

방조제 체절 수리 검토를 위한 단순 모형과 다중격자 모형 Simple and Multigrid Models for Hydraulic Study on Coffering a Tide Embankment

이정렬* · 고진석** · 이태환***

Jung Lyul Lee*, Jin Seok Ko** and Tae Hwan Lee***

요 旨 : 방조제 최종 체절시 또는 준설토 투기장 공사시 개방구간에서의 유속 및 내외측간 수위차를 예측하기 위한 영차원의 단순 모형이 제시되었다. 일반적으로 내조지에는 조간대가 크게 차지하고 있으므로 수위별 내조지 체적 변화를 수식화하여 조간대가 체절구간의 유속에 미치는 영향을 반영하였다. 그 결과를 다중격자 기법(multigrid method)을 이용하여 상세하게 차분하는 2차원 수심적분 모형 결과와 비교하여 검증하였다. 인천 북항 준설토 투기장에 적용한 결과 두 모형이 투기장에서의 조위변화 및 개구부에서의 조류속 변화를 서로 유사하게 재현하고 있는 것으로 평가된다.

핵심용어 : 방조제, 체절, 준설토 투기장, 영차원 모형, 다중격자 기법

Abstract □ A zero-dimensional simple model is presented to predict the currents in the opening channel of tide embankment and the sea-level response of the interior basin to ocean sea level. In general, a tidal embayment has wide tidal flats so that the effect of tidal flats has been taken into account by formulating the volume variation vs. depth. The model has been verified through the comparison with the 2-dimensional depth-integrated model which can resolve the small area by using the multigrid method. As the results applied to the storage of dredged material of Incheon North Harbour, the results indicate that both models adequately describe the sea-level and current fluctuations in the storage.

Keywords : tide embankment, coffering, storage of dredged material, zero-D model, multigrid method

1. 서 론

간척공사의 성공여부를 결정짓는 최종 체절시, 투하사석의 크기를 결정하기 위하여 개방구간에서의 정확한 유속 예측이 필요하며 투기장 공사의 경우 체절 후 내외측간 수위차를 검토하는 것이 필요하다. 대부분의 간척공사가 조석간만의 차가 심하고 경사가 완만하여 조간대가 넓게 발달한 지역에서 이루어지며 간척공사의 성공여부를 결정짓는 최종 체절시, 투하사석의 크기결정에 필수적인 자료인 개방구간에서의 유속을 예측하기 위해 다양한 노력

이 시도된다. 그러나 체절 구간은 수치모형으로 다루기에는 작은 규모이므로 적용시 상세 격자망이 요구되고 체절 구간에서의 비교적 큰 유속의 발생은 수치불안정의 원인이 되므로 기존 모형을 이용하는 데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 어려움을 쉽게 해결하는 단순 모형을 제시하고 있으며 특히 서해에서는 조간대가 크게 차지하므로 조간대가 체절구간의 유속에 미치는 영향을 반영하기 위하여 조간대를 수식화한 모형을 제시한다. 조석운동에 따른 만내 반응을 모형화한 영차원 모형은 Keulegan(1967)이 소개한 후에 단순하고 편리한 장점 때

*성균관대학교 토목환경공학과(Department of Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon Science Campus, Suwon 446-746, Korea)

**헤인이엔씨(Hyein E&C Co. Ltd.)

***대우건설(Daewoo Engineering & Construction Co., Ltd.)

문에 Mehta와 Ozsoy(1978), Wong과 DiLorenzo(1988) 등에 의하여 널리 활용되고 있으며 DiLorenzo 등(1989, 1993)은 만 내 수질 예측에도 확대 적용하였다. 국내에서는 윤 등(1994)이 본 연구에서 소개하는 모형과는 다르지만 저류방정식을 이용한 유사한 영차원 모형을 소개한 적이 있으나 대체로 활용도가 비교적 낮은 것으로 판단된다.

개구부 주변의 좁더 자세한 유속장을 파악할 수 있는 다중 격자 모형을 수립하여 영차원 모형 결과와 비교 검토한다. 다중격자 기법은 계산시간을 절약하고 정확도를 높이는 기법으로 Becker 등(1988), Cornelius 등(1999)과 같이 Navier-Stokes 방정식의 해를 구하기 위하여 널리 사용되고 있으며 최근 Spitaleri와 Corinaldesi(1997)에 의하여 천수방정식에도 적용되었다. 본 연구에서 제시하는 다중 격자 기법은 기존에 발표되는 기법과 비교하여 보정을 취하는 것은 유사하지만 그 이론적 배경은 Romberg의 적분에서와 같이 광역의 적분 결과를 이용하여 상세역의 적분 결과보다 한차원 더 정확한 결과를 산출하는 기법이다.

2. 영차원 모형에 의한 검토

2.1 조건대가 없는 경우

조석 작용에 따른 외측 해수위 변화에 대하여 Fig. 1, Fig. 2와 같이 개구부를 통하여 연결된 내만 내에서 이루어지는 조차비와 개구부에서의 유속을 다음 소개되는 영차원(zero-D) 모형으로 예측한다. 연속방정식을 적용하면 다음과 같다.

$$Q = u_c A_c = \frac{dV_B}{dt} \tag{1}$$

여기서 u_c 는 개구부에서의 유속, A_c 는 개구부 단면적이며, V_B 는 항내 해수의 체적이다. 항내 체적 변화율 Δ

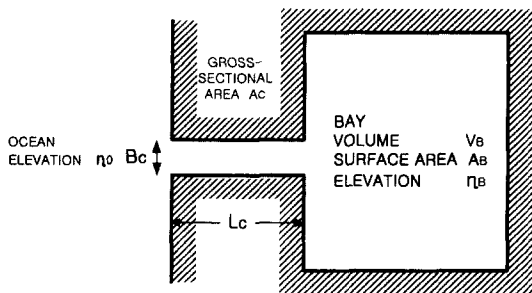


Fig. 1. Schematic depiction of an inlet-bay system.

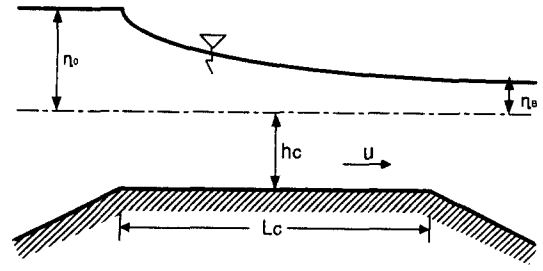


Fig. 2. Side view of an inlet channel.

$V_B = \Delta(A_B \eta_B)$ 이고 항내 해수 표면적 A_B 는 일정하므로

$$u_c = \frac{A_B d\eta_B}{A_C dt} \tag{2}$$

여기서 η_B 는 항만 수면 변위이다.

운동방정식을 개구부 길이 L_C 에 대하여 적분하고 개구부 입구와 출구에서의 손실을 고려하면 다음과 같이 된다.

$$\eta_o - \eta_B = \frac{L_C \partial u_c}{g \partial t} + \left[k_i + k_o + 2 \frac{k_f L_C}{h_c + \eta_c} \right] \frac{u_c |u_c|}{2g} \tag{3}$$

여기서 η_o 는 항밖에서의 조석에 의한 수위 변위, h_c 는 개구부에서의 평균수심, η_c 는 개구부에서의 수위로 본 연구에서는 양쪽 수위를 비교하여 큰 값으로 취하였다. k_i 는 수로 입구에서의 손실계수, k_o 는 출구에서의 손실계수, k_f 는 수로에서의 마찰 계수이다. 식 (2)을 식 (3)에 대입하고 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{d^2 \eta_B}{dt^2} + \frac{F A_B d\eta_B}{2 L_C A_C dt} \frac{d\eta_B}{dt} - \frac{g A_C}{L_C A_B} (\eta_o - \eta_B) = 0 \tag{4}$$

여기서

$$F = k_i + k_o + 2 \frac{k_f L_C}{h_c + \eta_c} \tag{5}$$

이며 $\eta_o = a_o \sin \sigma t$ 라고 둔다. a_o 는 조석의 진폭, σ 는 각주파수이다. 실제 개구부에서 입구 손실계수 k_i 는 0.05부터 0.25정도이며 출구 손실 계수 k_o 는 1로 취급되고 있다. 그러나 체적 구간은 상당한 외류를 동반하므로 최대 2.8까지도 가능하다.

식 (4)는 선형 스프링-질량 시스템의 반응 문제에 적용되는 수식과 유사한 것으로 자유 진동 주기를 구하면 다음과 같다.

$$T_o = 2\pi \sqrt{\frac{L_C A_B}{g A_C}} \tag{6}$$

손실 항을 고려하면 진동 주기가 다음과 같이 커지게

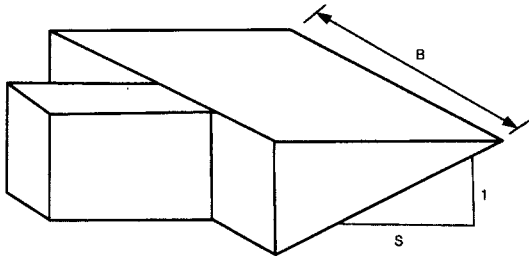


Fig. 3. An idealized linear bottom slope of a tidal basin.

된다.

$$T_o = 2\pi \sqrt{\frac{L_C A_B}{g A_C}} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{4\beta}{3\pi}\right)^2} - \frac{4\beta}{3\pi} \right]^{-1} \quad (7)$$

여기서, $\beta = \frac{F A_B}{2 L_C A_C} a_o$

2.2 조건대가 있는 경우

조건대가 있는 경우 항만의 수면적이 수위에 따라 변하게 된다. 만약 조건대가 폭 B, 그리고 Fig. 3과 같이 저면 경사 S를 갖는다면

$$V_B = \int_{-h_{max}}^{\eta} A_B dz = SB \int_{-h_{max}}^{\eta} (z + h_{max}) dz \quad (8)$$

그러므로 시간 변화율은

$$\frac{dV_B}{dt} = \frac{SBD^2}{2} \frac{d\eta}{dt} = SBD \frac{d\eta}{dt} \quad (9)$$

여기서 D는 $\eta + h_{max}$ 이다. 따라서 조건대가 있는 경우의 연속 방정식은 식 (2)에 $A_B = SBD$ 를 대입하여 다음과 같이 된다.

$$\frac{d\eta}{dt} = \frac{u_C A_C}{SBD} \quad (10)$$

식 (10)과 식 (4)가 조건대가 있는 경우의 항내 수위와 개구부에서의 유속에 대한 지배방정식이 된다.

3. 수심적분 2차원 수치모형에 의한 검토

3.1 비선형 천수 방정식

체질 구간의 폭이 상당히 작고 체질 폭의 변화에 대한 유속의 변화를 충분히 자세히 분석하기 위해서는 가능한 작은 격자 폭이 요구되므로 다중격자 방법을 사용하는 수치모형을 사용하여 그 결과를 서로 비교한다. 다음 수심적분된 비선형 천수방정식이 조석 및 조류를 예측하기 위

한 수치모형의 지배방정식으로 사용된다.

$$\text{연속방정식: } \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = 0 \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{x-방향 운동방정식: } & \frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{Q_x^2}{d} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{Q_x Q_y}{d} \right] - f Q_y \\ & + g d \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\tau_{wx}}{\rho} + \frac{\tau_{Bx}}{\rho} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_x d \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q_x}{d} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D_y d \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q_x}{d} \right) \right] \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{y-방향 운동방정식: } & \frac{\partial Q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{Q_x Q_y}{d} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{Q_y^2}{d} \right] + f Q_x \\ & + g d \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\tau_{wy}}{\rho} + \frac{\tau_{By}}{\rho} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_x d \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q_y}{d} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D_y d \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q_y}{d} \right) \right] \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 x, y : 2차원 직교좌표

t : 시간

η : 정수면에 대한 해수면의 변위(상방향 양수)

d : 해수면으로부터 해저면까지의 깊이인 천수심

f : 코리올리 계수(=2 ω sin α , ω : 지구 자전 각속도 α : 위도)

ρ : 해수 밀도

g : 중력 가속도

$\tau_w(\tau_{wx}, \tau_{wy})$: 바람에 의한 해수면 전단응력

$\tau_B(\tau_{Bx}, \tau_{By})$: 해저면 마찰응력 ($= \frac{\rho g Q|Q|}{C_s^2 (h+\eta)^2}$)

D_x, D_y : 난류 확산 계수

Q_x, Q_y : 수심적분된 유량벡터

$$(Q_x = \int_{-h}^{\eta} u dz, Q_y = \int_{-h}^{\eta} v dz)$$

3.2 수치해석

천수방정식은 수평대류, 확산, 전파와 같은 유체흐름의 복합적인 물리현상이 매순간 각각 독립적인 과정의 합으로 설명될 수 있다는 인식에 근거하여 fractional step method (Chorin, 1968; Kim and Moin, 1985)를 사용하여 수치해석 되었다. 수평대류과정은 bilinear interpolation을 이용하여 수치적으로 안정적인 오일러-라그랑주적 방법에 의하여 모의되었고 확산과정은 ADI 유한차분법에 의하여 신속하고도 정확하게 수치해석된다. 전파과정은 수평대류 및 확산과정을 거쳐 그 효과를 반영한 후에 Fig. 4에서의 staggered grid system하에서 육지경계에서는 유속벡터를 경계면에 두고 개방경계에서는 시간에 따른 조위변화를 입력하는 수위를 경계에 두어 ADI 유한차분법에 의하여 수치해석된다.

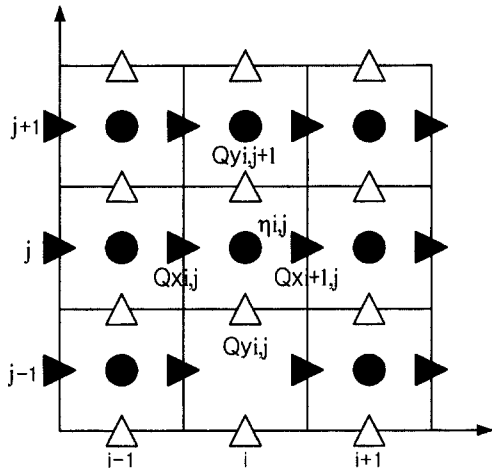


Fig. 4. Staggered grid system.

다중 격자 기법(multiple grid method)이 광역 격자 및 상세 격자체계로부터 얻어지는 각각의 해를 서로 향상시키기 위하여 사용된다. 본 연구에서는 외해로부터 대상해역까지 수치 해를 끌어오고 계산시간을 절약하면서 특정 지역을 좀더 상세하게 세분함으로써 자세한 유황을 얻고자 다중격자를 사용한다. 본 연구에서 취하는 다중 격자 방법은 기존에 발표되는 기법과 비교하여 correction을 취하는 것은 유사하지만 그 이론적 배경은 Romberg의 적분방법에 기초한다. Romberg의 적분방법에 의하면 광역 격자의 결과와 상세격자의 결과로부터 상세격자로부터 얻은 해보다 더 정확한 광역 해의 결과를 제공받을 수 있다. 이 방법은 전과단계에서만 적용하였으며 간략히 소개하면 다음과 같다.

시간 간폭이 h 인 경우 사다리꼴 적분 방법에 의한 시간적분 결과를 $T(h)$ 라 하고 그 오차를 $E(h)$ 라 하면 정확한 적분치 I 에 대하여 다음 관계가 성립한다.

$$I = T(h) + E(h) \tag{14}$$

따라서 만약 2개의 다른 격자폭을 갖는 경우 다음 관계가 성립한다.

$$T(h_1) + E_T(h_1) = T(h_2) + E_T(h_2) \tag{15}$$

사다리꼴 적분의 경우 오차는 다음과 같이 추정되므로

$$E_T(h) \approx \frac{b-a}{12} h^2 \bar{f}'' \tag{16}$$

만약 \bar{f}'' 가 격자 폭에 관계없이 일정하다면 식 (15)로부터 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$E_T(h_2) \approx \frac{T(h_1) - T(h_2)}{1 - (h_1/h_2)^2} \tag{17}$$

식 (14)에 적용하면

$$I \approx T(h_2) + \left[\frac{1}{(h_1/h_2)^2 - 1} \right] [T(h_2) - T(h_1)] \tag{18}$$

만약 $h_1/h_2=2$ 라면 다음과 같이 $T(h_2)$ 보다 더 정확한 결과를 제공하는 것으로 알려진 Simpson의 1/3 formula를 얻는다.

$$I \approx T(h_2) + \left[\frac{1}{2^2 - 1} \right] [T(h_2) - T(h_1)] \tag{19}$$

따라서 $y''+y=0$ 를 h_2 간폭으로 얻은 결과와 다중 간폭으로 식 (19)를 이용하여 얻은 결과의 root mean square error를 시간간폭($h_1=2h_2$)에 따라서 도시하면 Fig. 5와 같다. 식 (19)를 이용하여 보정하는 것이 크게 향상되는 것은 아니지만 더 나은 결과를 제공하고 있다.

본 수치모형에서 적용하는 ADI 유한차분법에서는 각 계산 방향마다 tridiagonal 행렬을 형성하는 계산 띠를 전수심 d 가 0보다 큰 격자끼리 엮어서 결정하게 된다. 따라서 수위가 낮아지는 낙조시의 조건대 처리는 물이 빠지는 영역을 계산에서 제외시키면서 쉽게 수행될 수 있으나 수위가 상승하는 창조시는 물이 새로 차는 격자가 아직 계산 영역에 포함되지 않았으므로 주변 수위로부터 전수심을 추정하여 0보다 크면 계산 영역에 포함시켜가는 방법으로 처리된다. 계산 영역에 포함되면 전수심 d 를 0보다 다소 큰 δ 로, 즉 수위 $\eta = -h + \delta$ 로 두어 계산영역에 포함되도록 한다. 따라서 다음 계산에서는 기존 계산격자와 새로운 격자사이에 수위차로 인한 흐름이 발생되며 그 만

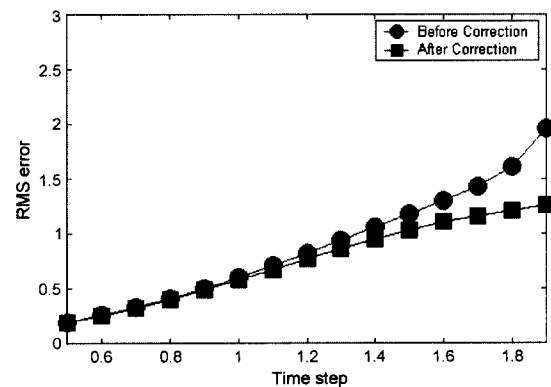


Fig. 5. Solution improvement by the multigrid method.

큰 수위의 상승이 일어나도록 하므로 해수량의 보존이 큰 오차없이 만족된다. 그러나 조간대 경사가 너무 완만하거나 시간 간폭이 격자간폭에 비하여 너무 커서 시간 간폭 당 밀물의 이동 거리가 격자간폭보다 크면 조간대가 과소평가 될 수 있다.

4. 결과 비교

4.1 대상 해역

영차원 모형과 2차원 수심적분 모형의 결과를 비교하기 위하여 적용하는 대상영역은 인천 북항 준설토 투기장으로 Fig. 6과 같이 위도 37°29'N 경도 126°36'E에 위치하고 인천북항 북측 그리고 작약도 동측에 위치하고 있다. 3단계의 다중 격자 기법을 적용하는 2차원 수치모형은 Fig. 7과 같이 외해로부터 광역, 중간역, 상세역으로 세분하였으며 상세역의 결과가 영차원 모형의 결과와 비교된다. 각 영역의 격자간폭 및 시간간폭 그리고 격자망 수는 Table 1과 같으며 상세역 등수심도 및 투기장 내 수심의 3차원도가 Fig. 8에 도시되었다. 시간간폭이 서로 다르게 주어졌으므로 Fig. 9와 같은 계산 과정을 거쳐 중간역 및 광역의 해가 보정된다. 평균해면은 463.5 cm로 두었으며 모든 육지 경계에서는 완전 차수 조건을 적용하고 하천으로부터 대상 영역으로 유입되는 하천류의 영향은 무시되었다.

극한 상황에 대한 해석을 위하여 M_2 , S_2 , K_1 , O_1 분조가 합성된 약최대조가 외해 경계에 적용되었다. 영차원 모형에서 외력으로 사용되는 준설토 투기장 전면에서의 조위는 2차원 수치모형으로 계산된다. 조위는 항만구조물이나 매립에 따른 변화가 둔감한 점을 고려하여 인천항 기

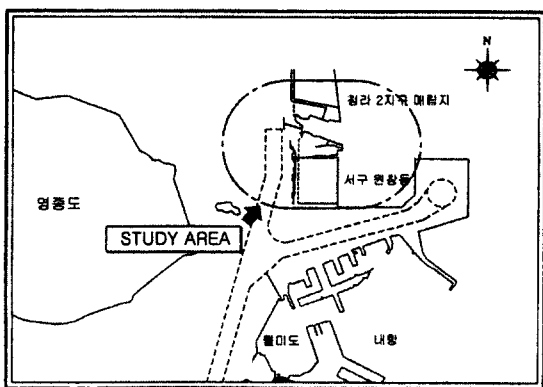


Fig. 6. Location map of a storage of dredged material.

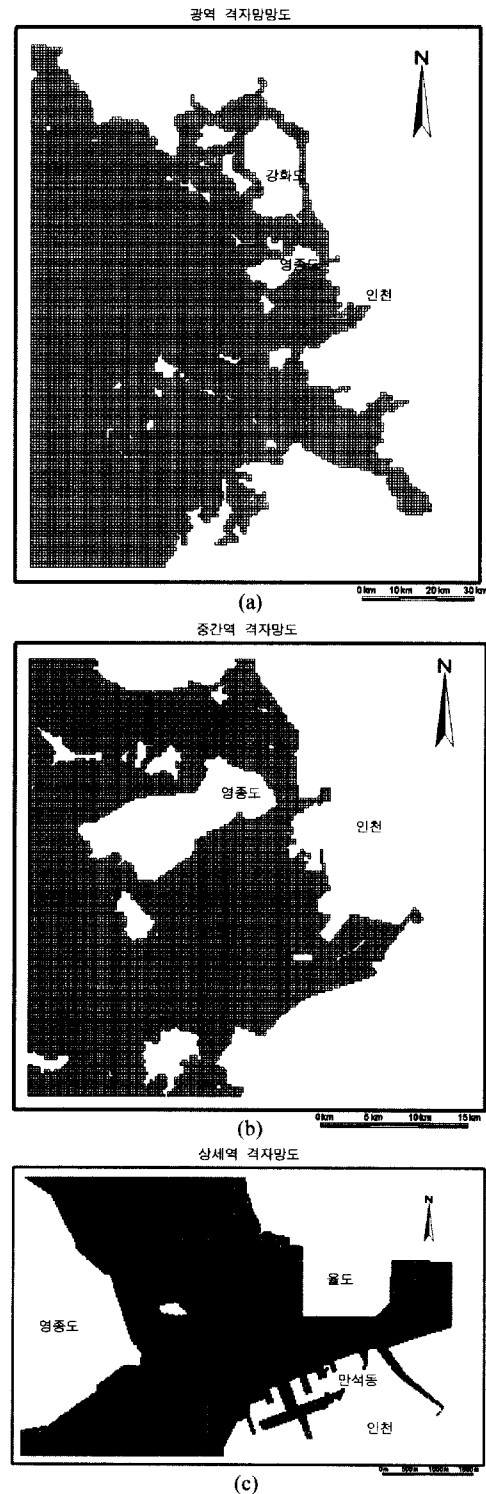


Fig. 7. The multigrid system of 3 levels: (a) coarse mesh grid (b) intermediate mesh grid, and (c) fine mesh grid.

Table 1. Grid information

영역	격자간폭	시간간폭	격자망 크기
광역	750 m	90 sec	154×188
중간역	250 m	30 sec	180×180
상세역	25 m	10 sec	300×187

Table 2. Tide verification

위치	조석 상황	저 조 위		고 조 위	
		기준조석	계산치	기준조석	계산치
인천항	약최대조위	0	17	927	927

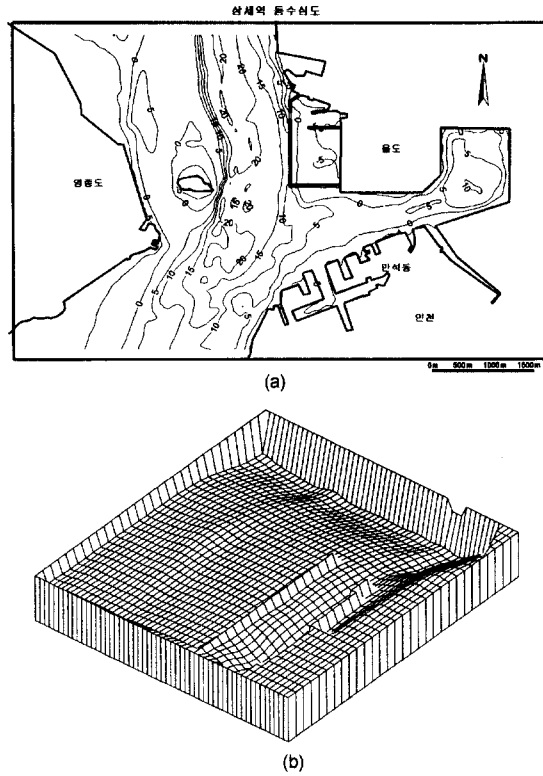


Fig. 8. (a) Topography of fine grid zone and (b) 3D view of storage of dredged material from north-east.

Tide calibration at INCHON

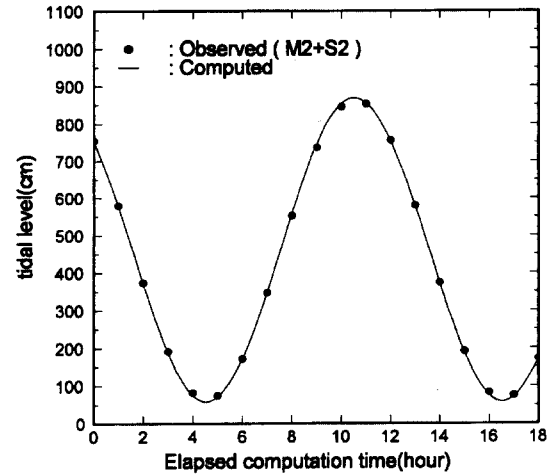


Fig. 10. Verification curve of tide results.

준조석을 본 수치모형의 검증 대상으로 삼는다. 수치모형 으로부터 계산된 조위 결과와 기준조석의 조화상수로 조 위 검증곡선을 Fig. 10에 제시하였다. 약 최대조위에 대 한 인천항에서의 검증결과 Table 2에서와 같이 고조위는 기준조석과 계산치가 거의 동일하였으나 저조위는 다소 과 대평가되었다. 그리고 영차원 모형의 입력 정보인 개구부 전면에서의 반조차는 중간역 조차 결과로부터 4.5 m의 값 이 사용된다.

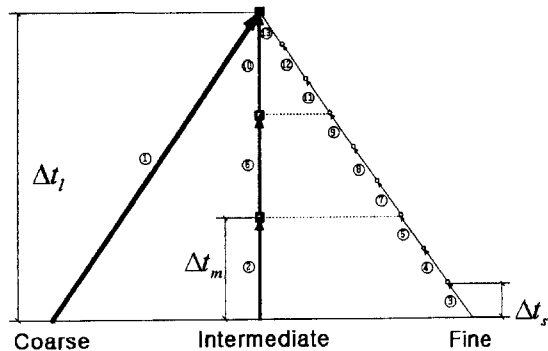


Fig. 9. A calculation procedure diagram (rectangular symbols imply the correction points).

4.2 내조지 수위 및 개구부 유속산정

4.2.1 Zero-D 모형

먼저 준설토 투기장의 수심정보로부터 투기장 평균 저면 경사 S , 투기장 폭 B , 그리고 평균해면에 대한 최고 수심 h_{max} 를 구하면 각각, 81, 1.2 km, 7.5 m이다. 평균저면 경사 는 Fig. 11에서와 같이 투기장 내 수심자료로부터 수위(m) 별 수면적(km^2) 변화를 선형 회귀분석하여 구하였다. 기울 기 a 가 0.0976이므로 $S=a \times 10^6/B \approx 81$ 이 된다. 개구부에서의 평균 수심 h_C 는 -0.1 m, L_C 는 25 m로 두었다. 입구 손실계 수와 출구 손실 계수의 합은 1.25로 두었으며 개구부의 길 이가 작은 경우 저면 마찰 계수는 다음과 같이 광정 위어의 유량 공식을 이용하여 추산되었다.

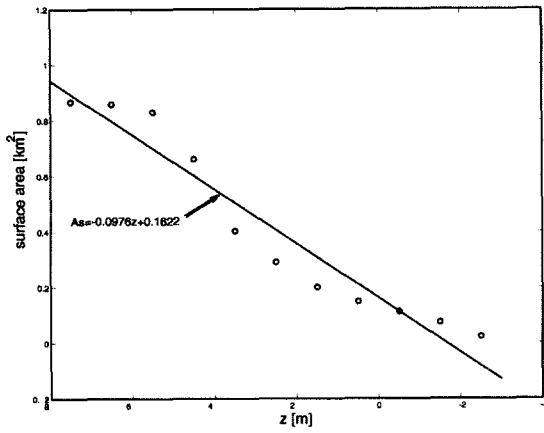


Fig. 11. Linear regression of surface area vs. water elevation.

잠수유티인 경우 위어의 유량공식은 다음과 같다.

$$u = m\sqrt{2g(\eta_o - \eta_B)} \quad (20)$$

여기서 $m=0.9$ 로 가정한다. 따라서 식 (3)의 정상상태 유속

$$u = \sqrt{\frac{gh_o(\eta_o - \eta_B)}{k_f L_c}} \quad (21)$$

과 비교하여 근사적으로 $k_f=0.15$ 를 얻는다. 개구부 전면에서의 반조치는 2차원 중간역 조차 결과로부터 얻은 4.5 m의 반조차, 그리고 12.42시간의 조석 주기가 사용된다.

식 (10)과 식 (4)는 신뢰성이 확보된 MATLAB에서 제공하는 상미분 함수를 이용하여 수치해석되었으며 사용된 프로그램이 부록에 제시되었다. Fig. 12에는 개구부 폭에 따른 창조 및 낙조시 최강 유속의 변화가 도시되었으며

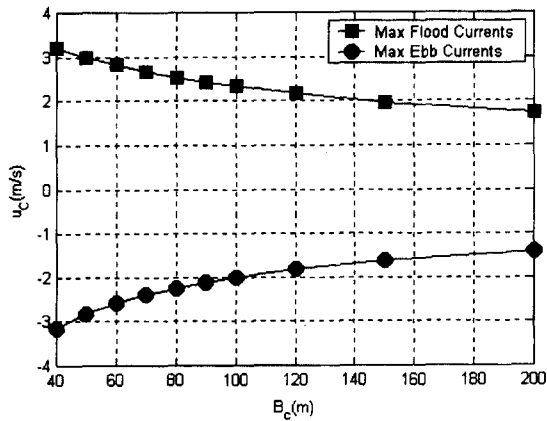


Fig. 12. Maximum velocities at flood and ebb tides (zero-D model).

Table 3. Maximum velocity values at flood and ebb tides (zero-D model)

개구부폭	창조시	낙조시
40 m	3.21 m/s	-3.14 m/s
50 m	2.99 m/s	-2.83 m/s
60 m	2.82 m/s	-2.59 m/s
70 m	2.67 m/s	-2.40 m/s
80 m	2.54 m/s	-2.24 m/s
90 m	2.42 m/s	-2.11 m/s
100 m	2.32 m/s	-2.00 m/s
120 m	2.16 m/s	-1.82 m/s
150 m	1.96 m/s	-1.62 m/s
200 m	1.73 m/s	-1.40 m/s

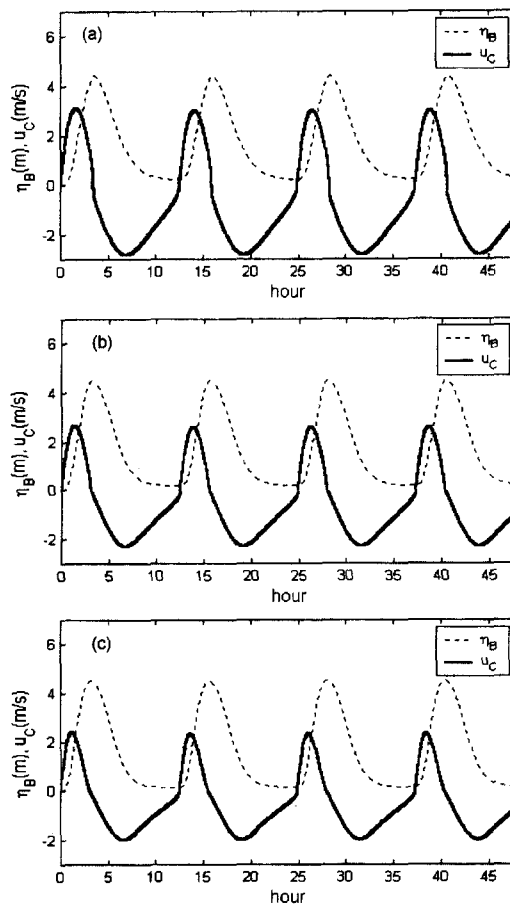


Fig. 13. Bay elevations and channel velocities (Zero-D model): (a) $B_c=50$ m, (b) $B_c=75$ m, and (c) $B_c=100$ m.

Table 3에는 산출된 최강 유속의 수치가 제시되었다. 개구부 폭이 커짐에 따라 최강 유속이 점차 감소하는 경향

을 보이고 있다. 최강 유속으로만 판단하였을 경우 대략 100-200 m가 적당한 절재 폭으로 간주되지만 준설토 투기장이나 만큼 내부 부유사의 배출량이 너무 많지 않도록 최종 결정할 필요가 있다. Fig. 13에는 개구부 폭이 50 m, 75 m, 100 m인 경우에 대하여 투기장 내 수위 η_B 와 개구부에서의 유속 u_C 의 수치 계산 결과가 도시되었다. 투기장 수위가 개구부 저면보다 낮게 되는 경우 개구부를 통한 흐름이 제한되었음에도 수치계산이 원만히 수행되고 있음을 보여주고 있다.

4.2.2 상세역 2차원 수치모형

75 m의 개구부 폭에 대하여 상세역에서 산정된 고조위와 저조위 분포도가 각각 Figs. 14, 15에 제시되었다. 고조위는 인천항(기준조석) 검조소에서 사업지구 방향으로 927 cm에서부터 하강하여 개구부 전면에서 914 cm로 13 cm 감소하였으며 저조위는 17 cm에서 15 cm로 2 cm가량 감소하였다. 저조위시 내조지 내에서의 수위는 체절 월류제에 의하여 내부 해수가 유출되지 못하고 472 cm 가량의 수위를 유지한 채 고립되고 있다.

개구부 폭 50 m, 75 m, 100 m에 대한 창·낙조시의 최강유속이 Table 4에 제시되었으며 영차원 단순 모형에 의한 이론적 결과와 비교하였을 때 유사한 결과를 제공하고 있다. 개구부 폭이 50 m인 경우 창조시 단순 모형이 4% 내에서 다소 큰 결과를 제공하고 있으며 75 m, 100 m인 경우는 낙조시 단순모형이 오히려 5% 내에서 다소 큰 결

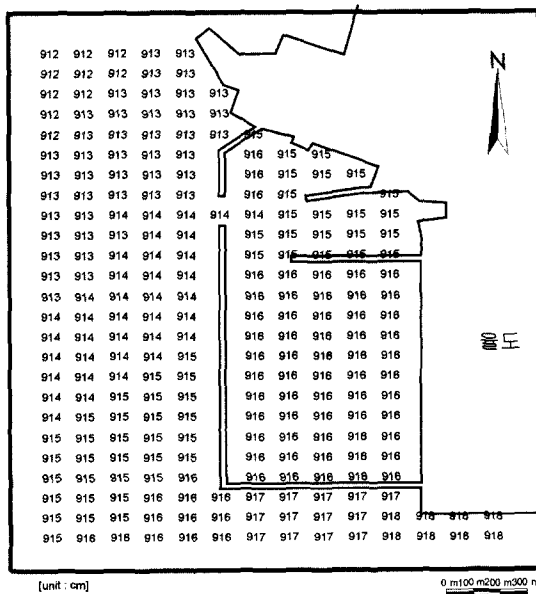


Fig. 14. High tide distribution for $B_C=75$ m (multi-grid model).

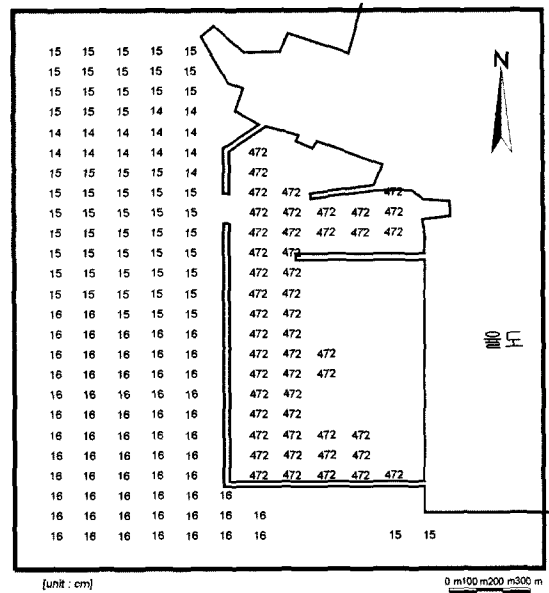


Fig. 15. Low tide distribution for $B_C=75$ m (multi-grid model).

Table 4. Comparison between maximum velocities from zero-D and multigrid models (unit: cm/s)

개구부 저폭	영차원 모형 결과		다중 모형 결과	
	창조	낙조	창조	낙조
50 m	299	283	289	285
75 m	260	231	261	216
100 m	232	200	236	191

과를 제공하고 있다. 개구부 폭이 50 m에서 100 m로 증가할수록 개구부 입구에서의 창조시 최강유속은 289 cm/sec, 261 cm/sec, 236 cm/sec로 감소하였고 낙조시 최강유속은 285 cm/sec, 216 cm/sec, 191 cm/sec로 감소하였다. 75 m의 개구부 폭에 대하여 상세역에서 산정된 창조시 최강유속 분포도와 낙조시 최강유속 분포도가 각각 Figs. 16, 17에 제시되었다. 개구부에서 최강유속은 200 m 내에서 최대 250 cm/sec, 최저 70 cm/s의 유속차가 발생하였다.

5. 결 론

매립을 위한 방조제 건설시 최종 체절 구간 또는 준설토 투기장 공사시 개방 구간에서의 유속 및 내외측간 수위차를 예측하기 위한 영차원의 단순 모형이 제시되었다. 그리고 체절 또는 개방 구간은 수치모형으로 다루기에는 상세 격자망을 요구하는 작은 규모이므로 다중격자 기법

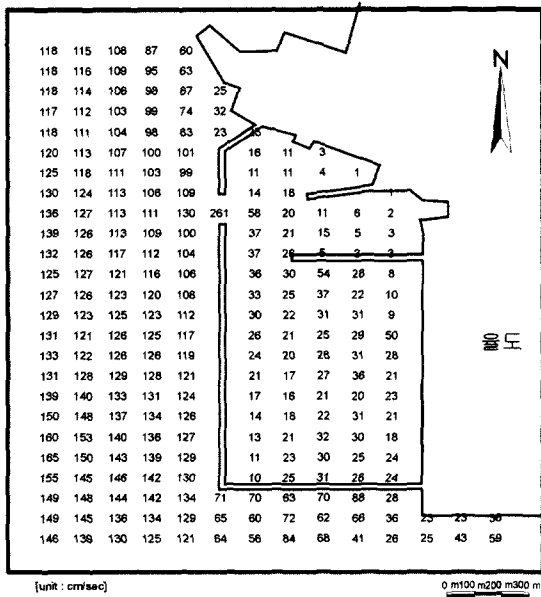


Fig. 16. Maximum velocity distribution at the flood tide for $B_c=75$ m (multi-grid model).

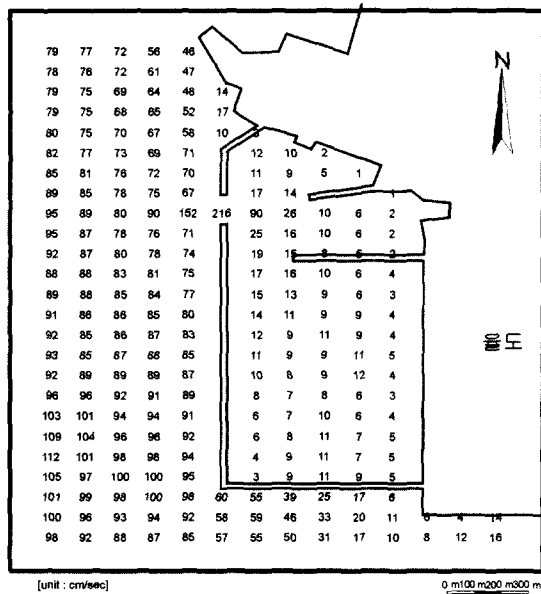


Fig. 17. Maximum velocity distribution at the ebb tide for $B_c=75$ m (multi-grid model).

(multigrid method)을 이용하여 상세하게 차분하는 2차원 수심적분 모형을 수립하였고 그 결과를 영차원 모형과 비교하였다. 인천 북항 준설토 투기장에 적용한 결과 대략 5%내외의 오차로 서로 유사한 결과를 제공하고 있으므로

2차원 모형 결과를 통하여 상세한 공간 정보를 얻기 전에 영차원 모형을 이용하여 쉽게 그리고 충분히 정확하게 개구부에서의 유속을 추정할 수 있다. 또한 기존 유한 차분 모형이 상세한 정보를 제공한다는 장점에도 불구하고 격자상의 제한으로 다양한 개구부 폭에 대한 평가가 어려웠던 점이 있었으나 다중격자 기법을 이용한 상세한 격자망의 구성으로 이에 대한 제한이 다소 완화되었다. 추후 현장관측을 수행하여 각 모형의 수행능력 및 신뢰성을 평가한 후 각 모형의 개선책을 강구할 필요가 있다.

참고문헌

윤태훈, 윤성범, 이홍제, 신원태, 1994. 방조제 최종체질 구간에서의 유속 예측, 제36회 수공학연구발표회논문집, pp. 133-138.

Becker, C., Ferziger, H.J., Peric, M. and Scheuerer, G. 1988. Finite volume multigrid solution of the two-dimensional, incompressible Navier-Stokes equations. *Notes Numer. Methods Fluids*, 23, 37-47.

Chorin, A.J., 1968. Numerical solution of the Navier-Stokes equations, *Math Comp.*, 22:745-762.

Cornelius, C., Volgmann, W. and Stoff, H., 1999. Calculation of three-dimensional turbulent flow with a finite volume multigrid method, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 31, 703-720.

DiLorenzo, J.L., Huang, P-S. and Najarian, T.O. 1989. Water quality models for small tidal inlet system, *J. Envir., Engrg.*, ASCE, 115(1), 192-209.

DiLorenzo, J.L., Rhomaios, V.R., Huang, P. and Najarian, T.O., 1993. Pollution susceptibility of well-mixed tidal basins, *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engrg.*, ASCE, 120(4), 404-422.

Keulegan, G., 1967. Tidal flow in entrances, water-level fluctuations of basins in communication with seas, *Tech. Bull.* 4, 89 pp.

Kim, J. and Moin, P., 1985. Application of a fractional step method to incompressible Navier-Stokes equations, *J. Comput. Phys.* 59, 308-323.

Mehta, A.J. and Ozsoy, E., 1978. Inlet hydraulics, *Stability of tidal inlets*, P. Brown, ed., Elsevier Publishing Co.

Spitaleri., R.M. and Corinaldesi, L., 1997. A multigrid semi-implicit finite difference method for the two-dimensional shallow water equations. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 25, 1229-1240.

Wong, K.-C. and DiLorenzo, J.L. 1988. The response of Delaware's inland bays to ocean forcing. *J. of Geophy Res.* 93(C10), 12,525-12,535.

Received October 31, 2001
Accepted November 28, 2001

부 록

영차원 모형의 MATLAB 프로그램

```

[x y]=ode23('z_de1',[0 48*3600],[0 0]);

function u_p=z_de1(t,u)
%input data
bc=75;lc=25;hc=-0.1;kf=0.15;

s=81;b=1200;hmax=7.5;ao=9.0/2;
%boundary condition
etao=ao*sin(2*pi*t/(12.42*3600));
%SBD and deta
SBD=s*b*(hmax+u(1));
deta=etao-u(1);if deta<0&hc+u(1)<=0;deta=0;end
%approximate d_c and friction factor F
dc=hc+max(u(1),etao);F=1.25+2*kf*lc/max(dc,0.01);
u_p=[u(2)*dc*bc/SBD;-F/(2*lc)*u(2)*abs(u(2))+9.81/lc*deta];

```