
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 32 卷 第 2 號 1995年 5月
 Transactions of the Society of
 Naval Architecture of Korea
 Vol. 32, No. 2, May, 1995

조석 및 바람에 의한 실해역 표층유동의 계산

노준혁* , 윤범상*

Numerical Computation of Near Shore Surface Flow due to Tide and Wind

by

J. H. Rho* and B. S. Yoon*

요 약

본 연구에서는, 이미 개발된 3차원 해류유동 수치해석 기법을 불규칙한 해저지형과 복잡한 육지지형을 가지는 인천항 부근의 연안해역에 적용하였다.

3차원 다층기법에 의한 계산결과와 2차원 수심평균기법에 의한 계산결과를 비교하여 조류의 연직구조에 미치는 해저지형의 효과를 조사하였다.

또한, 해석해에 의한 결과와 본 연구에서 제안된 수치해석 기법에 의한 계산결과와의 비교를 통하여 취송류의 연직구조를 조사하였다. 인천항부근 연안해역의 대표적인 단면을 택하여 해석해에 의한 결과 및 경험값에 의한 결과와 본 연구에서 제안된 수치해석 기법에 의한 계산결과를 비교하여 취송류에 미치는 해저지형의 효과를 조사하였으며, 경험값에 의한 결과와 본 수치해석기법에 의한 계산결과와의 비교를 통하여 취송류에 미치는 육지지형의 효과도 조사하였다.

Abstract

In this paper, a 3-dimensional multi-layer current simulation program is applied to real shore area near Incheon harbor with highly irregular bottom and continental geometry. The effects of bottom topography on vertical structures of the ocean tidal current is investigated through comparing the calculated results by 2-dimensional depth averaged approach and the present method. Wind induced current, which may be more dominant factor in predicting oil spill behavior, is also simulated by the present computation algorithm. Comparison shows quite large differences not only in vertical distribution of the current but also in the direction of the surface current.

발 표 : 1994년도 대한조선학회 추계연구발표회('94. 11. 12.)

접수일자 : 1994년 12월 2일, 재접수일자 : 1995년 4월 13일

* 정희원, 울산대학교 조선 및 해양공학과

1. 서론

해양을 오염시키는 많은 원인들중에서 특히 주된 원인은 해난사고로 인하여 누출된 기름이고, 누출된 기름은 그 확산체계에 의하여 오염지역을 확대 시킬 뿐만 아니라, 조류·파도·바람 등에 의하여 새로운 지역으로 이동을 하게 된다. 누출된 기름이 해안지역으로 이동을 하게 되면 양식장과 해변, 그리고 해양레저 시설에 막대한 피해를 주게 된다. 이러한 해양환경의 피해를 최소화 하기 위해서는 시간에 따른 누출된 기름의 위치변화, 오염지역의 범위등을 예측하는 작업이 선행되어야 하는데, 누출된 기름의 거동은 조석에 의한 조류, 기타 해류, 바람과 파도에 의한 표류를 중첩함으로써 예측할 수가 있다. 오늘날, 바람과 파도에 의하여 유기된 해류등은 측정값, 또는 경험값들이 사용되고 있으며 오직 조류만이 다양한 전산모사기법에 의하여 계산이 되고 있다[1-4].

특히, 연안해역에서의 표층류의 거동을 예측함에 있어서는, 해저지형의 복잡성 때문에 특별한 관심이 요구되는데, 이는 해저지형의 형상이 해류의 수직구조를 변화시키고, 따라서 표층류를 변화시킬 것이기 때문이다.

3차원 해류유동 수치해석 기법이 개발되었는 바 [5], 이를 인천항 부근의 연안해역에 적용하여 해저지형 및 육지지형의 영향을 조사하였다.

실해역 관측자료의 입수가 어려운 관계로 가상조건하에 계산한 조류유동 구조는 예상한 바와 같이 3차원 효과가 강하게 나타났고, 따라서 기상오염의 수치실험에서도 3차원 영향이 큰것으로 예측되었다.

바람이 유기하는 표층류는 누출된 기름의 거동에 더욱 커다란 영향을 미치는데, 본 연구에서는 이의 수치추정도 시도하였다. 통상 사용해 오던 경험식과 비교해 볼때 취송류의 연직구조 및 진행방향등에 있어 커다란 차이가 생기는 등 몇가지 유용한 결과가 얻어져 이를 보고하고자 한다.

2. 계산방법

2.1 좌표계 및 기본방정식

좌표계는 Fig.1 에 표시한 것과 같이 x-y평면이 정수면과 일치하고, z축이 연직상방인 우수좌표계를 사용한다. x-, y-, z- 방향으로의 속도성분은 각각 $u(x,y,z,t)$, $v(x,y,z,t)$, $w(x,y,z,t)$ 로 정의한다. $H(x,y)$ 는 수심을 의미하고, $\eta(x,y,t)$ 는 정수면으

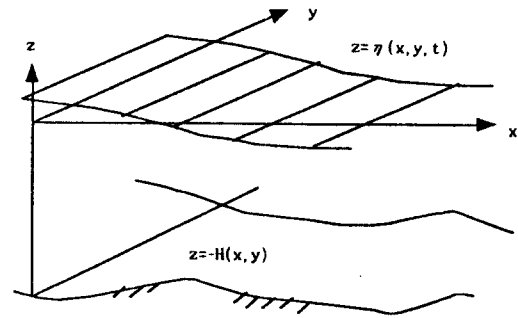


Fig. 1 Coordinate system

로부터 수면의 변위를 의미한다.

여기서, 정수압[6], 등밀도 근사를 이용하면 다음의 기본 방정식들을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = \quad (1)$$

$$-g \frac{\partial \eta}{\partial x} + fu + A_M \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + K_M \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} = \quad (2)$$

$$-g \frac{\partial \eta}{\partial y} - fu + A_M \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + K_M \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

여기서,

- A_M, K_M : 수평, 수직방향의 와 동점성계수
- g : 중력가속도
- f : 코리올리 계수 (= $2\Omega \sin \phi$)
- Ω : 지구 자전 각속도
- ϕ : 위도

미지수가 u, v, w, η 이므로 해를 얻기위해서는 방정식이 하나 더 필요한데 이는 자유표면 경계조건과 해저면 경계조건을 고려하여 연직방향으로 연속 방정식을 적분함으로써 다음과 같이 얻을수 있다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{-H}^{\eta} u \, d\sigma + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-H}^{\eta} v \, d\sigma = 0 \quad (4)$$

2.2 경계조건

자유표면 $z = \eta(x,y,t)$ 에서는 다음과 같은 두가지 형태의 경계조건이 만족되어야 한다.

$$\left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z}\right) = \frac{1}{\rho \cdot K_M}(\tau_{ox}, \tau_{oy}) \quad (5)$$

$$w = u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad (6)$$

여기서, (τ_{ox}, τ_{oy}) 는 자유표면에 작용하는 바람에 의한 마찰용력을 의미하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_{ox} = \rho_a C_d v_{wx} \sqrt{v_{wx}^2 + v_{wy}^2} \quad (7)$$

$$\tau_{oy} = \rho_a C_d v_{wy} \sqrt{v_{wx}^2 + v_{wy}^2} \quad (8)$$

윗 식에서 ρ_a 는 공기의 밀도, C_d 는 자유표면의 저항계수, v_{wx}, v_{wy} 는 바람의 속도성분을 의미한다. 해저면에서는 다음과 같은 형태의 경계조건이 적용된다.

$$\left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z}\right) = \frac{1}{\rho \cdot K_M}(\tau_{bx}, \tau_{by}) \quad (9)$$

$$w = -u \frac{\partial H}{\partial x} - v \frac{\partial H}{\partial y} \quad (10)$$

여기서, (τ_{bx}, τ_{by}) 는 해저면에 작용하는 마찰용력을 의미하며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_{bx} = \gamma \rho u_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2} \quad (11)$$

$$\tau_{by} = \gamma \rho v_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2} \quad (12)$$

윗 식에서 γ 는 해저면에서의 저항계수를 의미하며, (u_b, v_b) 는 해저면에서 가장 가까운 격자점에서의 속도성분을 나타낸다.

폐경계면에서는 비활(No-slip), 비침투(No-penetration)조건이 적용된다.

개방경계면에서는 조석에 의한 해면변위가 입력되며, 경계면에 대한 수직방향 속도변화는 없는 것으로 하였다.

$$\eta = \eta_o \sin \frac{2\pi}{T_o} t \quad (13)$$

$$\frac{\partial u}{\partial n} = \frac{\partial v}{\partial n} = 0 \quad (14)$$

윗 식에서, η_o 와 T_o 는 각각 조류의 진폭 및 주기를 나타낸다.

2.3 수치계산

기존의 x-y-z 물리좌표계에서는 복잡한 해저지형을 고려하여 격자를 분할하는 것이 쉽지 않다. 따라서, 해저지형이 복잡하거나 수심의 차이가 큰 지역에서의 재현성을 높이기 위하여 연직방향으로 σ 좌표를 도입하여 좌표변환을 하였다[5,7].

시간의 전개에 있어서는 Euler backward scheme과 혼합한 Leapfrog scheme을 사용하였고, 공간이산화에는 교차격자체계를 사용하였다.

3. 조류유동의 실험역 적용

3.1 계산조건

본 연구에서 제안된 수치모델을 인천항 부근의 연안해역에 적용하기 위하여 Fig.2 에 보인바와 같이 동경 126° 17'에서 동경 126° 37'까지 가로 30Km이고, 북위 37° 11'에서 북위 37° 28'까지 세로 30Km인 영역을 대상해역으로 선정하였다.

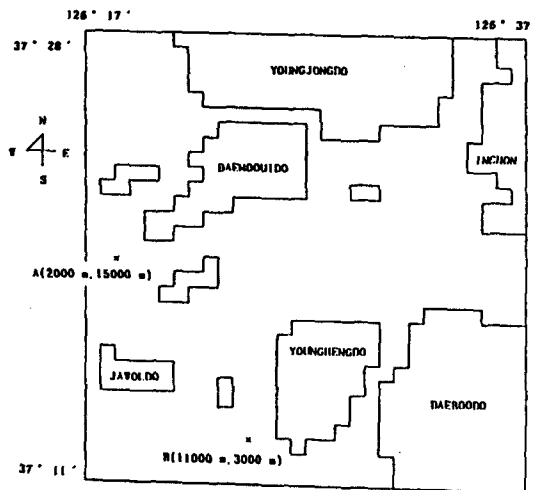


Fig. 2 Computation domain (near Incheon harbor, assumed positions where the results are compared)

서해안의 경우에는 조석간만의 차이가 심하기 때문에 시간의 경과에 따라 계산하고자 하는 영역이 변하게 되는데, 본 연구에서는 만조때를 기준으로 계산영역을 설정하였으며, 한강에서의 유입은 없는 것으로 하였다.

수심의 입력은 축척 1:75,000 의 수로국 간행 해도 No.306 을 참고하였으며, 각 격자에서의 수심을 이용하여 계산영역 전체의 조감도를 Fig.3 에 나타내었다. 수평면은 등간격을 가지는 30×30 개의 격자로서 분할하였고, σ 좌표는 Table.1 에 보인다. 계산에 사용된 각 계수는 Table.2 에 나타내었는데 코리올리항은 계산의 편의를 위하여 일단 무시하는 것으로 하였다. 계산의 시간간격은 Courant-Fredrichs-Lewy 의 안정조건을 충분히 만족하는 2초를 택하여 계산을 수행하였다.

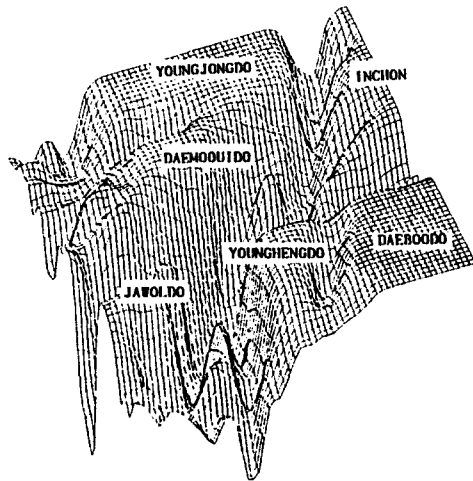


Fig. 3 Three dimensional geography of computation domain (near shore area of Incheon harbor)

Table 1. σ coordinates

k	σ_k	k	σ_k
1	-1.05	7	-0.45
2	-0.95	8	-0.35
3	-0.85	9	-0.25
4	-0.75	10	-0.15
5	-0.65	11	-0.05
6	-0.55	12	0.05

Table 2. Parameters used in calculations

f	0	Corioli's parameter
g	9.8m/s ²	gravitational acceleration
ρ	1025kg/m ³	sea water density
ρ_a	1.226kg/m ³	air density
NZ	10	No. of vertical layers
$\Delta x, \Delta y$	1km	grid spacing
A_M	100m ² /sec	horizontal eddy viscosity
K_M	0.001m ² /sec	vertical eddy diffusivity
γ	0.0026	bottom friction coefficient
Δt	2.0sec	time interval
u_w, v_w	0	wind velocity
ζ_0	0.5m	amplitude of input tide
T_0	12h30m	period of input tide

계산의 처음단계에서는, 초기조건으로서 모든 속도성분들과 자유표면의 변위를 0으로 하고 계산을 수행하였다.

3.2 속도장

본 연구에서는 조류의 연직구조와 표층류에 미치는 해저지형의 효과를 조사하기 위하여 2차원 수심 평균 속도성분들을 3차원 다층기법에 의한 속도성분들과 비교하였다.

서해안에 작용하는 분조중에서 가장 지배적인 영향을 미치는 12시간 42분이 한 주기인 M_2 분조(주태음 반일 주조)를 고려하기 위하여, 식 (13)에서와 같이 서쪽 개방경계면에서의 해면상승을 진폭이 50cm 이고, 12시간 30분의 주기를 갖고 조화운동을 하는 경계조건을 부과하여 10주기동안 수치계산을 수행하였다. Fig.4 는 10번째 주기에서 2시간이 경과했을때의 속도분포를 나타낸다. Fig.4-a 는 2차원 수심평균기법에 의한 조류 속도성분을 나타내고 있으며, Fig.4-b 는 3차원 다층기법에 의한 조류의 표면속도성분을 나타낸다. Fig.4-a 와 Fig.4-b 를 비교해 보면 3차원 다층기법에 의한 표층류의 속도성분이 2차원 수심평균기법에 의한 속도성분보다 크게 나타남을 알 수가 있다. Fig.4-c 는 해저면과 자유표면의 중간층에서의 속도성분을 나타내고 있으며, Fig.4-d 는 해저층에서의 속도성분을 나타내고 있다. Fig.4-b,c,d 에 나타낸 바와 같이, 해저면에서 자유표면으로 가까워 질수록 속도성분들이 크게 나타남을 알 수가 있다.

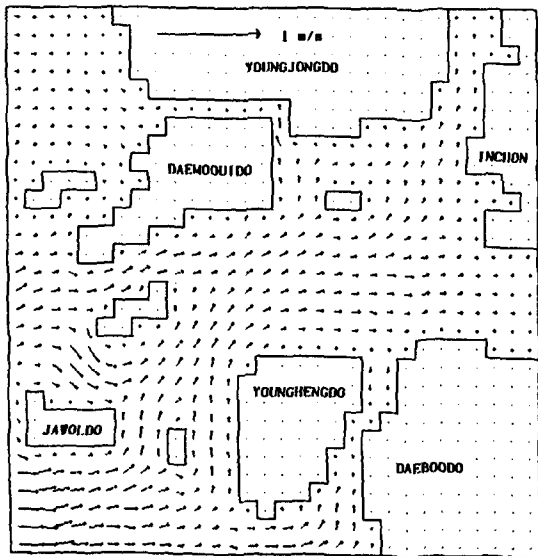


Fig. 4-a Current vector by 2-dimensional depth averaged method(after 2 hours)

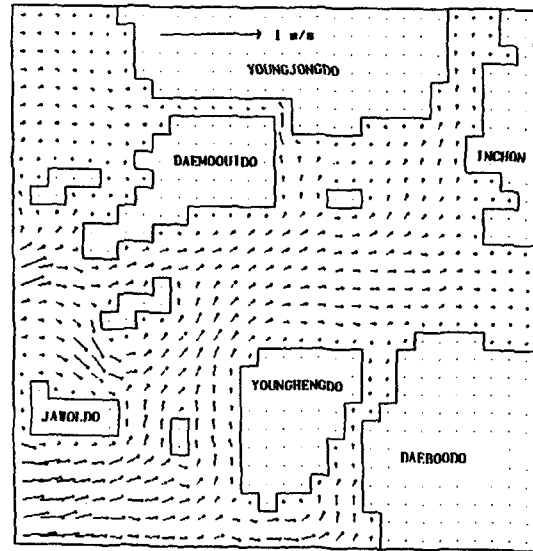


Fig.4-c Current vector by 3-dimensional present method(at σ_6 : after 2 hours)

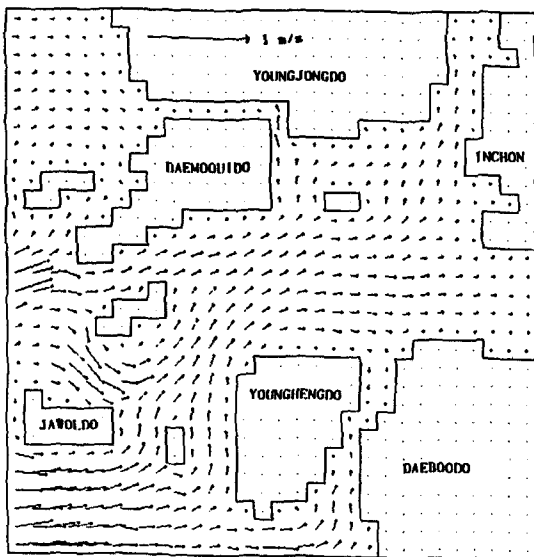


Fig. 4-b Current vector by 3-dimensional present method(at free surface:after 2 hours)

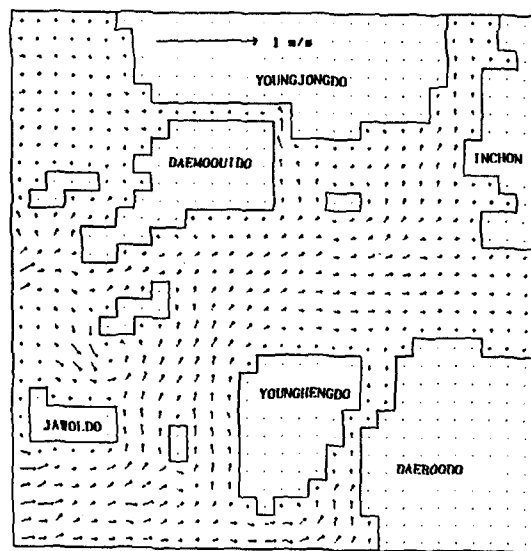


Fig. 4-d Current vector by 3-dimensional present method(at bottom layer:after 2 hours)

Fig.5 는 10번째 주기에서 반주기가 경과했을때의 속도분포를 나타낸다. 최강류때의 속도분포를 나타내고 있는데, 2차원 수심평균기법에 의한 유속분포를 나타내는 Fig.5-a 와 3차원 다층기법에 의한 조류의 표면유속분포를 나타낸 Fig.5-b 를 비교해 보면 3차원 다층기법에 의한 결과가 2차원 수심평균기법에 의한 결과보다 약간 크게 나타남을 알 수가 있다. Fig.5-b,c,d 는 각각 자유표면과 해저면과 자유표면의 중간층, 해저층에서의 3차원 다층기법에 의한 유속분포를 나타내고 있는데, 해저면에서 자유표면에 가까워 질수록 유속의 크기가 약간씩 크게 나타남을 알 수가 있다.

3.3 가상오염원 거동

3차원 다층기법에 의한 조류의 표면 유속성분과 2차원 수심평균기법에 의한 유속성분의 차이를 보다 명확하게 비교하기 위하여, Fig.2 에 보인것과 같은 입의 위치들을 선택하여 이 위치들에서 동시에 누유가 발생하였다는 가정하에 기름의 거동을 Fig.6 에 나타내었다. 해상에 누출된 기름은 해수와 같은 속도로 이동한다고 가정하여 기름의 거동을 추정하였는데, 3차원 기법의 경우에는 조류의 표면속도를 사용하고, 2차원 기법의 경우에는 수심평균 조류 속도성분을 사용하여, 기름의 변위를 누유가 발생한 후 한주기동안으로 한정하여 그 결과를 비교해 보았다. 점 A의 경우에는 Fig.6-a 에 나타낸 바와 같이 한 주기가 경과한 후 두 방법사이에 x방향으로는 약 640m, y방향으로는 약 540m의 편차가 나타났는데 이는 해저지형의 영향이 표층류의 크기와 방향 모두에 영향을 미치고 있음을 알 수가 있다. 점 B의 경우에는 Fig.6-b 에 나타낸 바와 같이 x방향으로는 약 420m y방향으로는 약 160m의 편차가 나타남을 알 수가 있다. x방향으로의 편차가 크게 나타나는데, 이로부터 해저지형에 의한 영향뿐만 아니라 육지지형에 의한 영향도 나타남을 알 수가 있다.

위와 같은 결과들로부터, 크기와 방향을 포함하는 조류에 대한 더욱 정확한 정보를 알기 위해서, 특히 연안해역에서는 3차원 효과를 고려해야 할 필요성이 강하게 요구된다 할 수 있다.

4. 취송류 시뮬레이션

4.1 취송류계산 모델링

본 계산법의 유효성 검증을 위해 그 비교대상으로,

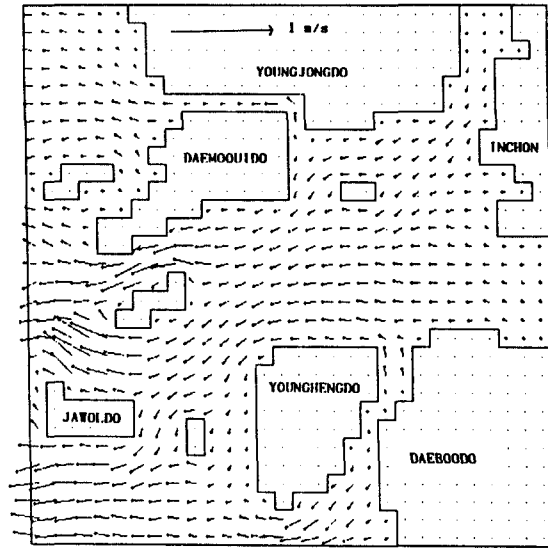


Fig. 5-a Current vector by 2-dimensional depth averaged method(after half period)

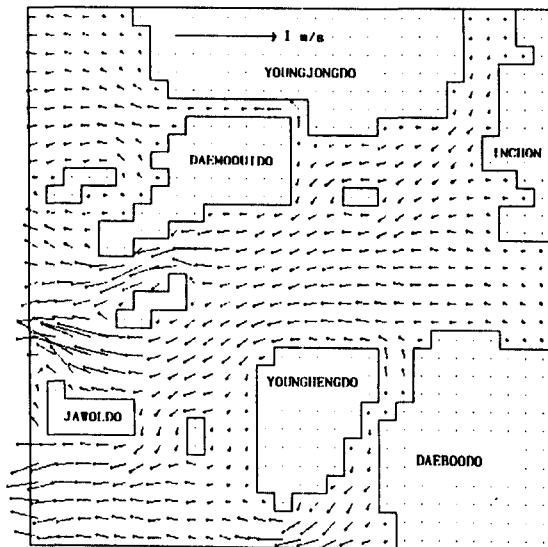


Fig. 5-b Current vector by 3-dimensional present method(at free surface : after half period)

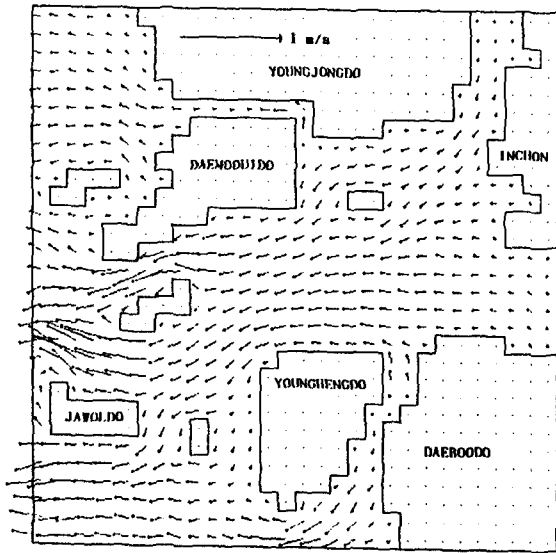


Fig. 5-c Current vector by 3-dimensional present method(at σ_6 : after half period)

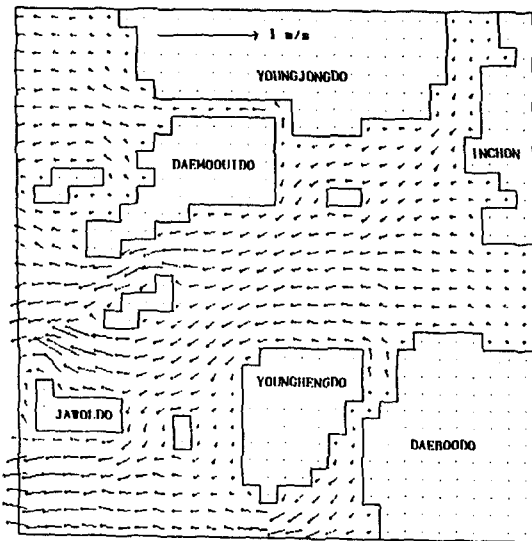


Fig. 5-d Current vector by 3-dimensional present method(at bottom layer : after half period)

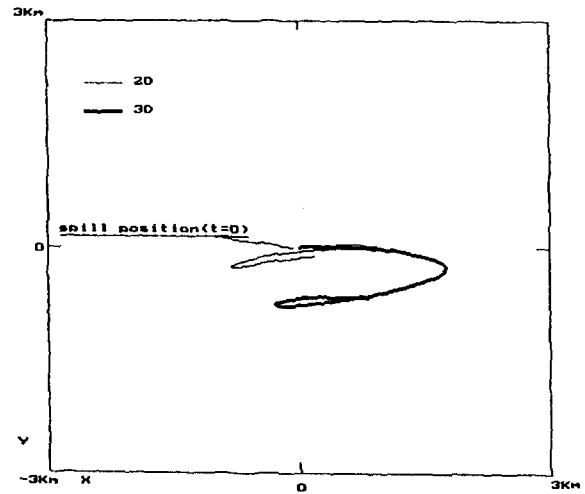


Fig. 6-a Trajectories of oil slick movement during 1 period by tidal current(point A)

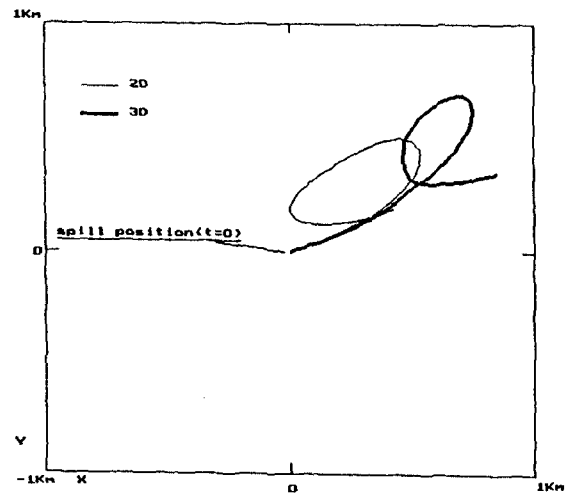


Fig. 6-b Trajectories of oil slick movement during 1 period by tidal current(point B)

일정한 풍속의 바람이 불고 있는 일정한 수심의 선형 2차원 유체영역에서의 해석해를 사용하였다. 즉,

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + K_M \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0 \quad (15)$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} - g = 0 \quad (16)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (17)$$

이고, 경계조건은

$$u = 0 \quad : \quad z = -H \quad (18)$$

$$\rho K_M \frac{\partial u}{\partial z} = \tau \quad : \quad z = 0 \quad (19)$$

이므로, 이 경우의 해석해는

$$u(z) = \frac{\tau}{4 \cdot \rho \cdot K_M \cdot H} \cdot (3z^2 + 4Hz + H^2) \quad (20)$$

이다.

바람에 의한 항력계수 c_d 는 Mitsuyasu & Kusaba[8] 가 계통적인 실험을 통해 얻은 다음의 결과식을 사용하였다.

$$c_d = (0.581 + 0.063 U_{10}) \times 10^{-3} \quad (21)$$

윗식에서 U_{10} 은 자유표면 10m위에서의 풍속을 의미한다.

(20)식에서 K_m 의 값은 풍속 및 수심과 상관관계가 있는데, 본 연구에서는 바람에 의하여 유기되는 표층류의 유속은 바람의 속도의 약 3%가 유기된다는 경험적 사실에 근거를 두어, 수심 40m를 기준으로 하여 풍속이 10m/s로 일정하다고 가정을 하여 구한 0.00478을 K_m 의 값으로 택하였다.

4.2 연직구조

취송류의 연직구조를 조사하기 위하여, 해석해에 의한 결과와 본 연구에서 제안된 수치계산법에 의한 결과를 비교하였다. 계산영역은 Fig.2 의 영역에서 내부의 육지지형을 모두 무시하고 수심은 40m로 일정하다고 가정을 하여 설정하였다. 동·서경계면은 개방경계면으로 하였고, 남·북경계면은 폐경계면으로 하였다. 바람은 12시간동안 10m/s로 일정하게 서풍이 분다고 가정을 하였다.

계산영역의 정중앙의 위치에서, 해석해에 의한 결과와 본 연구에서 제안된 수치계산법에 의한 결과를 비교하였다. Fig.7 에 나타낸 바와 같이 해석해에 의한 취송류의 연직구조는 시간이 경과하여도 변함이

없고 질량이송이 없음을 알 수 있으나, 식 (20)의 해석해는 이류항을 제외한 2차원 정상유동이라는 매우 이상적인 경우에 대한 것이므로, 연직구조의 시간 의존성 및 질량이송은 동반하지 않는 반면, 본 연구에서 제안된 수치계산법에 의한 결과는 시간의 경과에 따라 취송류의 크기가 커지고, 질량이송이 생기고 있음을 알 수가 있다. 이러한 취송류의 비정상, 비선형 거동이 실제상황을 얼마나 모사할 수 있을지는 미지수이며 흥미있는 향후의 과제임에 틀림없다.

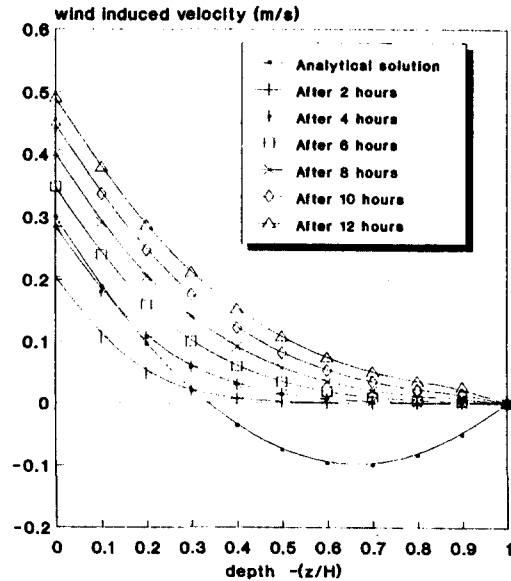


Fig. 7 Vertical distribution of wind induced velocity

4.3 해저지형의 영향

취송류에 미치는 해저지형의 효과를 조사하기 위하여, 계산영역은 Fig.8 에 나타낸 것과 같은 인천항 해역의 대표적인 단면의 해저지형을 택하여 해석해에 의한 결과 및 경험값에 의한 결과와 본 연구에서 제안된 수치계산법에 의한 결과를 비교하였다. 계산의 안정성을 위하여 풍속은 다음식과 같이 시간에 따라 증가하는 것으로 하였다.

$$U_w(t) = 10 \left[1 - \exp\left(-2\pi \frac{t}{T_1}\right) \right] \quad (22)$$

여기서, $T_1 = 6 \text{ Hours}$

해저지형이 취송류에 미치는 효과를 보다 명확하게 비교하기 위하여, Fig.8 에 나타낸 것과 같은 임의의 위치들을 택하여 이 위치들에서 동시에 누유가 발생했다는 가정하에 12시간 동안의 기름의 거동을 Fig.9 에 나타내었는데, 기름은 해수와 같은 속도로 이동한다고 가정하였다. Fig.9 에 나타낸 바와 같이 본 연구에서 사용한 수치계산법에 의해 얻어진 취송 표층류의 속도는 풍속의 3%인 경험값보다는 작고, 2차원 해석해에 의한 결과보다는 크게 나타나고 있어 이에 대한 추후 실험적 검증이 필요할 것으로 판단된다.

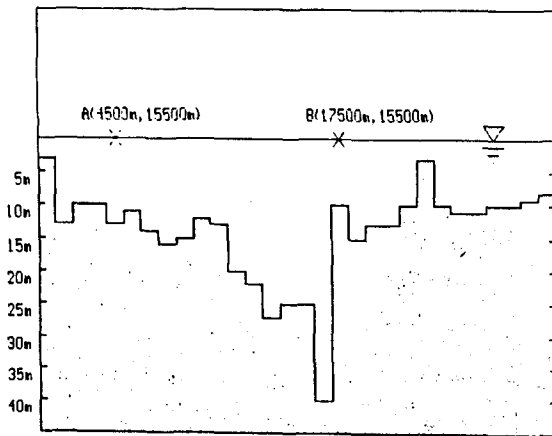


Fig. 8 Geography of computational domain for wind induced current velocity by the bottom topography

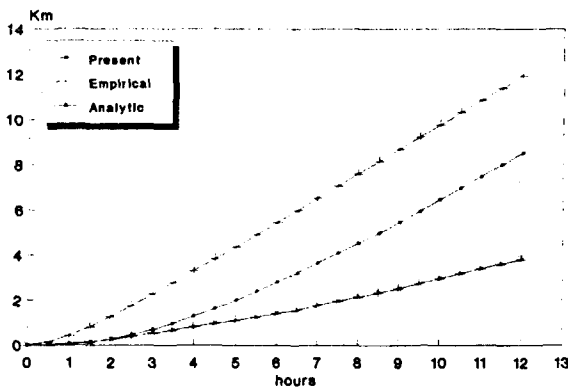


Fig. 9-a Comparison of oil slick movements considering bottom topography(point A)

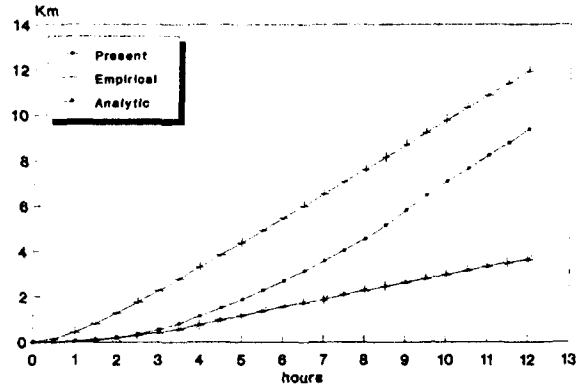


Fig. 9-b Comparison of oil slick movements considering bottom topography(point B)

4.4 육지지형의 영향

취송류에 미치는 육지지형의 효과를 조사하기 위하여, 경험값에 의한 취송류의 속도성분들을 본 연구에서 제안된 수치계산법에 의한 취송류의 속도성분들을 비교하였다. Fig.2 의 계산영역에서 수심은 40m로 일정하다고 가정을 하였으며, 바람은 10m/s의 서풍이 12시간동안 일정하게 분다고 가정하여 12시간이 경과한 후의 취송류의 속도성분들을 Fig.10 에 나타내었다. Fig.10 에 나타낸 바와 같이 본 연구에서 제안된 수치계산법에 의하면, 취송류의 크기와 방향은 육지지형의 형상에 의하여 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 연안해역에서의 조석 및 바람에 의한 조류의 거동을 예측하기 위해 개발된 3차원 다층기법을 실행해역(인천항 부근)에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 조석에 의한 조류는 모든 시간에 걸쳐 3차원 계산법에 의한 표층유동이 2차원 계산결과보다 크게 나타났다.
- 2) 조석에 의한 표층유동의 잔차류의 크기와 방향은 모든 위치에서 해저지형의 영향이 크다.
- 3) 바람에 의한 취송류도 해저지형의 형상 및 육지지형의 형상에 의하여 크게 영향을 받을 것으로 예측되었다.

이상의 사실로부터 복잡한 해저지형과 육지지형을 갖는 연안해역에서의 해류유동 추정을 위해서는 3차원 계산이 필수적인 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

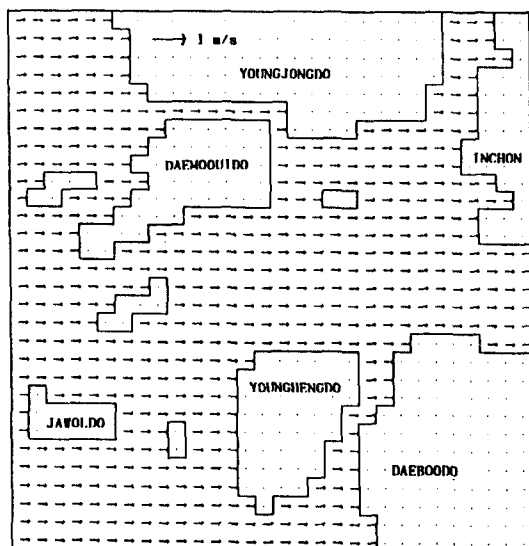


Fig. 10-a Wind induced surface current vector field by the empirical model

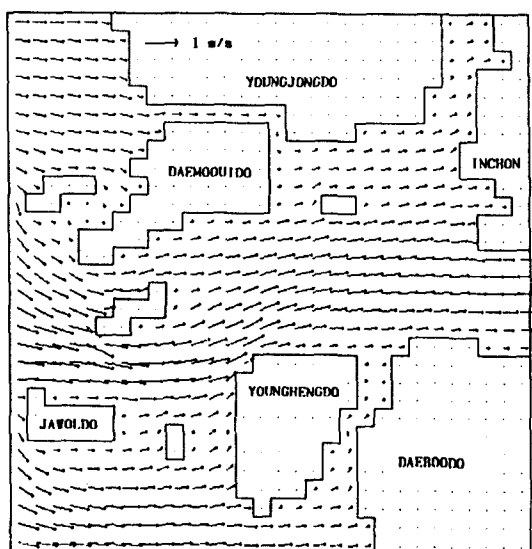


Fig. 10-b Wind induced surface current vector field by the present 3-dimensional model

- [1] D.Y.Lee, A Numerical Model for the Movement of Spilled Oil, Msc Thesis, Seoul National University, 1993.
- [2] B.H.Choi, "A Tidal Model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea", KORDI Report 80-02, 1980.
- [3] Dronkers, J.J, Tidal Computation in Rivers and Coastal Waters, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1964.
- [4] T. Horie, S.Sato and K. Murakami, "Boundary Treatment on Tidal Computation", Seventeenth Congress of the International Association for Hydrologic Research, Vol.2, 1977.
- [5] B.S.Yoon and J.H.Rho, "Numerical Analysis of the Ocean Tidal Current Considering Sea Bottom Topography", Journ. Society of Naval Architects of Korea, Vol.32, No.1, 1995.
- [6] Bryan. K., "A Numerical Method for the Study of the Circulation of the World Ocean", Journ. Computational Physics, Vol.4, No.3, 1969.
- [7] Phillips, N.A., "A Coordinate System Having Some Special Advantage for Numerical Forecasting", Journ. Meteorol. Vol. 14, 1957.
- [8] Mitsuyasu, H. and Kusaba, T., "Drag Coefficient over Water Surface under the Action of Strong Wind", Natural Disaster Science, Vol.6, No.2, 1984.