

진해만 潮流의 현장관측 및 수리모형실험

장선덕 · 김차겸* · 이종섭

부산수산대학교 해양공학과 · *국립수산진흥원 환경과

Field Observations and Hydraulic Model Experiments of Tidal Currents in Chinhae Bay

Sun-Duck CHANG · Cha-Kyum KIM* and Jong-Sup LEE

*Department of Ocean Engineering, National Fisheries University of Pusan,
Pusan 608-737, Korea***Department of Environment, National Fisheries Research and Development Agency,
Kyungsangnam-do 626-900, Korea*

Tidal currents and tidal residual currents in Chinhae Bay are investigated by the field observations and hydraulic experiments during the spring tide and neap tide. The horizontal and vertical scales of the model are 1/2,000 and 1/159, respectively. The hydraulic model results roughly coincide with the field data. Maximum tidal currents during the spring tide and neap tide in the central channel of Chinhae Bay are strong as about 90 and 30cm/s respectively, and strong tidal residual currents take place. Maximum tidal currents during the spring tide and neap tide in the western and northern part of the bay are weak as below 30 and 10cm/s respectively, and also tidal residual currents are weak. Tidal residual currents rotating clockwise occur in the central part of the bay. Northward tidal residual currents in the northern part of Kajo-do are predominant, whereas southward ones in the southern part of Kajo-do are remarkable. The surface currents in the bay depend strongly on the wind and river flow, and it seems to be remarkable during the neap tide.

緒 論

鎭海灣은 韓國의 南東海岸에 위치한 폐쇄성이 강한 내만으로 가덕수로와 건내량수로를 통해 해수교환이 이루어지고 있다. 가덕수로는 폭이 넓으며 최고수심이 약 45m이고, 건내량수로는 폭이 대단히 좁으며 최고수심이 약 8m이다. 大潮期때 가덕수로를 통한 해수교환량은 $471 \times 10^6 \sim 507 \times 10^6 m^3$ (김, 1984)로써 鎭海灣 전체 해수교환의 86~90%를 차지하고 있으며, 조형지수는 0.11~0.12(한국해양연구소, 1983)로써 반일주조가 탁월하다. 鎭海灣은 해조류 및 어패류의 양식지 또는 공동어장으로 수산생물의 생산량이 높은 해역이다. 1960년대

이후 임해공업단지가 조성됨으로써 공장폐수, 생활오수 및 양식장의 밀집으로 인한 자가오염 등으로 인해 오염부하량이 자정작용의 한계를 초과하여 수질 및 저질의 오염이 가속화되고 있다. 鎭海灣에서 적조는 1962년(박·김, 1967)에 발생하기 시작하여 1978년과 1981년에는 대규모 적조가 발생하여 수산생물이 대량폐사하였으며, 이후 적조가 매년 발생하고 있다(국립수산진흥원, 1989). 따라서, 鎭海灣의 양식장 및 어장을 보전·관리하기 위해서는 수질 및 저질을 개선하여야 하며, 이에 대한 대책을 수립하여야 한다. 이를 위해서는 오염물질의 거동을 지배하는 潮流 및 潮汐殘差流에 대한 이해가 필요하며, 이들 흐름구조를 파악하여 오타

물질의 거동을 보다 정확하게 예측하여야 한다. 潮流 및 潮汐殘差流의 해석방법으로는 현장관측, 수리모형실험 및 수치모형실험이 있다. 수리 및 수치모형실험은 현장관측에 비하여 많은 경비, 시간 및 인력을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 여러 종류의 실험을 사전에 실시하여 미래의 변화를 예측할 수 있으므로 해양의 공간이용, 재해방지 및 해양환경보전을 위한 중요한 수단으로 이용되고 있다. 본 연구에서는 현장관측 및 수리모형실험을 통해 鎭海灣의 潮流 및 潮汐殘差流의 변동특성을 해석하고자 한다.

資料 및 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) Fig. 1에 나타난 St. C-2의 표층에서 DPCM-4 자기유속계를 사용하여 5분 간격으로 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 입구와 부도의 서쪽에 위치한 부도수로에서 漲·落潮流時 측류관(drogue)을 사용하여 부표추적실험을 하였다. 부표의 저항판은 50cm×50cm의 직교형이고, 표류수심은 수면하 2m이다.

2. 水理模型實驗

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 나타냈다. 鎭海灣은 가덕수로와 건내량수로를 통해 해수교환이 이뤄지기 때문에 이 두지점에 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 조류장에 대한 Froude 상사칙을 만족시키기 위해 수평축척에 대한 연직축척의 비를 구하고, 이로 부터 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 24m×12m이고, 원형과 모형 사이의 각 물리적 인자들의 축척비는 Table 1과 같다.

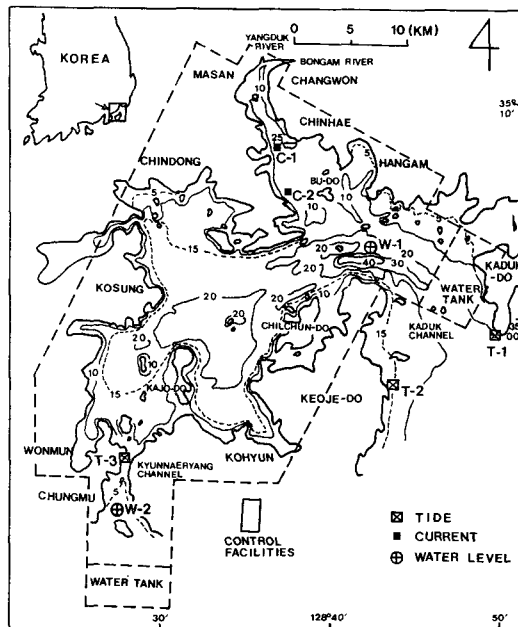


Fig. 1. Schematic diagram of experimental facilities.

Table 1. Physical parameters in the prototype and hydraulic model

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

2) 實驗方法

鎭海灣은 반일구조가 다른 분조에 비해 탁월하기 때문에 조석은 Fig. 1의 T-1, T-2 및 T-3에서 한국해양연구소(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 86.5cm, 평균소조의 진폭은 21.7cm를 취하고, 건내량수로에서 평균대조의 진폭은 108.4cm, 평균소조의 진폭은 27.9cm를 취하

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($^\circ$)	Amp.(mm)	Period(s)	Phase($^\circ$)
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.	1,084	44,700	253.4	279	44,700	253.4
	Model	6.8	281	253.4	1.8	281	253.4

였다. 수위는 Fig. 1의 W-1과 W-2에서 수면추적식 전자자동수위계로 측정하였고, 流況은 54mm 비디오 카메라로 부표를 추적하는 방법으로 측정하였다.

어났다. 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

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(1988. 5. 16~17)에는 반일주조의 주기로 漲潮流와 落潮流가 거의 같은 크기로 일어났으며, 이 때 순간최대유속은 299° 방향으로 38cm/s 이다. 小潮期(1988. 2. 24~25)에는 落潮流성분인 남향류가 탁월하게 일어났으며, 이 때 순간최대유속은 202° 방향으로 22cm/s 이다. 중앙기상대 마산측후소에서 관측한 기상자료에 의하면 1988. 2. 24~25에 평균풍속 2.3m/s , 최대풍속 4.2m/s 인 NNE풍이 탁월하였고, 또한 2월 23~24일에 강수량 3.5mm 를 기록하고 있다. 1988. 5. 16~17에는 평균풍속 2.0m/s , 최대풍속 5.7m/s 인 SSE풍과 SSW풍이 탁월하였으며, 5월 3~14일 사이에 강수량 79.8mm 를 기록하고 있다. 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 어느 정도 상쇄되어 흐름은 주로 潮流에 의해 지배되어 반일주조 성분이 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 나타냈다. 小潮期에는 기상조건 등으로 인해 일주조가 우세하고 大潮期에는 반일주조가 탁월하게 일

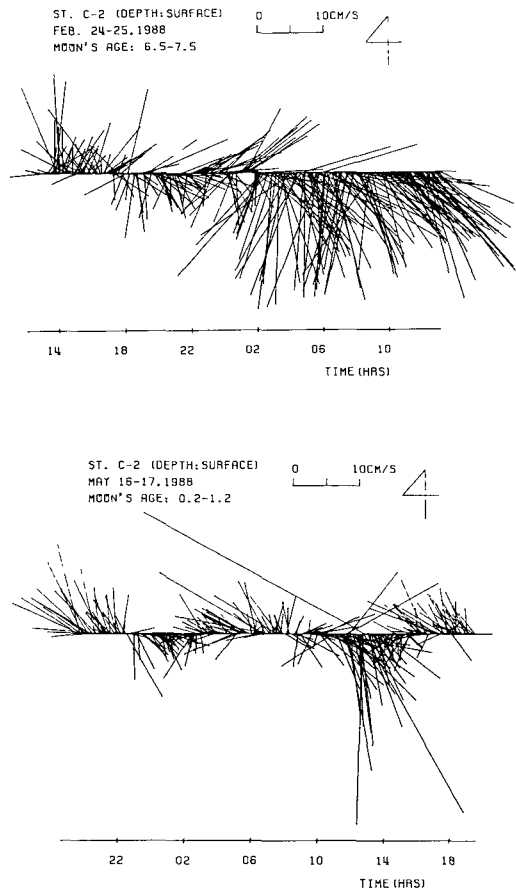


Fig. 2. Time series of observed velocities at St. C-2 in Chinhae Bay.

cm/s, 小潮期 항류는 남동 방향으로 약 6.2cm/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 22.5cm/s, 漲潮流時에는 12cm/s로써 남향류가 탁월하게 일어났다. 이 때 하천유출량은 조사하지 않았지만, 마산측후소에서 관측한 강수량자료에 의하면 6월 1일~23일 사이에 232mm의 강수량을 기록하고 있기 때문에 마산만내에 위치한 봉암천, 양덕천 및 주변하천에서 많은 유출량이 발생했을 것으로 생각된다. 1988년 5월 17일(大潮期) 부도수로에

서 부표의 1시간 최대평균유속은 落潮流時에는 12.5cm/s, 漲潮流時에는 10.4cm/s로 수로중상부에서 일어났으며, 연안으로 갈수록 표류유속이 점차 감소하였다. 연속측류와 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 바람 및 하천유출수에 의해 강하게 지배되고, 大潮期보다 小

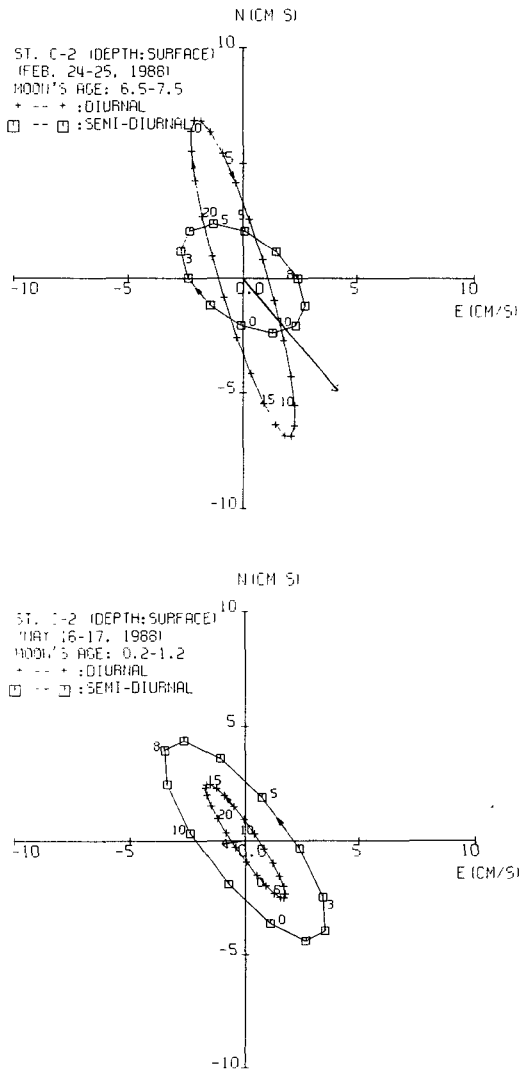


Fig. 3. Tidal current ellipses at St. C-2 in Chinhae Bay.

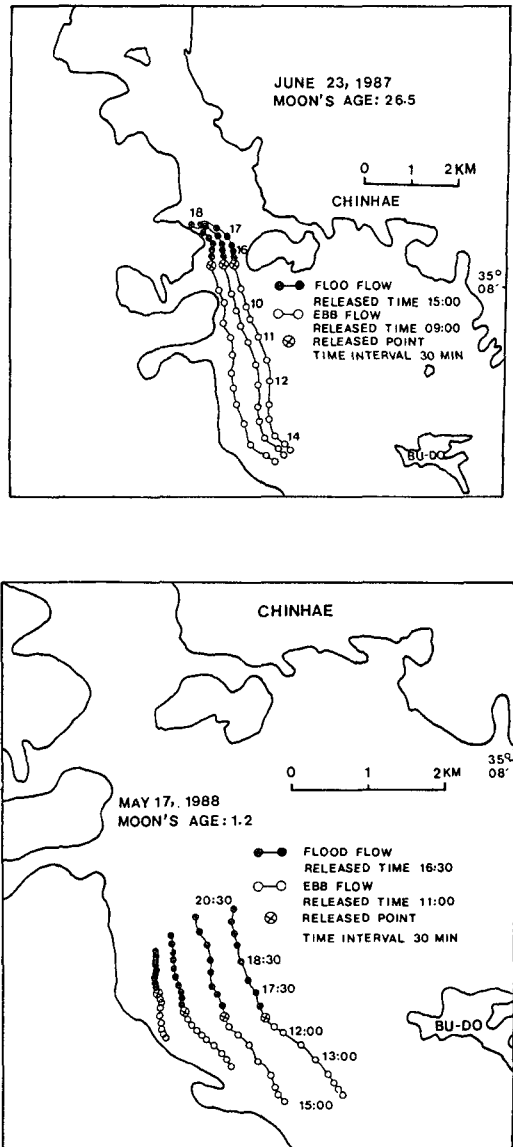


Fig. 4. Drogue tracks in the field during the spring tide and neap tide.

潮期の 흐름이 바람 및 하천유출수의 영향을 더 많이 받는 것으로 생각된다. 김(1984)은 거제도 북부해역인 가덕수로에서 칠천도 북부해역인 鎭海灣의 중앙수로까지 및 견내량수로 북부해역에서 大·小潮期에 표류병 추적실험을 하였다. 표류병의 순간최대변위는 鎭海灣의 중앙수로에서 일어났으며, 大潮期 1시간 최대평균유속은 약 78cm/s, 小潮期 1시간 최대평균유속은 약 36cm/s로 나타났다. 견내량수로 북부해역에서 大潮期 1시간 최대평균유속은 22cm/s, 小潮期 1시간 최대평균유속은 16cm/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 나타냈고, 小潮期 漲潮流와 落潮流의 순간적인 流況을 Fig. 6에 나타냈다. 이들 그림에 의하면 가덕수로를 통해 유입한 해수는 크게 2갈래로 구분된다. 하나는 부도수로를 통해 鎭海灣의 북부해역인 마산만 방향으로 유입되고, 다른 하나는 만의 중앙수로를 통해 鎭海灣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

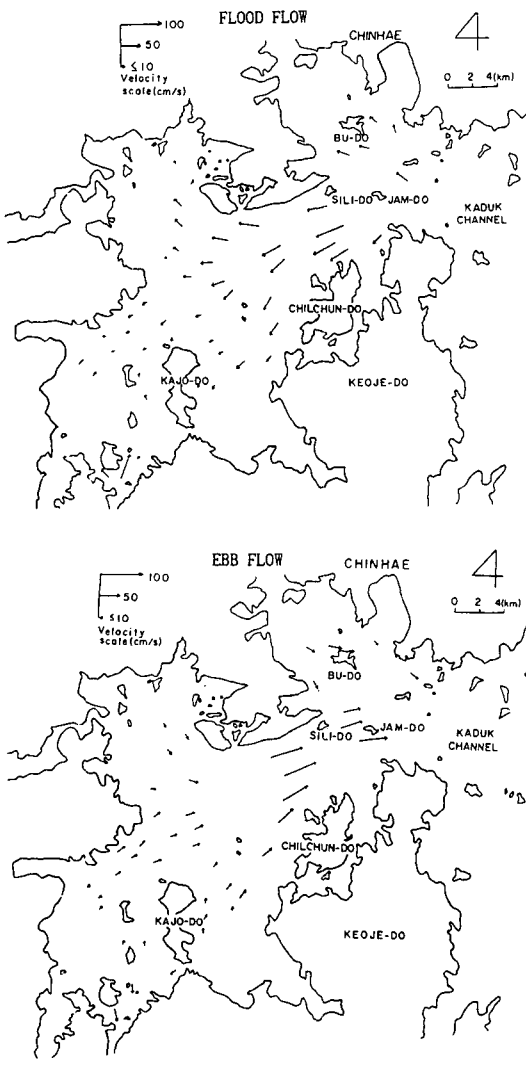


Fig. 5. Flow patterns in the hydraulic model during the spring tide.

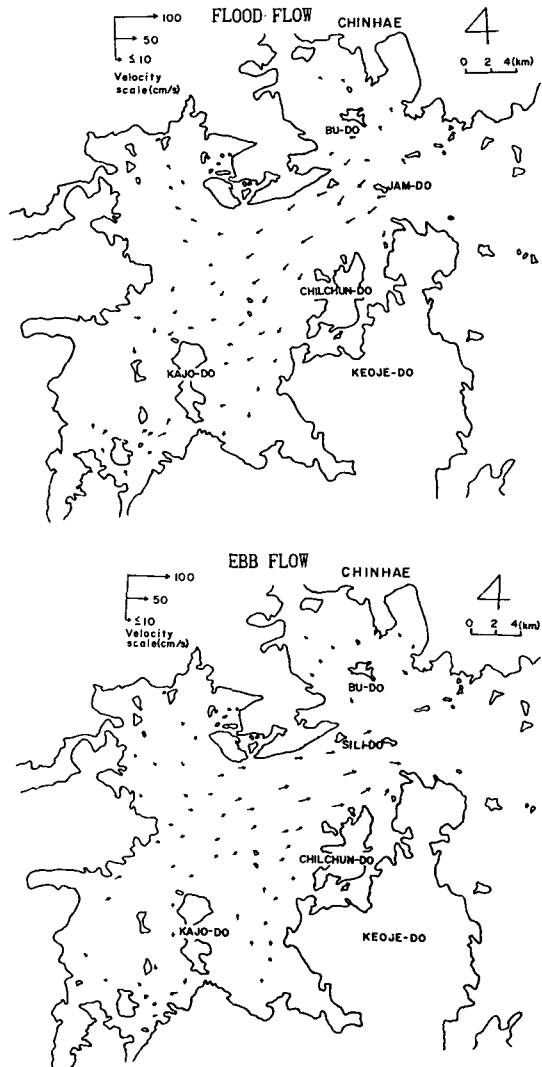


Fig. 6. Flow patterns in the hydraulic model during the neap tide.

큰 영향을 미치지 못하며, 그 영향범위는 가조도 이남해역이다. 大潮期과 小潮期의 유형은 비슷하고 유속의 크기는 大潮期가 小潮期의 약 3~4배 정도 크다. 鎮海灣의 중앙수로인 칠천도 북부해역에서 大潮期 漲潮流 최강유속은 약 80cm/s, 落潮流 최강유속은 약 90cm/s이고, 小潮期 漲潮流와 落潮流의 최강유속은 약 30cm/s로써 거의 비슷하게 나타났다. 鎮海灣의 서부해역과 부도수로에서 大潮期 落·漲潮流 최강유속은 약 30cm/s 이하이고, 小潮期 落·漲潮流 최강유속은 약 10cm/s 이하로써 약 하게 일어났다.

수리실험결과를 김(1984)이 1983. 8. 23(大潮期)과 1983. 10. 2(小潮期) 鎮海灣의 중앙수로에서 행한 부표추적실험결과와 비교하여 Fig. 7에 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 비슷

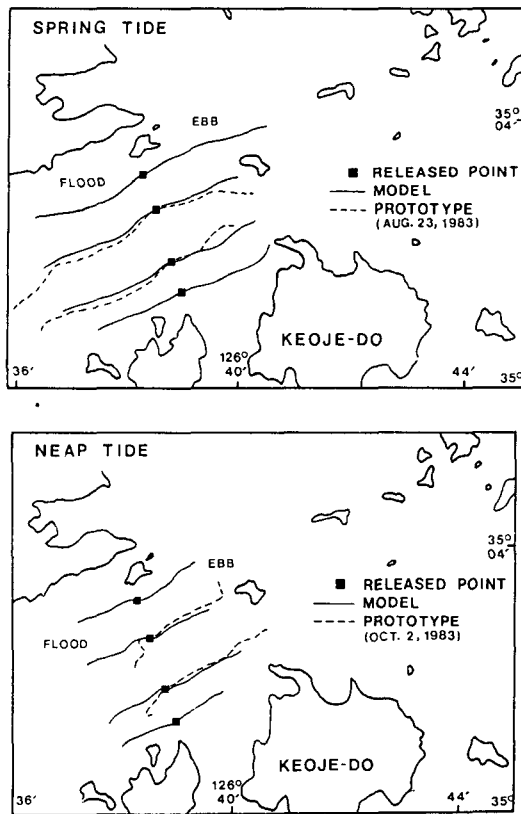


Fig. 7. Comparisons of drogue tracks between the prototype and the hydraulic model during the spring tide and neap tide.

하게 나타났다. 大潮期 漲潮流時 부표의 이동거리는 모형에서보다 원형에서 길고, 落潮流時에는 원형과 모형이 거의 비슷하게 나타났다. 이것은 현지에서 평균풍속 2.0m/s, 최대풍속 3.8m/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

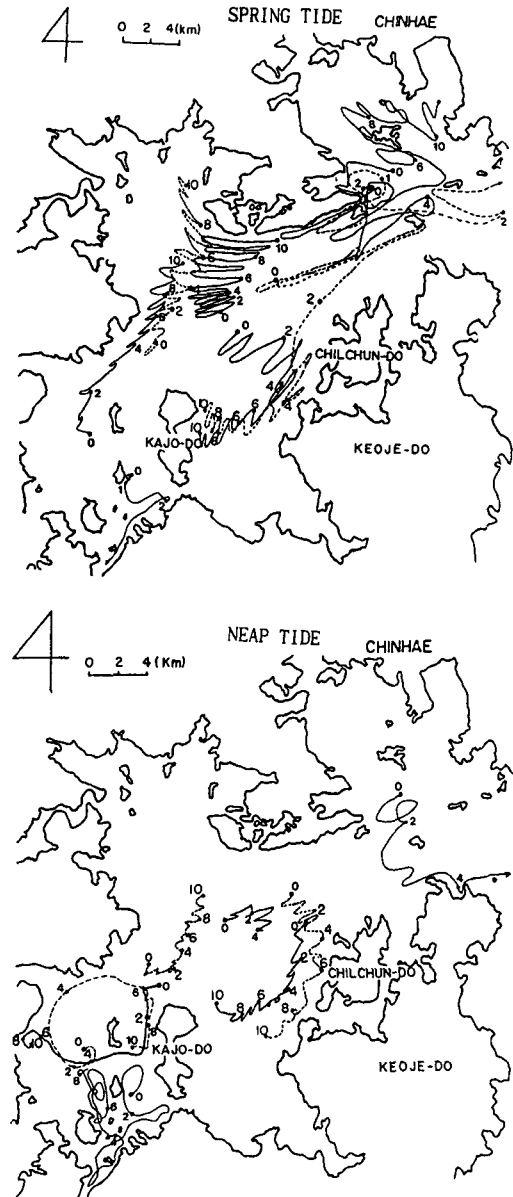


Fig. 8. Tidal residual currents in the hydraulic model during the spring tide and neap tide.

潮流時 부표의 이동거리는 원형에서보다 모형에서 길고, 落潮流時에는 모형에서보다 원형에서 길게 나타났다. 이것은 현장에서 평균풍속 1.7m/s, 최대 풍속 5.7m/s인 WSW풍의 영향으로 인해 漲潮流時에는 조류와 반대방향의 취송류에 의해 흐름이 감소되고, 落潮流時에는 潮流와 같은 방향의 취송류에 의해 흐름이 가속되기 때문인 것으로 생각된다. 본 연구결과로부터 만내의 해수유동은 바람에 의해 강하게 지배된다는 것을 알 수 있다.

물질의 순수이동을 지배하는 潮汐殘差流의 장기 간 변동특성을 파악하기 위해 大潮期와 小潮期 부표의 이동경로를 10조석 주기간 추적하여 Fig. 8에 나타났다. 鎭海灣의 중앙부에서는 왕복류성분이 탁월하고, 시계방향으로 회전하는 還流가 일어났다. 진해만의 서부해역인 가조도 이북해역에서는 북향하는 흐름이 탁월하고, 가조도 이남해역에서는 남향하는 흐름이 탁월하다. 大·小潮期 부표의 순간 변위량은 칠천도 북부해역인 鎭海灣의 중앙수로에서 가장 크게 나타났다. 이 해역에서 반조석 주기 동안(6.25 hrs) 부표가 이동한 거리는 大潮期에는 최대 약 10.5km로써 평균유속이 46.7cm/s이고, 小潮期에는 최대 약 3.7km로써 평균유속은 16.4cm/s이다. 鎭海灣의 서부해역에서 10조석 주기간 부표의 순수이동거리는 大潮期에는 약 14.0km로써 평균이동속도는 3.1cm/s이고, 小潮期에는 약 6.2km로써 평균이동속도는 1.4cm/s이다. 그리고, 부도 주변 해역에서는 시계방향으로 회전하는 흐름양상을 보여주고 있다.

要約 및 結論

현장관측과 수평축척 1/2,000, 연직축척 1/159인 수리모형실험으로 鎭海灣 潮流 및 潮汐殘差流의 변동특성을 해석하였다. 鎭海灣의 중앙수로인 칠천도 북부해역에서 大潮期 최강유속은 약 90cm/s, 小潮期 최강유속은 약 30cm/s로써 강하며, 潮汐殘差流도 강하게 나타났다. 鎭海灣의 서부해역과 북부해역에서 大潮期 최강유속은 약 30cm/s 이하이고, 小潮期 최강유속은 약 10cm/s 이하로써 약하며, 조석간차류도 약하게 일어났다. 따라서, 이들 흐름이

약한 해역에서는 유입된 오염물질의 축적 및 양식장의 자가오염 등으로 인해 수질 및 저질의 오염이 점점 악화될 것으로 생각된다. 鎭海灣의 중앙부에서는 왕복류성분이 탁월하며, 시계방향으로 회전하는 還流가 일어났다. 진해만의 서부해역인 가조도 이북해역에서는 북향하는 흐름이 탁월하고, 가조도 이남해역에서는 남향하는 흐름이 탁월하다. 大·小潮期 부표의 순간변위량은 칠천도 북부해역인 鎭海灣의 중앙수로에서 가장 크게 나타났다. 이 해역에서 반조석 주기동안(6.25 hrs) 부표가 이동한 거리는 大潮期에는 최대 약 10.5km, 小潮期에는 최대 약 3.7km이었다. 鎭海灣의 서부해역에서 10조석 주기간 부표의 순수이동거리는 大潮期에는 약 14.0 km, 小潮期에는 약 6.2km이었다. 또한, 만내에서 표층흐름은 바람과 하천유출수에 의해 강하게 지배되고, 大潮期보다 小潮期의 흐름이 바람과 유출수의 영향을 더 많이 받는 것으로 생각된다. 앞으로는 바람과 하천유출수의 영향을 고려한 수리모형실험과 수치모형실험이 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, 347pp.
 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, 36pp.
 박주석·김종두. 1967. 진해만의 적조현상에 관한 연구. 국립수산진흥원 연구보고, 1, 63~79.
 한국해양연구소. 1983. 적조 및 오염모니터링 연구 (진해만). BSPE 00048-80-7, 222pp.

1993년 6월 15일 접수

1993년 7월 10일 수리