

아산만내의 조류 및 취송류 수치모형 실험

최양호*, 노영재*

1. 서론

70년대 이후 서해 연안 개발 사업에 의해 아산만은 서해안 개발의 대표적인 지역으로 환경 변화의 속도가 그 어느 곳보다 빠르며, 방조제 건설과 간척지 개발로 인한 해안선의 변화와 항만 건설에 따른 준설 작업으로 인한 수심의 변화가 생기고 있는 지역이다 (Fig. 1).

그러나 이러한 급격한 변화 과정을 겪고 있는 아산만에서의 해수 순환과 오염물 확산의 문제에 대한 구체적인 연구 성과가 미비한 실정이다. 아산만에 대한 물리해양학적 측면의 연구는 Ahn과 Lee (1976)에 의해서 수행되어진 바 있으며, 최근 들어 연안 개발 사업을 위한 타당성 조사 및 환경영향 평가 사업의 일환으로 조사, 연구가 수행되고 있는 실정이다(한국전력기술(주), 1993; 해운항만청, 1995; 한국전력기술(주), 1996).

아산만내의 해수 유동은 대체로 다음 세가지에 기인한다고 볼 수 있다. 첫째, 조석에 의한 조류와 조석 잔차류, 둘째, 바람에 의한 취송류, 셋째, 인공 방조호 (아산호, 삼교호 등)에서 간헐적으로 배출되는 담수에 의한 밀도류이다.

본 연구에서는 이러한 아산만 내의 해수 순환과 오염물 확산 문제를 체계적으로 이해하기 위한 첫단계로써, 조석에 의한 조류 및 잔차류와 바람에 의한 취송류 발생 양상과 크기를 예측하기 위하여 Princeton Ocean Model (Blumberg and Mellor, 1987, 이하 POM)을 기반으로 수치 실험을 수행하였다.

2. 모델의 개요 및 조건

본 연구 목적을 위해서 사용한 POM은 수심에 대해 sigma 좌표계를 사용하고, Boussinesq 근사와 유체역학적 근사를 사용하여, 연속방정식과 관성항, 중력항, 해저면 및 해수 표면 마찰항, 수평 와동 점성항, coriolis항 등을 고려한 원시운동방정식을 사용한다. 본 연구에서는 경계조건을 이용하여 수직 적분된 지배방정식을 이용하였다.

격자는 Staggered grid (Arakawa C-grid)를 사용하며, 차분화 방법으로는 이류항에 대해서는 Centered space 방법을 사용하고, 시간에 대해서는 leap frog 방법을 사용한다. time step splitting에 의한 instability를 제거하기 위하여 각 time step마다 weak filter (Asselin, 1972)를 이용해서 smoothing 한다.

본 연구 해역은 x(동-서)방향으로 약 46.3 km, y(남-북)방향으로 약 31.5 km의 크기인 만으로서, 격자 간격은 x, y방향으로 동일하게 926 m를 사용하여 50x34의 격자를 구성하였다 (Fig. 2).

시간 간격은 Courant-Friedrichs-Lewy(CFL) 조건을 만족하는 15.5초로 결정하였고, 전 모델 영역에서의 coriolis 계수(f)는 $8.364E-05$ 를 사용하였다.

해수 유동장에 대해서는 운동이 없는 초기조건을 가정하였으며, Lateral boundary에 대해서 no slip condition을 사용하였다.

바람의 효과를 위해서 해수 표면에서는 wind stress momentum flux를 이용하였으며, 해저면에서의 마찰은 Manning의 마찰계수를 이용한 quadratic law를 사용하였다.

개방 경계에서는 경계면 선상의 각 격자점에 시간에 따른 주요 4대 분조의 조위 값을 부과하였으며, 취송 순환 실험시에 외해와의 개방 경계면에서는 방사 조건(Radiation condition)을 사용하였다

* 충남대학교 해양학과 (Department of Oceanography, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea)

(Chapman, 1985).

3. 수치 실험 결과

3-1. 모델의 검증

본 연구에서는 조위 및 유속 검증을 위해서 관측치와 모델 결과치를 조화 분석하여 조화상수 및 비조화상수를 얻었으며, 비교 검증에는 M2, S2, O1, K1 등의 4대 분조를 이용하였다.

관측치와 모델의 결과치에 관한 조위 자료의 조화분석 결과, 조위는 K1분조의 관측치에 대해서 최대 상대 오차를 6.2%를 나타내고, 지각은 S2분조의 관측치에 대해서 2.5%의 최대 상대 오차율을 나타내고 있다.

관측치와 모델의 결과치에 관한 유속 자료의 조화분석 결과, 중앙천퇴에서의 동-서 성분 유속은 M2분조의 관측치에 대해서 8.4%의 최대 상대 오차율을 나타내고, 남-북 성분 유속에서는 O1분조의 관측치에 대해서 18.5%의 최대 상대 오차율을 나타내고 있다.

3-2. 조석 및 조류의 재현

수치 실험 결과치에 관한 조위 자료의 조화분석 결과, M2분조의 경우 개방 경계 부근에서 반조차 265.0 cm로써 만내로 진입하면서 가곡리에서 285.0 cm, 평택항에서 295.0 cm, 삼교호 앞에서 310.0 cm로 증가하고 있으며, 지각은 개방 경계 부근에서 115 °이고, 평택항에서 122.5 °를 보여 약 3.5분의 시차를 보여주고 있다. S2분조의 경우 개방 경계 부근에서 반조차 105.0 cm로써 만내로 진입하면서 가곡리에서 110.0 cm, 평택항에서 110.5 cm, 삼교호 앞에서 114.5 cm로 증가하고 있으며, 지각은 개방 경계 부근에서 156 °이고, 평택항에서 170 °를 보여 약 7분의 시차를 보여주고 있다. K1분조의 경우 개방 경계 부근에서 반조차 41.5 cm로써 만내로 진입하면서 가곡리에서 40.5 cm, 평택항에서 39.5 cm, 삼교호 앞에서 38.0 cm로 감소하고 있으며, 지각은 개방 경계 부근에서 282 °이고, 평택항에서 289 °를 보여 약 1.8분의 시차를 보여주고 있다. O1분조의 경우 개방 경계 부근에서 반조차 34.0 cm로써 만내로 진입하면서 가곡리에서 30.0 cm, 평택항에서 28.0 cm, 삼교호 앞에서 22.0 cm로 감소하고 있으며, 지각은 개방 경계 부근에서 262 °이고, 평택항에서 265 °를 보여 약 0.7분의 시차를 보여주고 있다.

창조류의 최강 유속 분포는 중앙천퇴를 기준으로 남측 수로와 북측 수로로 나뉘어져 만내로 진입하는 조류 양상을 잘 보여주고 있다. 만 입구에서는 최강 유속 1.4 m/sec를 보이고 있으며, 만내로 진입하여 중앙천퇴를 따라 진행하면서 1.1 m/sec 약해지다가 내만 입구(노미각)에서 한진각측으로 휘어진 조류가 압류하면서 최강 유속 1.5 m/sec를 보이고 있다. 또한 남양만내로 진입한 조류는 좁은 골을 따라 신리각을 지나면서 1.4 m/sec로 강하게 남양각으로 유입되고 있다 (Fig. 3).

낙조류의 최강 유속은 조위 위상 180 °에서 최강 유속을 보이지 않고 약 1태음시 후에 최강 유속을 보이고 있다. 노미각 전면에 걸쳐서 최강유속 1.5 m/sec를 보이고 있으며, 외만으로 빠져나가면서 1.0 m/sec로 약해지다가 남양만에서 유출되는 조류와 만나 다시 1.1 m/sec로 강해지고, 만 입구로 접근하면서 1.0 m/sec로 약해져서 외해로 빠져나가고 있다 (Fig. 4).

각 격자점에서의 조석 1주기 동안의 Eulerian residual currents의 계산 결과, 중앙천퇴 부근에 3개와 내만에 1개의 시계방향의 잔차와류 등이 있으며, 내만에서 미약한 반시계방향의 잔차와류가 있음을 보여주었다 (Fig. 5).

3-3. 취송 순환 실험

본 연구에서는 연구 해역의 취송 순환의 특성을 파악하기 위하여 균일한 서풍과 남풍에 대한 수치 실험과 실제 바람 관측 자료에 대한 수치 실험을 실시 하였다.

아산만의 실제 수심에 대해서 서풍과 남풍이 각각 5 m/sec로 3일간 불었을 경우를 가정하여 수행한 실험 결과, 서풍의 경우 만입구에서 남측 수로를 따라 유입된 물이 중앙천퇴를 반시계방향으로 회전하여 북측 수로를 따라 빠져나가 북측 해안을 따라 흐르는 흐름에 합류하여 시계방향으로 회전하는 순환 형태를 보여주고 있으며, 북측 해안을 따라 흐르던 흐름은 남양호 앞에서 일부는 중앙천퇴 주변 흐름에 합류하여 커다란 순환을 형성하며, 나머지는 내만으로 유입되는 양상을 보여주고 있다. 남풍의 경우는 보다 복잡한 순환 형태를 보여주고 있다. 가곡리 해안의 물이 남양만 안으로 유입되면서 이 부근의 물을 보충하기 위해서 북측 수로에서 유입되는 흐름이 발생하고 남측 수로에서는 일부가 가곡리 해안으로 유입되며 대부분은 중앙천퇴를 횡단하여 북측 수로에 합류하는 양상을 보여주고 있다. 남양만으로 유입된 물은 북측 해안을 따라 외해로 빠져나가다가 대부분이 북측 수로와 합류하여 반시계방향의 순환 형태를 이루고 있다. 내만에서는 시계방향과 반시계방향의 순환이 쌍을 이루면서 순환하고 있음을 볼 수 있다. 최강 유속은 서풍이 불었을때 10 cm/sec이고 남풍이 불었을때 13 cm/sec로 비슷한 크기를 나타내고 있지만 바람 방향에 따라서 해수 순환 형태가 전혀 다르게 나타남을 보여주고 있다.

아산만에 인접한 서산 기상청의 연속 조류 관측 기간과 같은 시기의 바람 관측 자료중 강하고 지속적인 연속 3일간의 바람 자료를 이용한 취송 순환 실험 결과, 북풍 계열이 탁월한 바람에 대해서 순환 형태는 내만을 제외하곤 남풍의 경우와 정반대로 시계방향의 순환 형태가 형성됨을 보여주고, 최강유속은 8 cm/sec를 보였다 (Fig. 6).

4. 결론

조석 및 조류의 재현 결과 아산만에서의 조석은 만내로 진입하면서 지각은 증가하는 경향을 보여주고 있으나, 조차는 반일주조의 경우 증가하지만 일주조의 경우는 감소하는 경향을 보여주었다. 만내로 유입되는 조류의 특성은 만이 놓여 있는 북서-남동 방향으로의 흐름이 우세하였고, 중앙천퇴를 기준으로 북측 수로와 남측 수로로 분리되어 만내로 유입됨을 보여주었다. 만입구에서 유입시 최강유속은 1.4 m/sec이며, 중앙천퇴를 지나면서 약해지다가 노미각 전면에서 압류되면서 1.5 m/sec로 내만으로 유입됨을 보여주었다.

조석 1주기 동안의 Eulerian residual currents의 계산 결과, 중앙천퇴 부근에 3개와 내만에 1개의 시계방향의 잔차와류 등이 있으며, 내만에서 미약한 반시계방향의 잔차와류가 있음을 보여주었다

취송 순환의 실험 결과 아산만에서의 바람 자료를 근거로 한 취송류의 유속은 표면 마찰계수에 따라 차이를 보이고 있으나 10 cm/sec내외를 보여주었으며, 전반적인 순환 형태는 변화가 없었다.

본 연구에 추가하여 연안 개발 사업과 항로 준설에 의한 해안선과 수심 변화에 따른 해수 유동 모델과 방조제로 부터의 담수 유입에 의한 밀도류 순환을 재현해 봄으로써 아산만 및 연근해에서의 순환 형태를 근본적으로 이해할 수 있으며, 본 연구의 결과는 밀도류 순환 및 오염물 확산 실험 등의 기본 자료로 이용될 수 있으리라 생각된다.

참고문헌

- 한국전력기술(주), 1993. 해양 조사 보고서 - 당진 화력 1,2호기 설계 기술용역, 260pp.
 한국전력기술(주), 1996. 삼성 민자 화력 발전소 해양 조사 보고서, 153pp
 해운항만청, 1995. 아산항 종합개발 기본계획 보고서 - 수치모형실험(VI - III), 310pp
 Ahn H.S. and S.W. Lee, 1976. A numerical experiment on tidal currents in Asan Bay, J. Ocean. Society of Korea, Vol. 11, No. 1, 18-24.
 Asselin, R., 1972. Frequency filters for time integrations, Mon. Weather Rev., 100, 487-490.

- Blumberg A.F. and G.L. Mellor, 1987. A description of a three- dimensional coastal ocean circulation model., in *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, Coastal Estuarine Sci., edited by N. Heaps., AGU, Washington, D.C., Vol. 4, 1-16.
- Chapman D.C., 1985. Numerical Treatment of Cross-Shelf Open Boundaries in a Barotropic Coastal Ocean Model. *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. 11, 1060-1075.

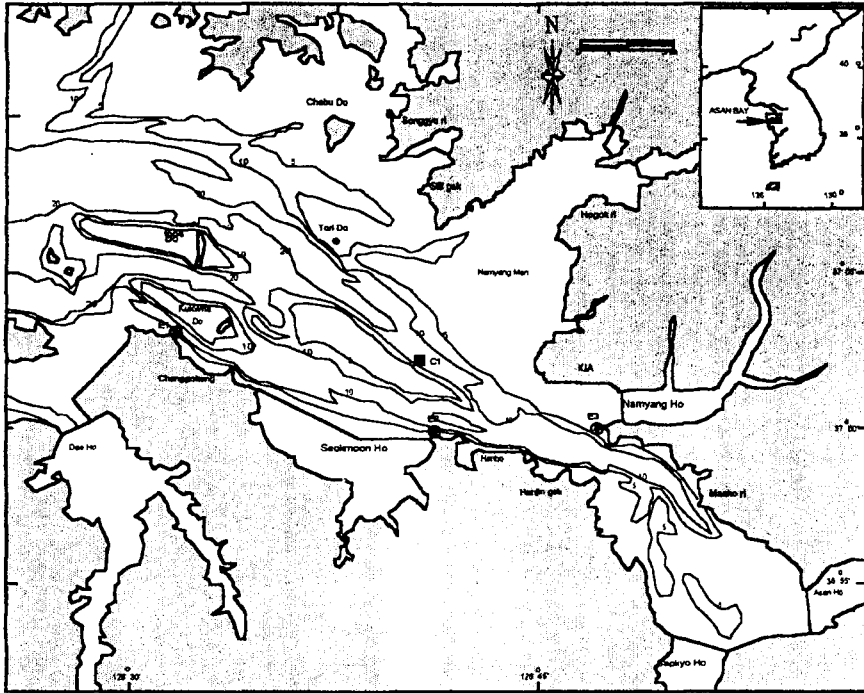


Fig. 1 Bathymetry of the Asan Bay and Model calibration points.

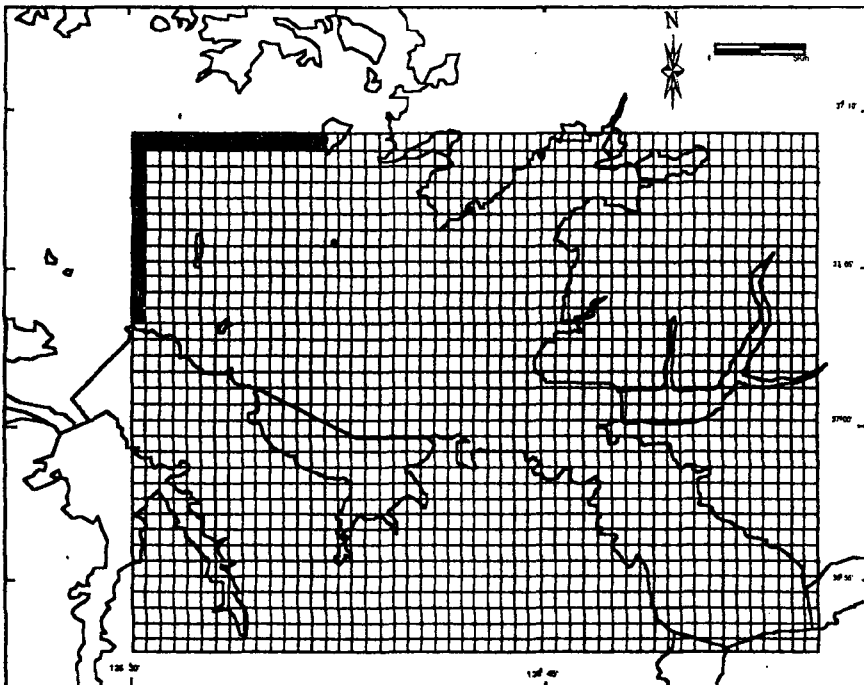


Fig. 2 Computational grid system (grid spacing : $dx=dy=926$ m).

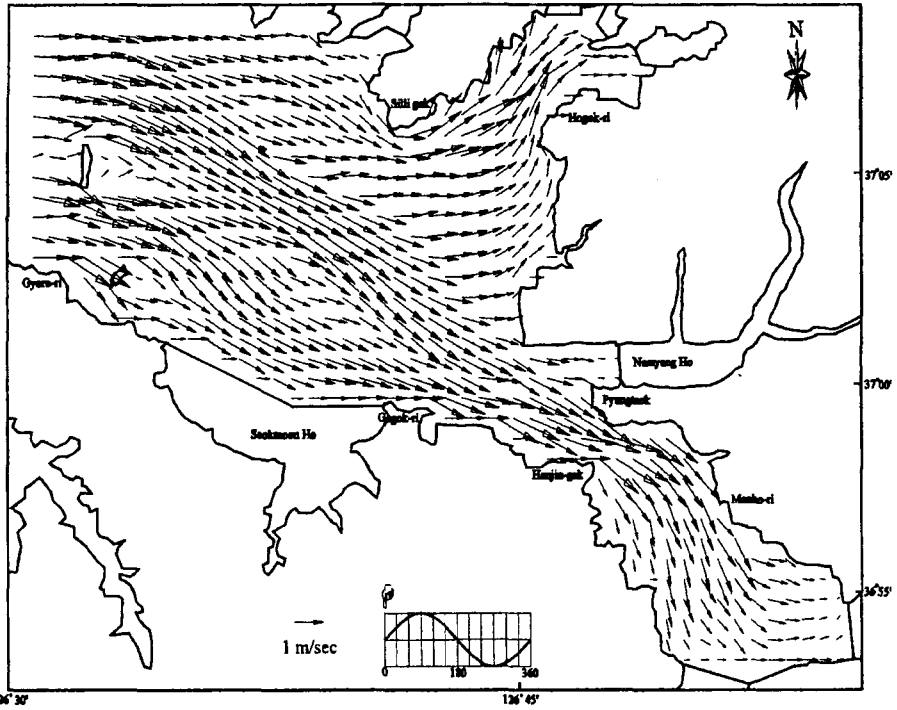


Fig. 3 Maximum flood flow pattern of the modelled tidal current

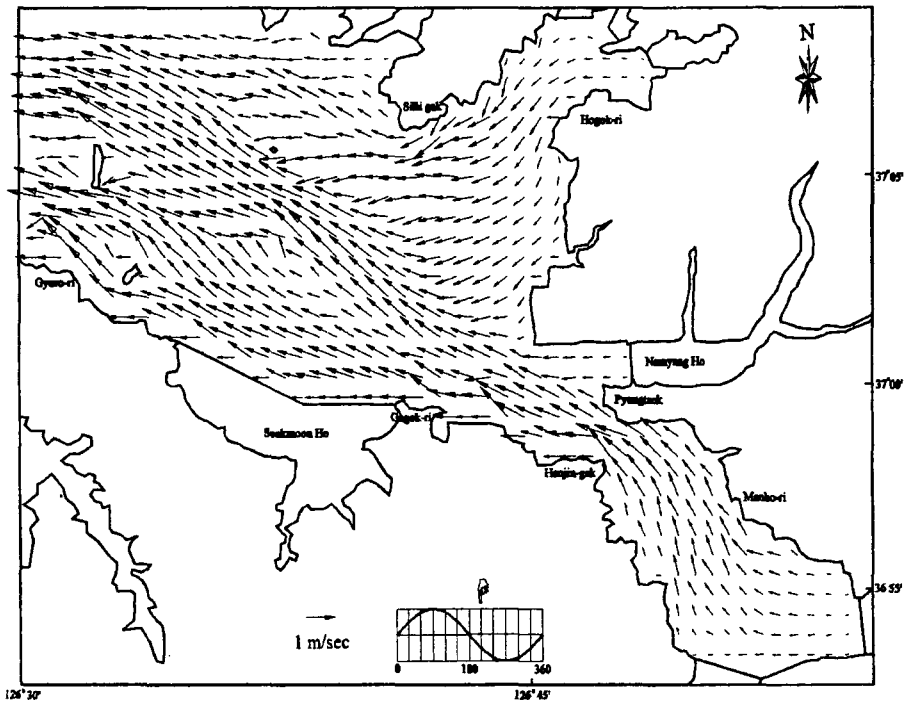


Fig. 4 Maximum ebb flow pattern of the modelled tidal current

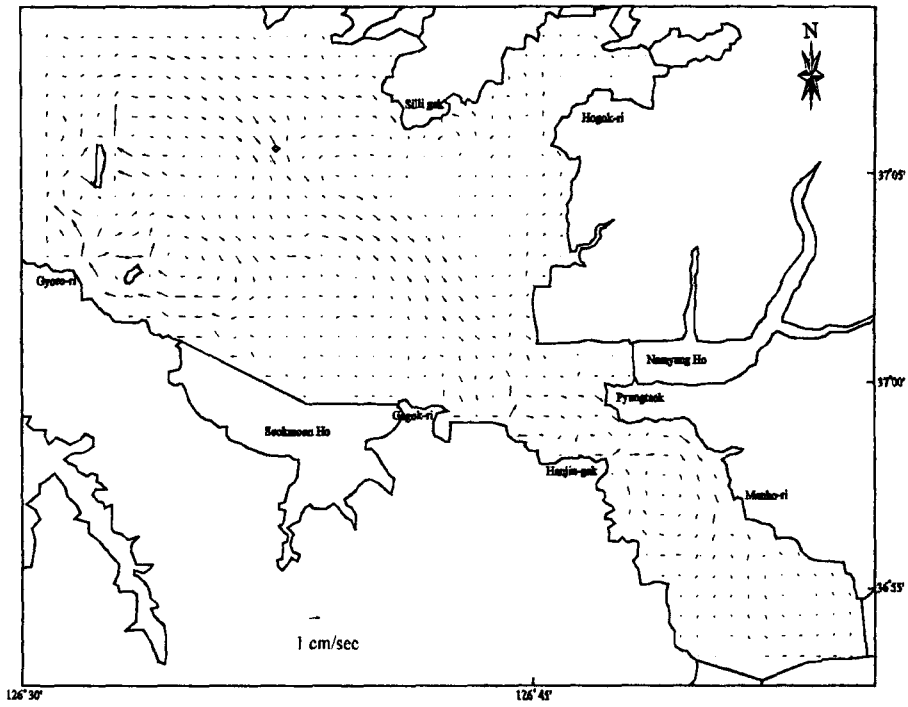


Fig. 5 Eulerian residual current field for the modelled tidal current.

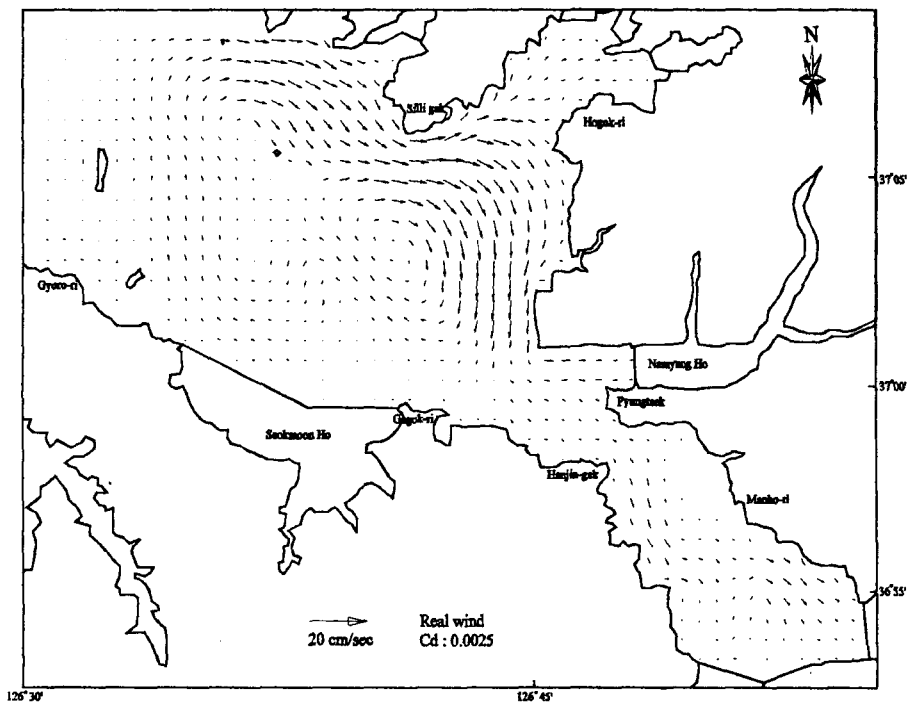


Fig. 6 The modelled wind-driven current field with observed real wind