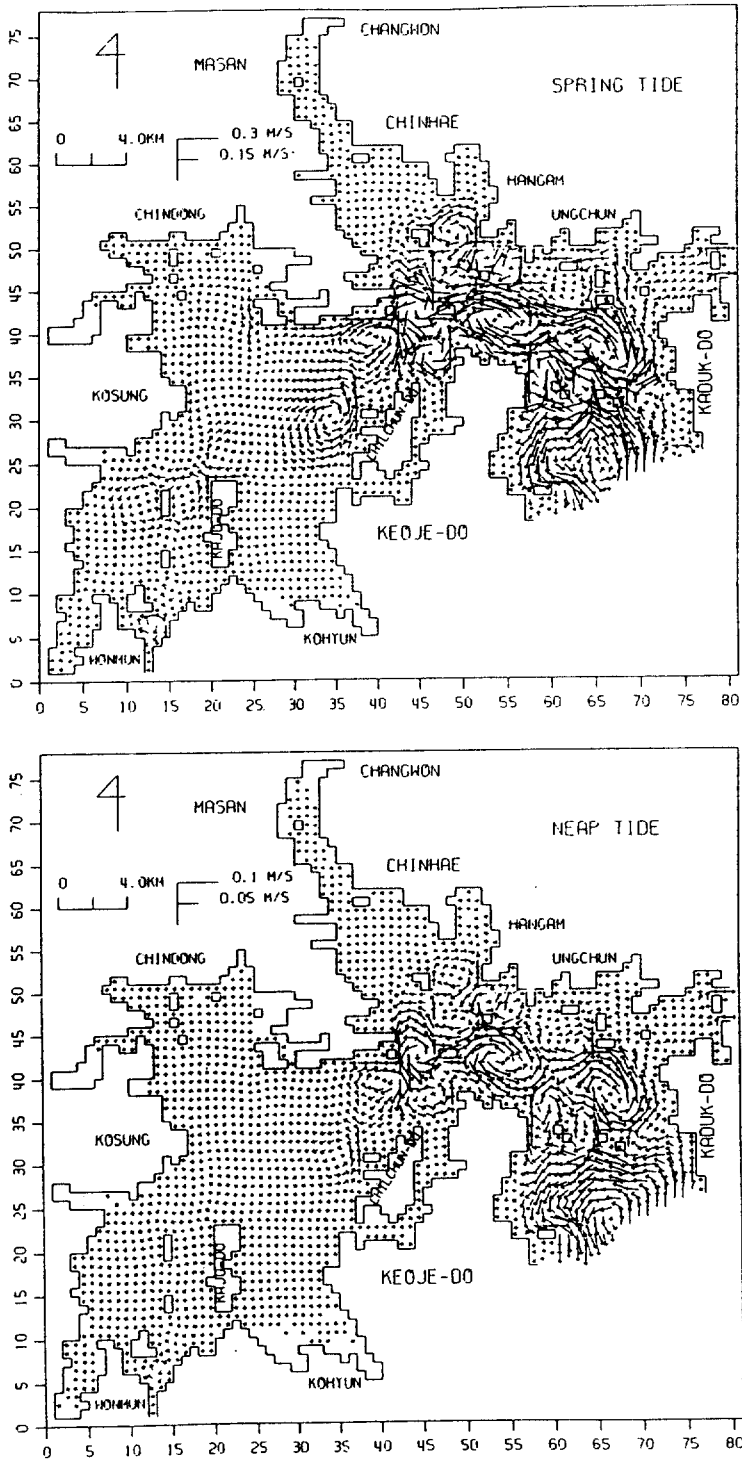


Fig. 11. Computed tidal residual currents during the spring and neap tides.

수로를 제외한 鎭海灣 서부해역에서는 장축의 길이가 작게 나타났다.

바람과 하천유출량을 고려하여 계산된 유속의 남북방향 성분을 Fig. 10에 나타냈다. 이 때 총 계산 시간은 3潮汐이며, 처음 2潮汐 성분은 버리고, 나머지 1潮汐 성분을 취하였다. St. C-1에서 유속은 하천유출량의 영향을 받고 있으나, St. C-2에서는 하천유출량의 영향을 거의 받지 않는다. 이 때 小潮期가 大潮期보다 하천유출량의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다. 풍속 4.14 m/s의 N계 바람이 해면에 작용할 때 이로 인한 유속의 변화는 거의 나타나지 않았다. 이것은 鎭海灣의 평균수심이 약 20 m 이상이고, 또한 바람과 하천유출량은 주로 표층 흐름을 지배하기 때문에 수심평균한 2-D 모델로는 이와 같은 현상을 잘 재현할 수 없다. 따라서, 이들 현상을 명확히 해석하기 위해서는 3-D 모델을 사용하여야 한다.

大潮期와 小潮期 때 바람과 하천유출량을 고려하지 않고 3潮汐 후에 계산된 潮汐殘差流를 Fig. 11에 나타냈다. 潮汐殘差流는 지형이 복잡하고 유속이 강한 칠천도 북부해역인 鎭海灣 중앙수로와 가덕수로 부근에서 여러개의 渦流를 형성하면서 강하게 일어났다. 이들 해역에서 大潮期 潮汐殘差流의 최대값은 약 23 cm/s, 小潮期 潮汐殘差流의 최대값은 약 7 cm/s로 나타났다. 鎭海灣의 서부해역인 가조도 주변해역, 원문만, 고현만 및 진동만 주변해역과 북부해역인 부도수로 및 마산만에서 潮汐殘差流는 大潮期에는 약 3 cm/s 이하이고, 小潮期에는 약 1 cm/s 이하로써 비교적 약하게 일어났다. 따라서, 潮流 및 潮汐殘差流가 약한 이들 해역에서는 유입된 오염물질의 축적 및 양식장의 자가오염 등으로 인해 수질 및 저질의 오염이 점점 악화될 것으로 생각된다. 가조도 북부해역에서는 북향하는 잔차류, 가조도 이남해역에서는 남향하는 잔차류가 일어났으며, 부도 주변해역에서는 시계방향으로 회전하는 渦流가 발생하였다.

## 要約 및 結論

현장관측, 수리실험 및 수치실험에 의해 鎭海灣의 潮流 및 潮汐殘差流의 2차원적 변동특성을 연구하

였다. 수리 및 수치 실험결과는 현장관측결과와 비교적 잘 일치하였다. 鎭海灣의 주 수로인 가덕수로, 건내망수로 및 칠천도 북부해역인 鎭海灣의 중앙수로에서 大潮期 최강유속은 약 90~110 cm/s이고, 小潮期 최강유속은 약 30~40 cm/s로써 강하게 나타났다. 鎭海灣의 서부해역과 북부해역에서 大潮期 최강유속은 약 30 cm/s 이하이고, 小潮期 최강유속은 약 10 cm/s 이하로써 약하게 일어났다. 가덕수로와 鎭海灣의 중앙수로에서 大潮期 潮汐殘差流의 최대값은 약 23 cm/s, 小潮期 潮汐殘差流의 최대값은 약 7 cm/s로써 여러개의 渦流를 형성하면서 강하게 일어났다. 鎭海灣의 서부해역과 북부해역에서 潮汐殘差流는 大潮期에는 약 3 cm/s 이하, 小潮期에는 약 1 cm/s 이하로써 비교적 약하게 일어났다. 따라서, 潮流 및 潮汐殘差流가 약한 이들 해역에서는 유입된 오염물질의 축적 및 양식장의 자가오염 등으로 인해 수질 및 저질의 오염이 점점 악화될 것으로 생각된다. 가조도 북부해역에서는 북향하는 잔차류, 가조도 이남해역에서는 남향하는 잔차류가 일어났으며, 부도 주변해역에서는 시계방향으로 회전하는 渦流가 발생하였다. 또한, 만내에서 표층흐름은 바람 및 하천유출수에 의해 강하게 지배되고, 大潮期보다 小潮期의 흐름이 바람과 유출수의 영향을 더 많이 받으며, 이러한 현상을 명확히 해석하기 위해서는 3-D 모델의 사용이 요구된다.

## 謝 辭

현장관측과 수리실험을 도와주신 당시 부산수산대학교 해양공학과 조교 박철석 선생님과 이용찬 선생님께 감사드립니다.

## 參考文獻

- 國立水產振興院, 1989. 韓國 沿岸漁場 保全을 爲한 環境 汚染 調査研究. 第 84號 事業報告, 347 pp.
- 國立水產振興院, 1990. 沿岸養殖漁場 環境容量 算定에 관한 研究. 科技處 特定研究報告, 95 pp.
- 國立水產振興院, 1991. 沿岸養殖漁場 環境容量 算定에 관한 研究. 科技處 特定研究報告, 139 pp.
- 金鐘華, 1984. 鎭海灣의 海水交換. 釜山水產大學校 水產物理學科 水產學碩士學位論文, 36 pp.
- 김창식, 이종찬, 정대성, 강시환, 1989. 3次元 海水流動 모델의 適用. 해양연구, 11(1): 45-55.

박주석, 김종두, 1967. 진해만의 적조현상에 관한 연구.  
국립수산진흥원 연구보고, 1: 63-79.  
한국해양연구소, 1983. 적조 및 오염모니터링 연구(진해  
만). BSPE 00048-80-7, 222pp.

Yanagi T., 1980. Variability of the constant flow in  
Osaka Bay. J. Oceano. Soc. Japan, 36: 246-252.

---

Accepted April 12, 1994