

사천만에서 취송류의 신속예측에 관한 연구

최 석 원 · 조 규 대 · 김 동 선**

한국원자력안전기술원 환경방사능평가실 · 부경대학교 해양학과 · **부경대학교 해양산업개발연구소
(1999년 3월 26일 접수)

Study on the Fast Prediction of the Wind-Driven Current in the Sachon Bay

Seog-Won Choi, Kyu-Dae Cho*, and Dong-Sun Kim**

Environmental Radioactivity Assessment Department, Korea Institute of Nuclear Safety, Taejon 305-338, Korea

*Department of Oceanography, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

**Research Center for Ocean Industrial Development(RCOID), Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

(Manuscript received 26 March, 1999)

In order to fast predict the wind-driven current in a small bay, a convolution method in which the wind-driven current can be generated only with the local wind is developed and applied in the Sachon Bay.

The root mean square(rms) ratio defined as the ratio of the rms error to the rms speed is 0.37. The rms ratio is generally less than 0.2, except for all the mouths of Jinju Bay and Namhae-do and in the region between Saryang Island and Sachon. The spatial average of the recover rate of kinetic energy(rrke) is 87 %. Thus, the predicted wind-driven current by the convolution model is in a good agreement with the computed one by the numerical model. The ratio of the difference between observed residual current (V_r) and predicted wind-driven current (V_c) to a residual current, that is, $(V_r - V_c)/V_r$ shows 56%, 62% at 2 moorings in the Sachon Bay.

Key word : convolution method, fast prediction, rms ratio, Sachon Bay, wind-driven current.

1. 서 론

한반도의 남단에 위치하고 있는 사천만은 사천군, 하동군 및 남해군과 면하여 있는 만으로서 조류, 쓰시마난류 및 취송류 등의 영향을 받고 있으며,¹⁾ 사천시와 창선도 사이의 협수로를 통해 해수가 유동하는 만으로 복잡한 해안선 구조를 가지고 있다(Fig. 1). 내륙과 접하고 있는 만의 상부와 남해와 인접하고 있는 만의 하부는 수심이 얇고 수산생물의 양식조건에 유리한 청정해역으로서 수산업이 발달해 있을 뿐만 아니라 용수의 수급 요건이 유리하여 산업시설이 입지해 있다. 따라서 이러한 해양환경 특징을 가진 사천만에서 예상하지 않았던 산업시설에서의 오염유출사고나 선박의 좌초 등 해상사고시 피해를 최소화하기 위한 신속한 지원 및 대처를 위해서는 사고시점에서부터 정확한 유동장 예측이 필수적이라고 할 수 있다.

최 등²⁾은 주요 분조에 의한 평균적인 조류의 계산보다는 8대 주요 분조에 대한 표준향의 조시차와 조고비를 적용하여 실시간 조류예측을 하였고, 이³⁾는 5대 주요 분조의 변동을 중첩하지 않고 따로 계산하여 조류를 산정하였다. 이들 연구결과에서는 주요 분조를 이용한 조류의 예측결과와 관측결과를 비교하였으나, 조류 이외의

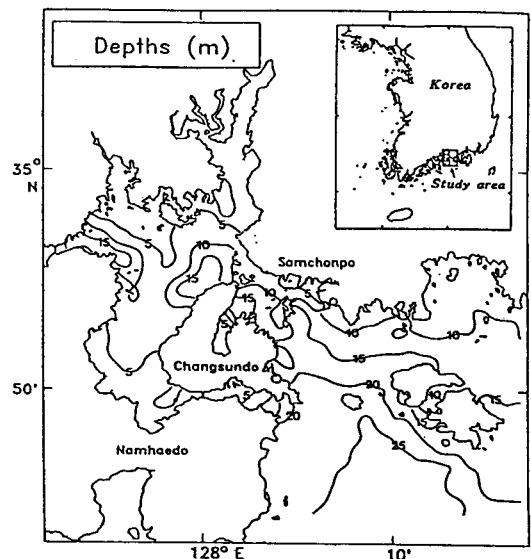


Fig. 1. Bathymetry chart in the model domain.

성분인 취송류로 인해 예측값은 관측값과 차이를 보였다. 또한 이들 연구에서의 취송류는 수치유동모델에 바람을 입력하여 계산하거나, 관측된 해수유동 자료로부터 산출하였다. 그러나 주변 지형과 수심의 영향을 받는 취송류의 특성상 만내의 몇 개 지점에서 관측한 취송류로 전 해역에 대한 취송류를 정확하게 파악하기는 어렵다. 더구나, 수치모델에 의해 산출한 취송류는 일정한 방향으로 균일한 크기의 풍속이 지속적으로 작용하는 바람조건으로부터 계산하기 때문에 사고시점에서 수치모델로 계산한 취송류장은 모델의 실행시간 만큼 시간이 경과한 후의 결과로 지속적으로 바뀌는 바람특성을 반영할 수가 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 실시간으로 바뀌는 바람을 입력자료로 하여 취송류를 신속하게 예측하는 기법이 필요하다.

본 연구에서는 보다 신속하고 정확하게 취송류를 예측하기 위하여 convolution 기법을 도입하여 사천만에 적용하고 그 타당성을 검토하였다.

2. 자료 및 방법

고정점에서 해류의 시간적 변동을 파악하기 위하여 삼천포화력발전소 주변해역의 2 (C₁, C₂)지점에서 rotor형 RCM7 유속계 (노르웨이 Aanderaa사)를 수심 5 m에 계류하여 유속을 연속 관측하였다(Fig. 2). 해수유동의 관측기간은 C₁지점에서 1994년 9월 8일부터 9월 18일까지 약 11일간, C₂지점이 1994년 10월 18일부터 10월 23일까지 약 6일간이었다. 바람은 해수유동자료와 마찬가지로 삼천포화력발전소 기상관측소에서 동일한 기간에 관측한 자료이다.

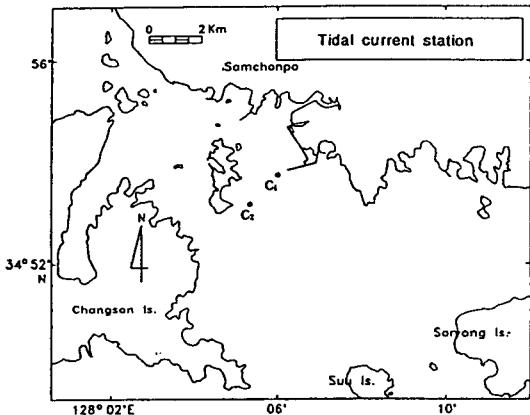


Fig. 2. Current stations (C₁, C₂) in the study area.

2.1. 조류 및 취송류 계산

조류 및 취송류의 계산은 해수유동에 관한 2차원 운동방정식과 연속방정식을 이용하여 수행되었으며, 특히 조류계산에서는 연구해역인 사천만의 주요 5대 분조인 M₂조, S₂조, N₂조, O₁조 및 K₁조를 고려하였다. Fig. 3의 1,000 m 격자망에 위치한 외해 경계 5지점(노랑(B₁), 미조(B₂), 육지도(B₃), 용초(B₄), 건내랑(B₅))에서의 조화상

수로서는 이³⁾가 단기 및 동시성 자료를 보정하여 제시한 결과를 이용하였다. 상세역 계산을 위해 1,000 m 격자망에서 제시한 조류의 계산결과를 이용하여 Fig. 3의 윗쪽에 있는 등 간격의 200 m 격자망에서 조류를 계산하였다.

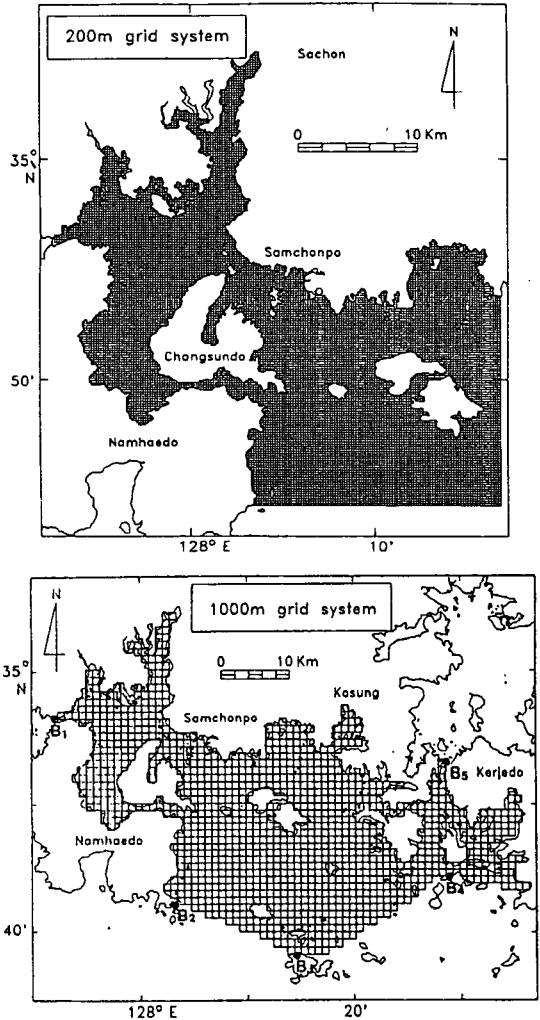


Fig. 3. Finite difference grids of 200m (top) and 1,000m (bottom) for the study area.

2.2. 조류 및 취송류 예측

해수유동모델의 결과로부터 계산된 조화상수를 이용하여 연구해역 내에서 5대 분조에 대한 실시간의 조류 예측치를 식 (1) 및 (2)로부터 계산하였다.

$$u(t) = \sum_{k=1}^5 f_k(t) UA_k \cos[w_k t - UG_k + V_k(t) + u_k(t)] \quad (1)$$

$$v(t) = \sum_{k=1}^5 f_k(t) VA_k \cos[w_k t - VG_k + V_k(t) + u_k(t)] \quad (2)$$

여기서 ω_k 는 분조 k 의 각속도이며, UA_k 와 VA_k 는 동서 및 남북방향 유속의 진폭이고, UG_k 와 VG_k 는 유속

의 지각이다. 천문변수인 $f_k(t)$ 와 $u_k(t)$ 는 진폭 및 지각에 대한 실시간 t 때의 nodal factor이며, $V_k(t)$ 는 실시간 때의 평형조 지각이다.^{4,5)} 본 연구에서 천문변수는 1900년 1월 1일 0시를 기준으로 하여 경과된 시간의 함수로서 계산하였다.

취송류 예측은 바람과 반응함수의 convolution 관계를 이용하였다. 취송류 $WDC(t)$ 를 과거에서 현재까지의 바람 $W(t)$ 에 가중치 $h(u)$ 을 곱한 값의 합으로 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$WDC(t) = \sum_{u=0}^m h(u) W(t-u) \quad (3)$$

여기서 u 는 시간지연이고 최적의 가중치 $h(u)$ 는 convolution관계의 취송류 WDC 와 수치모델에서 계산한 취송류를 비교하여 그 차가 최소가 되도록 하여 결정한다. m 은 시간지연 u 에 해당하는 자료의 갯수이다.

각 조사정점에서 구한 시간지연에 대한 가중치와 바람과의 convolution 관계로부터 실시간의 취송류 예측이 가능해진다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 조류 계산

외해경계의 5지점(노랑, 미조, 목지도, 용초, 건내랑)에 대한 5대 주요분조의 조화상수를 이용하여 사천만에서 5대 주요분조에 대한 진폭과 위상을 해수유동모델로부터 계산하였다. 그리고 진폭과 위상을 이용하여 유속을 계산하고 그 유속을 조화분해하였다. 유속의 조화상수는 각 분조 별로 동서(U)성분과 남북(V)성분으로 분리하여 계산하였다. 수치모델의 계산 결과에서 각 분조의 한 주기에 해당하는 기간동안의 유속을 평균하여 각 분조의 조석잔차류를 계산하였다. 유속의 U와 V성분에 대한 조화상수로부터 계산한 M_2 조, S_2 조, N_2 조, K_1 조 및 O_1 조의 조류타원도와 5대 분조의 조석잔차류를 합한 결과는 Fig. 4와 같다. 조위 진폭이 약한 N_2 , K_1 조의 경우 조류의 크기 역시 작게 나타났는데, 조류타원의 양상은 M_2 조나 S_2 조와 비슷하였다. 조석잔차류의 크기는 최대 30 cm/sec 정도까지 나타났고 해역의 중앙 지역인 삼천포 수로에서는 남향의 조석잔차류가 강하게 나타났다.

3.2. 취송류 계산

삼천포화력발전소 기상관측소에서 관측한 11일 동안의 바람을 입력자료로 하여 수치모델로부터 계산한 취송류의 일별(12:00시 정각) 공간분포는 Fig. 5와 같다. 서풍계열의 바람이 강한 4~5일째(Fig. 5의 (a), (b))에는 연안에서 5~10 cm/sec 정도의 강한 동향류가 생성되었다. 북풍계열이 강한 6~9일째(Fig. 5의 (c), (d))에는 취송류가 약했다. 동일한 바람조건하에서 지점에 따른 바람과 취송류의 방향과 크기가 상이한 것은 수심과 관련된 지형의 효과로 바람응력의 작용에 따른 취송류의 재현성에 대한 정확도의 차이 때문으로 사료된다.^{6,7)}

취송류의 지속시간을 3일로 가정하여 구한 반응함수와 삼천포화력발전소 기상관측소의 바람과의 convolution 기법을 이용하여 예측한 취송류는 Fig. 6과 같다. 서풍계

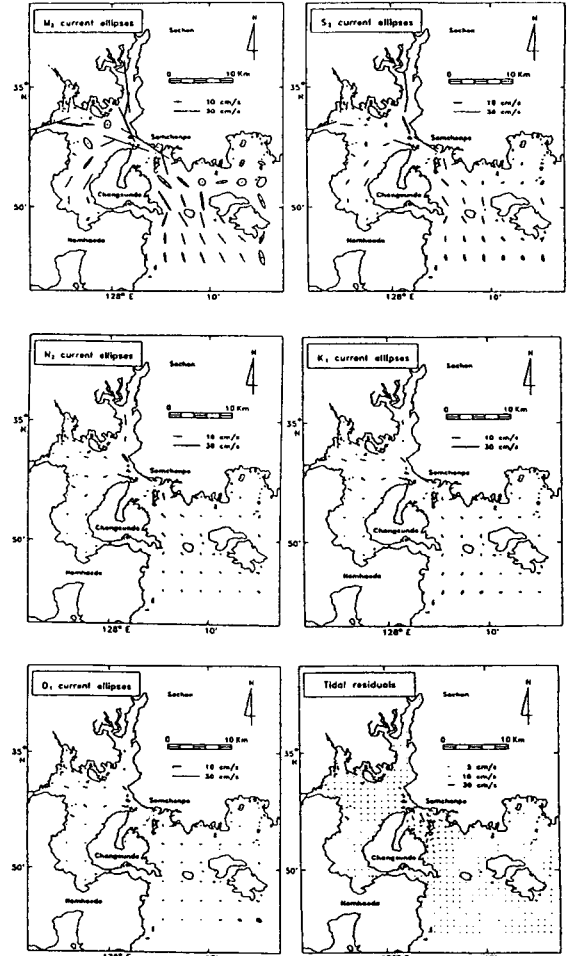


Fig. 4. Computed tidal current ellipses of M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , O_1 tide and the tidal residual current in the Sachon Bay.

열의 바람이 우세한 시기(Fig. 6의 (a), (b))에는 convolution 기법으로부터 예측한 취송류의 크기와 방향이 수치모델로 계산한 취송류와 유사하게 나타나나, 북풍계열의 바람이 우세한 시기(Fig. 6의 (c), (d))에는 Fig. 6의 (a), (b)에 비해 그 재현의 정확도가 떨어진다.

사천만에서 반응함수를 이용한 취송류의 변동과 수치모델을 이용한 취송류와의 변동 형태를 조사하기 위하여 취송류의 유속이 빠른 만의 우측 가장자리에 있는 3지점(R_T , R_M , R_B)과 유속이 느린 만의 중앙에 있는 3지점(C_T , C_M , C_B)을 대표지점으로 선정하였다(Fig. 7). R_T 와 C_T 는 안쪽만을 대표하고 R_M , R_B , C_M 및 C_B 는 입구만을 대표하는 지점이다.

Fig. 8에서는 대표지점에서 수치모델과 convolution 모델을 이용한 취송류간의 차에 대한 변동폭을 지연(lag)별로 나타낸 것이다. 지연 3일 째의 rms 변동폭의 감소폭이 지연시간 30시간째에 비해 그 감소폭이 커지고 지연 3일 째부터는 변동폭의 감소 정도가 작아진다. 따라

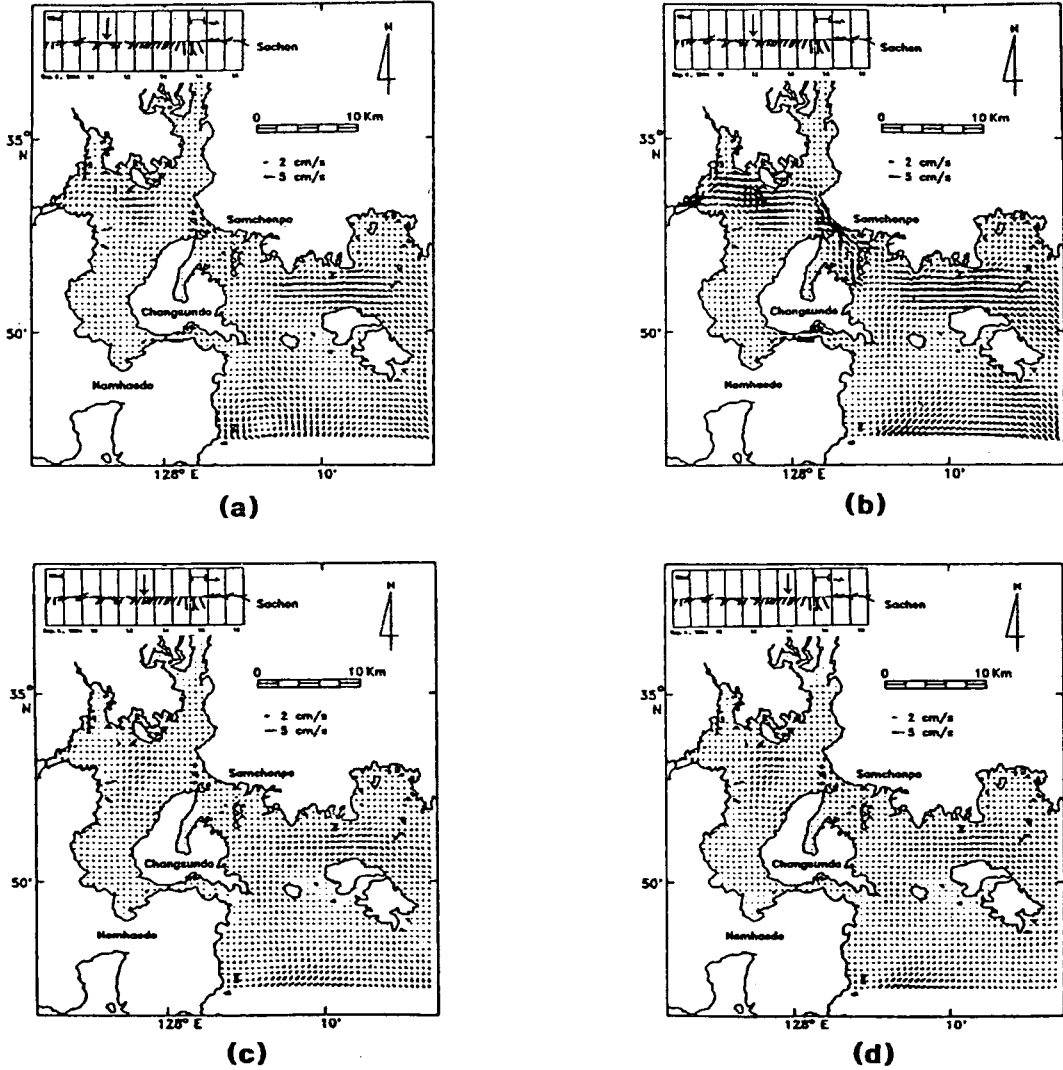


Fig. 5. Computed wind-driven currents by the numerical model for the Sachon Bay in September 11 (a), 12 (b), 13 (c) and 14 (d), 1994.

서 사천만에서 취송류의 지연기간으로서 rms 변동폭의 차가 적어지는 3일을 선정하였고, 3일간의 지연에 해당하는 반응함수와 바람과의 convolution으로 취송류를 재현하였다. 그 결과 지형과 수심이 복잡한 만의 가장자리를 대표하는 지점이 지형과 수심이 단순한 만의 중앙을 대표하는 지점보다 rms 변동폭이 크게 나타났다.

바람용력이 취송류에 영향을 미치는 기간을 3일로 하여 산정한 성분(U, V)별 반응함수는 Fig. 9, Fig. 10과 같다. 대표지점에서 U성분의 반응함수를 보면 현재시점의 바람과 취송류는 C_T 지점을 제외하고는 정상관을 나타내며, 현재의 바람이 현재의 취송류 생성에 가장 크게 영향을 미치고 있다. 반응함수의 크기는 만의 가장자리에서 최대 0.1 정도이고 만 중앙부 지점은 0.01 정도였다. V성분의 반응함수를 보면 지연시간별 반응함수의 크

기보다 현재시점의 반응함수의 크기가 크다. 그리고 현재 시점에서는 바람과 취송류 간에 역상관이며, 현재시점의 바람이 현재시점의 취송류에 영향을 많이 미치나, 그 외 시점에서도 바람이 취송류에 미치는 정도도 현재시점에 비해 무시할 수는 없다.

사천만의 6지점에서 수치모델로부터 계산한 취송류(실선)와 convolution 기법으로부터 예측한 취송류(점선)의 시간적인 변동은 Fig. 11과 Fig. 12이다. U성분의 경우 계산과 예측한 취송류는 만 중앙부에서 잘 일치하고 있다. 그러나 만 가장자리에서는 북풍이 부는 6일 제부터 9일 제 사이에는 계산과 예측한 취송류간의 일치하는 정도가 낮으나 서풍 계열의 바람이 부는 시기에는 잘 일치한다. 반면에 V성분의 계산과 예측한 취송류의 크기는 최대 3 cm/sec 정도이며, 6지점의 대표지점에서 풍향과

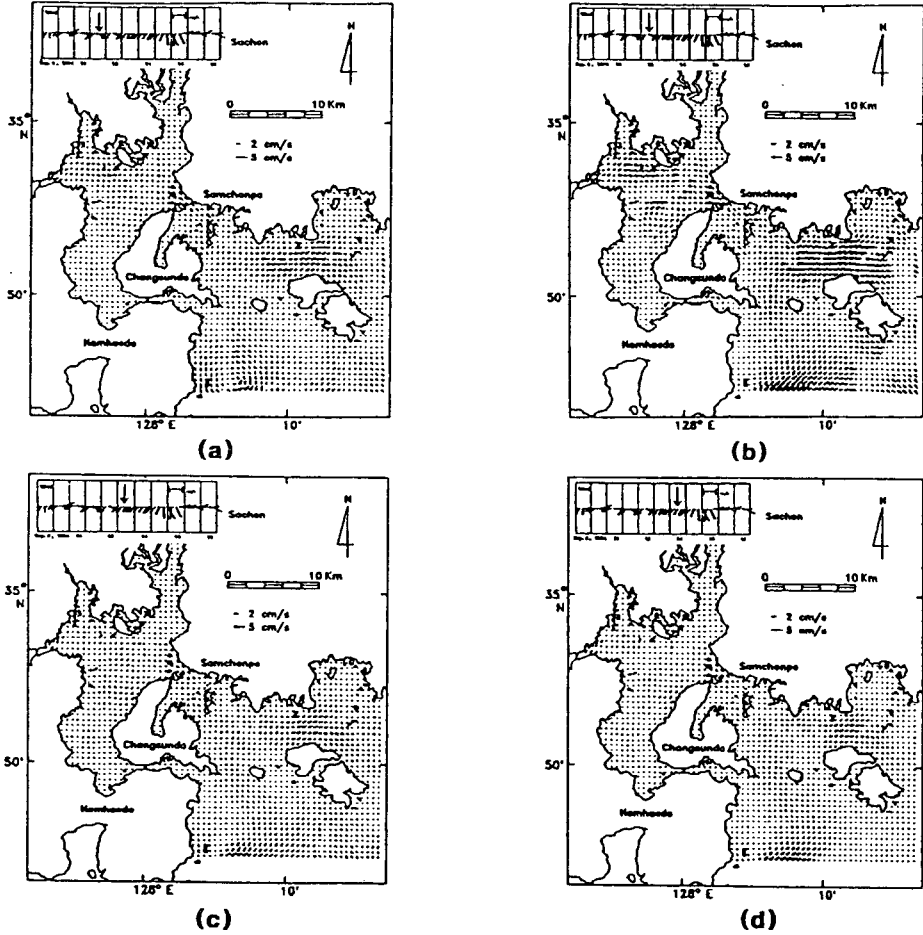


Fig. 6. Predicted wind-driven currents by the convolution model for the Sachon Bay in September 11 (a), 12 (b), 13 (c) and 14 (d), 1994.

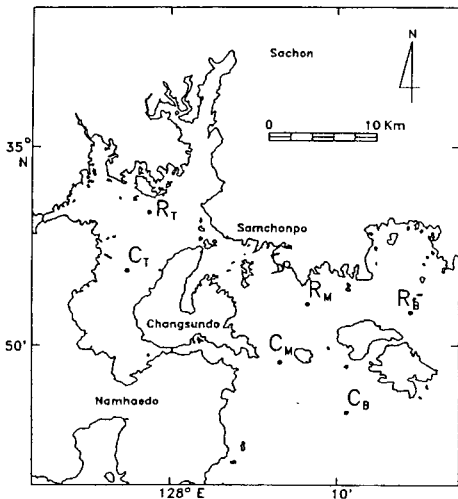


Fig. 7. Map showing the observing points of the wind-driven currents in the Sachon Bay.

관계없이 서로간에 일치하는 정도가 높게 나타났다. 따라서 사천만에서는 V 성분의 바람에 대해서는 동일 성분해에 해당하는 반응함수를 이용하여 계산한 취송류의 재현이 잘 되었다.

사천해역에서 수치모델로 계산한 유속과 convolution 기법을 이용하여 예측한 유속의 차에 대한 변동폭을 나타내는 rms error의 공간 분포를 보면 진주만 입구와 사천군과 사량도 사이 및 남해도와 사량도 사이의 지점에서 0.4 cm/sec 내외로서 그 외 지점에 비해 크게 나타났다. 이와 같은 현상은 이 지역이 남북으로 지형의 경사를 이루고 있어 동풍과 서풍 계열의 바람에는 쉽게 취송류가 반응하도록 되어 있는 반면에 남풍과 북풍 계열의 바람에는 취송류의 반응정도가 낮기 때문이다(Fig. 13(a)). 공간적으로 평균한 rms error는 사천만에서 0.24 cm/sec 이다. 또한 수치모델에서 유속의 변동폭을 rms speed로 나타내었는데, 공간적으로 평균한 rms speed는 0.67 cm/sec 였다(Fig. 13(b)). 유속의 변동폭이 큰 지역에서는 rms ratio가 0.4 ~ 0.6이나 그 외 지역에서는 0.2 이하를 나타내며(Fig. 13(c)), rms의 공간적인 평균은 0.37이다. Cho⁴⁾

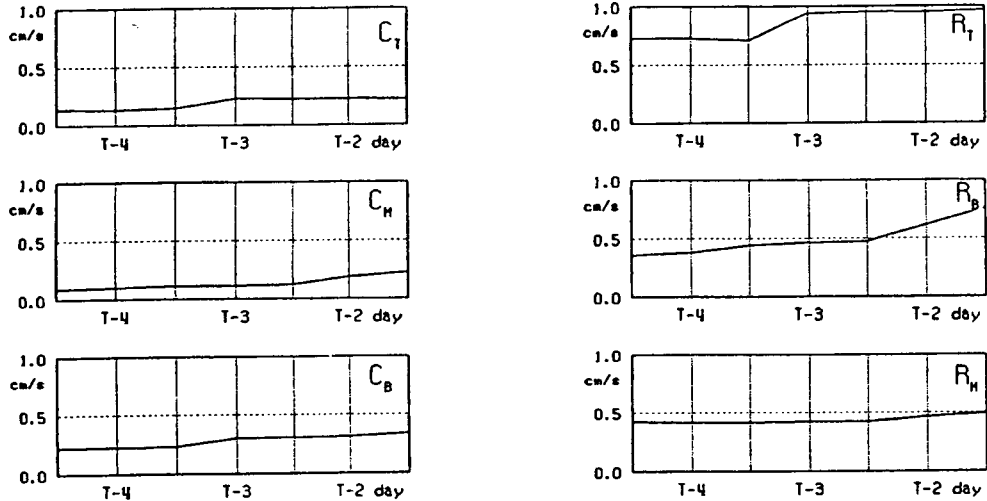


Fig. 8. Rms amplitude for the difference between computed and predicted wind-driven currents for the time lags at stations in the Sachon Bay.

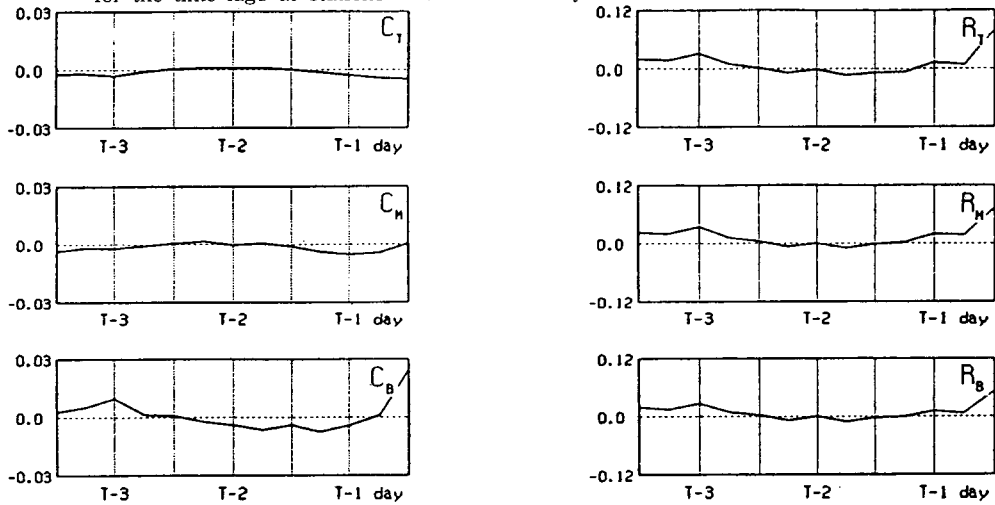


Fig. 9. Variation of the response function (U-component) for three days at 6 stations in the Sachon Bay.

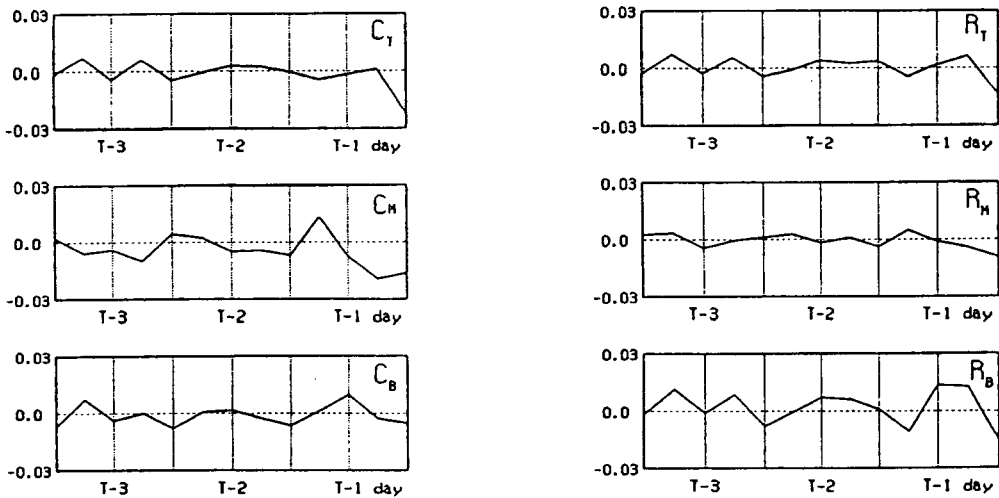


Fig. 10. Variation of the response function (V-component) for three days at 6 stations in the Sachon Bay.

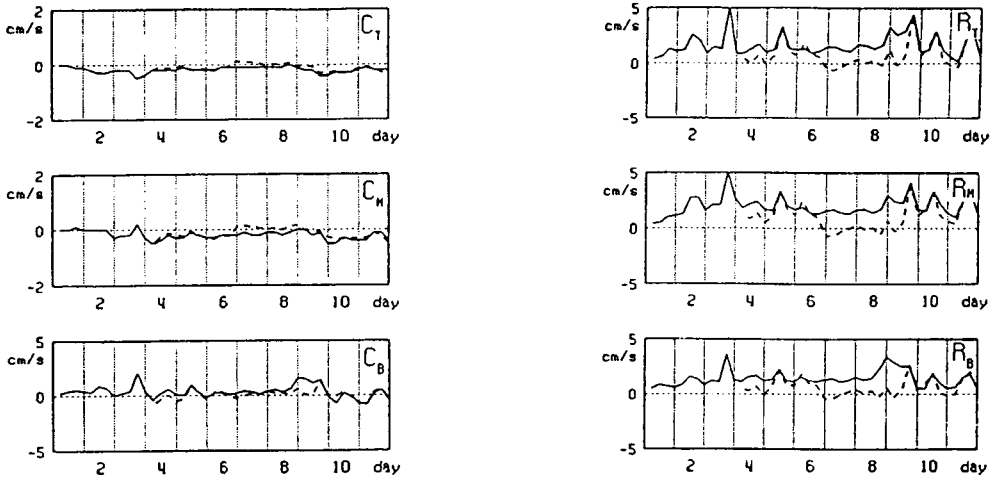


Fig. 11. Comparison of computed (solid line) and predicted (dashed line) wind-driven currents (U-component) at 6 stations in the Sachon Bay.

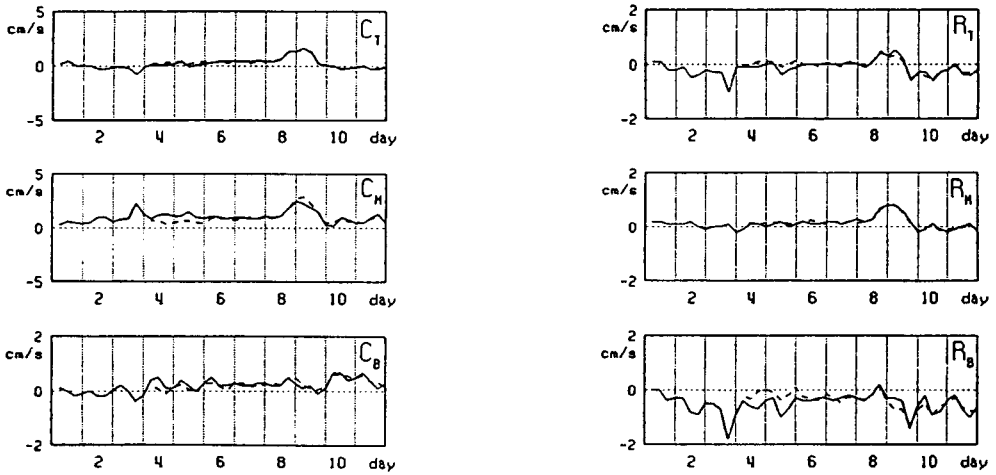


Fig. 12. Comparison of computed (solid line) and predicted (dashed line) wind-driven currents (V-component) at 6 stations in the Sachon Bay.

는 미국 Texas-Louisiana 연안에서 3년(1992~1994)동안 유함수를 이용하여 계산한 해류와 관측한 해류를 비교하는데 rms ratio를 도입하였다. 이 해역에서 공간적으로 평균한 rms ratio는 여름철에 0.508이고 여름을 제외한 계절에 0.438로서 convolution 기법을 이용하여 계산한 rms ratio 보다 높았다. 한편, 사천만을 공간적으로 평균한 운동에너지 회수의 정도는 0.87로서 convolution 기법을 이용한 취송류의 운동에너지가 수치모델을 이용한 취송류의 운동에너지의 87%를 회수하였다. 운동에너지의 회수율(rrke; recover rate of kinetic energy)은 사량도와 사천군사이의 해역에서 60% 이하이나, 그 외 해역에서 80~90% 정도의 높은 회수율을 보이고 있다 (Fig. 13(d)).

3.3. 관측치와 예측치의 비교

Fig. 2의 C₁ 지점과 C₂ 지점에서 각각 11일 동안, 6일 동안 유속계를 계류하여 해수유동을 관측하였다. Fig. 14에서는 C₁ 지점과 C₂ 지점에서 10분 간격으로 5 m 수심에서 연속 관측한 유속의 시간적 변동을 나타내었다. C₁ 지점에서 유동은 연안을 따라 창조시와 낙조시에 각각 북서방향과 남동방향으로 흐르며, 낙조시 남동방향의 유속은 창조시 북서방향의 유속보다 강하였다. 반면, C₂ 지점에서의 유동은 창조시와 낙조시에는 각각 북서방향과 동남동방향으로 흐르며, 낙조시보다 창조시의 유속이 크게 나타났다. 따라서 C₁ 지점과 C₂ 지점에서 조석간차류의 방향은 남향과 북향으로서 두 지점간 반대이고 그 크기도 각각 약 50 cm/sec, 30 cm/sec로서 그 차가 약 20 cm/sec였다.

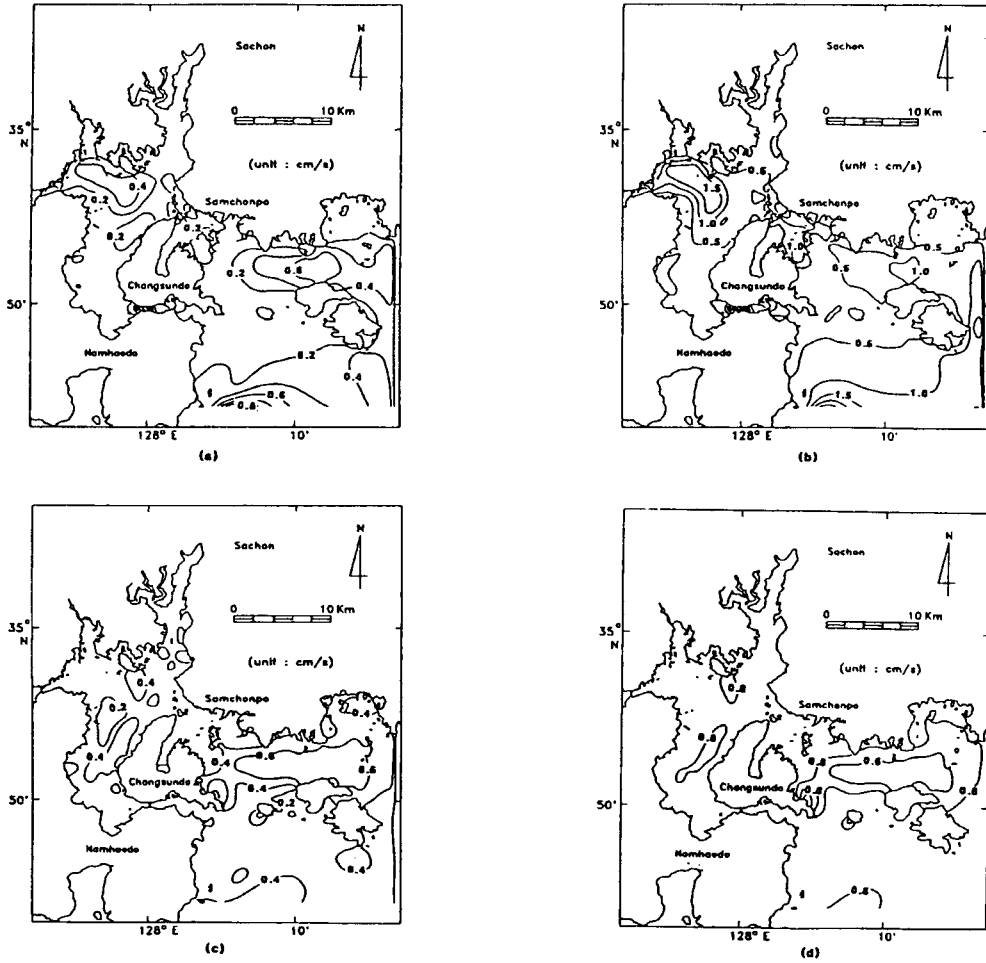


Fig. 13. Rms error (a), rms speed (b), rms ratio (c) and recover rate of kinetic energy (d) for the difference between computed and predicted wind-driven currents in the Sachon Bay.

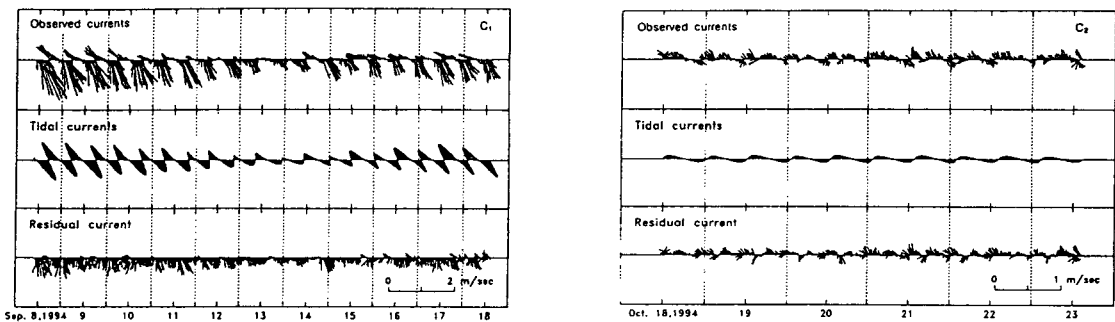


Fig. 14. Observed currents, tidal currents and residual currents at C_1 and C_2 .

Fig. 15에서는 고정점(C_1 , C_2)에서 연속 측류한 유동결과와 실시간으로 예측한 조류의 변동을 나타내었다. Fig. 15에서 상단에 있는 시계열은 관측한 해수유동에서 5대 분조의 조류성분만을 산출해 낸 결과이고, 중단에 있는 조류의 변동은 5대 분조를 이용하여 식 (1), (2)로부터

실시간으로 예측한 결과이다. 또한 하단에 있는 그림은 관측치로부터 5대 분조의 조류성분에 대한 조류의 변동과 5대 분조를 이용하여 실시간으로 예측한 조류의 변동간의 차를 나타낸다. C_1 지점에서 관측한 조류와 예측한 조류간의 표준편차는 5.9 cm/sec로서 관측한 조류의 진

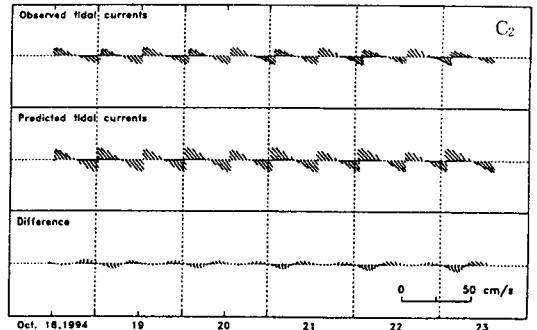
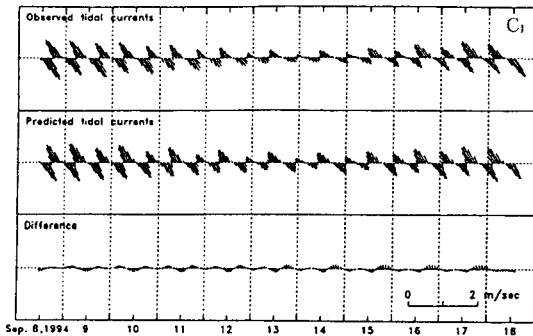


Fig. 15. Observed tidal currents, predicted tidal currents and the difference between observed and predicted tidal currents at C_1 and C_2 .

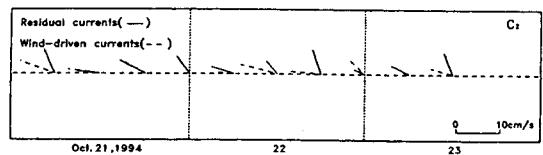
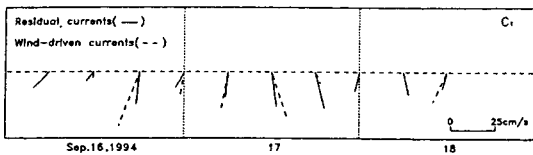


Fig. 16. Observed residual currents and predicted wind-driven currents in C_1 (left) and C_2 (right).

속 (63 cm/sec)의 9.3 %에 해당되었다. C_2 지점에서 조류의 관측치와 예측치간의 변동은 유사하였으며, C_1 지점의 대조기 시점보다 1/4배 정도인 약 13 cm/sec 였다.

한편, 고정점에서 관측한 유속에는 조류성분을 제외한 잔차류에는 취송류(wind-driven current), 조석잔차류(tidal-induced residual current)와 밀도류(density-driven current)등을 포함하고 있다. Fig 14(a)에서 조석잔차류의 변동을 조석의 주기별로 보면 조석잔차류의 크기는 대조기가 소조기보다 크게 나타났으며, 장기간 동안 취송류와 밀도류의 기여분이 같더라도 조석의 주기에 따라 조석잔차류가 달라짐을 알 수 있다. 그러므로 월령(Moon's age)에 따른 조석잔차류의 변동을 배제하기 위하여, 월령이 비슷한 3일간의 잔차류를 관측한 취송류로 간주하였다. 즉, 3일간의 취송류 변동에는 조석잔차류, 취송류, 밀도류 등이 포함되어 있고 조석잔차류와 밀도류는 3일 동안 일정한 값을 갖는 것으로 가정하였다.

유속 관측점 C_1 과 C_2 지점에서 관측한 조석잔차류와 convolution 기법을 이용하여 예측된 취송류를 비교한 결과를 Fig. 16에 나타내었다. Fig. 16의 상단과 하단의 그림은 C_1 지점과 C_2 지점에서 각각 관측치와 예측치를 나타내었다. 관측치와 예측치를 비교하여 보면, 유속의 크기는 다소 차이가 있으나, 전반적으로 유향은 유사하게 나타났다. C_1 지점에서 조석잔차류는 평균유속 15 cm/sec로 남향류를 보이고 있으며, 예측한 취송류는 평균유속 13 cm/sec로 역시 남쪽으로의 흐름을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 조석잔차류와 예측한 취송류간의 크기의 차에 대한 평균은 8.4 cm/sec로서 조석잔차류의 평균유속의 56 % 정도에 해당한다. C_2 지점에서 조석잔차류의 평균유속은 C_1 지점에서 조석잔차류 평균유속에 비해 약 1/3 정도인 5 cm/sec이고 흐름의 방향도 북서향이다. 예측한 취송류

의 평균유속은 5.9 cm/sec이고, 북서 ~ 서북서향으로의 흐름이 우세하게 나타났다. 조석잔차류와 예측한 취송류간의 유속 차에 대한 평균유속은 3.1 cm/sec로서 조석잔차류 평균유속의 62 % 정도에 해당한다.

4. 결 론

본 연구에서는 사고 발생지점에서 실시간으로 바뀌는 바람을 입력자료로 하여 취송류를 신속하게 예측할 수 있는 convolution 기법을 도입하였고, 이 기법을 사천만에 적용하였다. 예측한 조류와 취송류를 포함한 유속을 관측한 유속과 비교 검토하고 그 재현 정도로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

사천만의 가장자리에 위치한 사랑도와 사천군 사이, 진주만 입구 및 남해도 입구를 제외하고는 rms ratio가 0.2이하이다. 수치모델을 이용한 취송류에 대해서 convolution 기법을 이용한 취송류의 운동에너지 회수율은 사랑도와 사천사이의 해역에서 60 % 이하이지만, 만의 우측 가장 자리를 제외한 해역에서는 60 ~ 90 % 정도로 높은 회수율을 보인다. 또한, 사천만에서 공간적으로 평균한 rms ratio 와 운동에너지 회수율은 각각 0.37, 87 %이다.

C_1 지점에서 관측한 취송류와 예측된 취송류의 평균 유속은 각각 15 cm/sec와 13 cm/sec이고, 유향은 관측한 취송류나 예측된 취송류가 모두 남향류이다. C_2 지점에서 관측한 취송류와 예측된 취송류의 평균유속은 각각 5 cm/sec 및 5.9 cm/sec이고, 관측한 취송류와 예측된 취송류의 유향은 각각 북서류, 북서 ~ 서북서류이다. C_1, C_2 지점에서 관측한 값으로부터 구한 취송류의 평균유속에 대한 예측한 취송류와의 비는 각각 56 %, 62 %이다.

이상의 결과로부터 convolution 기법을 이용한 취송류 예측기법은 물질이동과 확산의 예측에 유용하게 사용될

수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문을 자세히 검토해 주시고 좋은 논문이 될 수 있도록 의견을 주신 노재식 박사님, 해양연구소 박광순 박사님, 여수대학교 추효상 교수님, 부경대학교 김헌태 교수님, 해양산업개발연구소 조광우 박사님께 감사 드립니다. 또한, 논문의 원고를 세밀하게 심사하여 주시고 날카로운 지적과 많은 조언을 해 주신 심사위원분께 감사드립니다.

참고 문헌

- 1) 이석우, 1992, 한국근해해상지, 집문당, 334pp.
- 2) 최병호, 고진석, 김동철, 1995, 남해도 해역 조석의 신속 추정법. 한국해양·해양공학회지, 7, 368-378.
- 3) 이문진, 1996, 프랙탈을 이용한 해양 확산모델 연구. 부경대학교 이학박사 학위논문, 141pp.
- 4) Schureman, P., 1988, Manual of harmonic analysis and prediction of tides. United States Government Printing Office, 317pp (reprinted 1940, 1958, 1976, 1988).
- 5) Foreman, M. G. G., 1978, Manual for tidal currents analysis and prediction. 78-6, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, 101pp.
- 6) Csanady, G. T., 1982, Circulation in the coastal ocean. D. Reidel Publ. 279pp.
- 7) Seabergh, W. C. and S. R. Vemulakonda, 1992. Effects of wind on circulation in Los Angeles-Long Beach Harbors. In : M.L. Spaulding, K. Bedford, A. Blumberg, R. Chend and C. Swanson (eds.), Estuarine and coastal modeling, ASCE. 551-563.
- 8) Cho, K. W., 1996, Three dimensional structure and variability of low-frequency currents on the Texas-Louisiana shelf based on moored current meter data. Ph.D. Dissertation, Texas A&M University, 121pp.