

## 수심적분 이차원 유사이동모형의 적용 Application of Depth-Integrated Two-Dimensional Sediment Transport Model

이남주\* · 최홍식\*\*

Nam Joo Lee\* and Hung Sik Choi\*\*

**요 旨** : 대명포구 건설 전후의 지형변화를 예측하기 위하여 수심적분 이차원 유사이동모형인 MOSU 모형을 사용하여 수치모의하였다. 이 모형은 반조합 유한차분모형으로 하천, 저수지, 호수, 하구, 해안에 적용 가능하며, 세립 모래, 실트, 점토의 침식, 퇴적, 이동현상을 모의할 수 있다. 모형의 매개변수는 정성적 보정을 통해 추정하였다. 수치모형의 적용 결과 포구 건설로 인한 염하수로의 지형변화는 거의 나타나지 않았다.

**핵심용어** : 염하수로, 유사이동, 모형, 점착성유사

**Abstract** □ The MOSU model, a depth-averaged two-dimensional sediment transport model, is applied to simulate the bed level changes before and after dock construction in Daemyung site. The model is a semi-coupled finite difference model that can be applied to a river, a reservoir, a lake, estuaries, or coastal regions. The model is able to simulate the transport of fine sand, silt, and clay. The model parameters are estimated by qualitative calibration. A prediction result of the numerical model shows that the bed level changes due to dock construction are little.

**Keywords** : Yeomha channel, sediment transport, model, cohesive sediment

### 1. 서 론

경기도 김포군 대명리에 위치한 대명포구 일원은 수자원이 풍부하고 관광자원이 인접한 곳으로 서해안에서 포획된 수산물이 들어오는 포구로는 김포군에서 유일한 지역이다. 최근 수도권 지역 주민들의 대명포구 이용이 증가하면서 기존의 이용시설의 수용능력이 포화상태를 초과하고 있다. 본 연구는 대명포구 선착장 건설로 인한 염하수로의 수로 폭 감소와 수로지형의 변화에 따른 흐름의 변화 및 해저지형의 침식 및 퇴적의 양상을 수치실험을 통하여 검토할 목적으로 수행하였다.

염하수로의 지형변화 양상을 검토하기 위해 본 연구에서는 수심적분 이차원 유사이동모형을 사용하였다. 평면 이차원 유사이동모형은 1980년대 이후부터 국내에서 적용되기 시작했으며, 주로 하구 또는 해안의 부유사 이동문제 해결의 관점에서 연구가 진행되고 있다. 강 등(1987)은 수심적분 이차원 모형을 낙동강하구에 적용하였으며, 염(1988) 역시 수심적분 이차원 부유사 확산모형을 광양만에 적용한 바 있다.

이(1990)는 수심적분 이차원 수치모형을 군산내항에서 금강 하구언까지 구간에 적용하였다. 염 등(1991)은 수심적분 이차원 유사이동모형을 이용하여 부산 인공섬 건설에 따른 퇴적물 이동을 예측하였다.

### 2. 수심적분 이차원 유사이동모형

#### 2.1 MOSU 모형

OSU 모형은 점착성 및 비점착성 유사의 이동을 모의할 수 있는 수심적분 이차원 수치모형으로 Ohio 주립대학교에서 개발되었으며, Sandusky Bay에 적용된 바 있다(Lee, 1986). 이 등(1993)은 유효응력항을 Ponce and Yabusaki (1981) 방법으로 처리할 수 있도록 흐름모형을 수정하여 팔당호에서의 오염물 확산해석에 사용하였다. 이 등(1997) 및 이·이(1997)는 계산시간 단축을 위해 조합된 모형을 반조합 모형으로 수정한 MOSU(Modified OSU) 모형을 한강 하류부에 위치한 잠실수중보 직상류에 적용하여 적용성 및 실용성을 검토한 바 있다.

\*경성대학교 건설·환경공학부 (Department of Civil and Environmental Engineering, Kyungsoong University, Pusan 608-736, Korea)

\*\*상지대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Sangji University, Wonju 202-702, Korea)

직교좌표계에서 유도된 지배방정식은 식 (1)~(4)와 같다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Hu) + \frac{\partial}{\partial y}(Hv) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_{bx}}{\rho H} - \varepsilon \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_{by}}{\rho H} - \varepsilon \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(HC_i)}{\partial t} + \frac{\partial(HuC_i)}{\partial x} + \frac{\partial(HvC_i)}{\partial y} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left( HK_x \frac{\partial C_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( HK_y \frac{\partial C_i}{\partial y} \right) + S_{ei} - S_{di} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,  $x, y$ 는 수평좌표축,  $t$ 는 시간,  $u, v$ 는  $x, y$ 방향의 유속,  $\eta$ 는 수면변위,  $H$ 는 총수심,  $g$ 는 중력가속도,  $\rho$ 는 물의 밀도,  $\varepsilon$ 는 와점성계수,  $n$ 는 유사의 종류를 나타내는 하침자,  $C_i$ 는  $i$ 번째 유사의 농도,  $K_x, K_y$ 는  $x, y$ 방향 확산계수,  $S_{ei}$ 는 침식 생성항,  $S_{di}$ 는 퇴적 소멸항이며,  $x, y$ 방향의 바닥전단응력은 다음과 같다.

$$\tau_{bx} = \frac{g\rho n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{H^{1/3}}, \quad \tau_{by} = \frac{g\rho n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{H^{1/3}}$$

여기서,  $n$ 은 Manning 계수이다.

확산계수는 식 (5)와 같다(Elder, 1959).

$$\begin{aligned} K_x &= (e_L \cos \theta + e_T \sin \theta) \sqrt{\tau_{bx} / \rho H}, \\ K_y &= (e_L \sin \theta + e_T \cos \theta) \sqrt{\tau_{by} / \rho H} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서,  $e_L, e_T$ 는 각각 흐름방향과 흐름에 직각방향의 Elder 상수,  $\theta$ 는 주흐름방향과  $x$ 축이 이루는 교각이다.

비압밀 점착성 유사에 대한 생성항은 Hayter and Metha (1982) 공식을 이용한다.

$$S_{ei} = E_0 \exp[\alpha(\tau_b / \tau_{cer} - 1)] \quad (6)$$

비점착성 유사 및 압밀된 점착성 유사는 Partheniades (1962) 공식을 이용한다.

$$S_{ei} = E(\tau_b / \tau_{cer} - 1) \quad (7)$$

여기서,  $\tau_b$ 는 바닥전단응력,  $\tau_{cer}$ 는 침식 한계전단응력,  $E_0$ 와  $E$ 는 침식률계수,  $\alpha$ 는 침식상수이다. 소멸항은 Odd and Owen(1972) 공식을 이용한다.

$$S_{di} = V_{si}(-1\tau_b / \tau_{cdi})C_i \quad (8)$$

여기서,  $V_{si}$ 는 유사의 침강속도,  $\tau_{cdi}$ 는 퇴적 한계전단응력이

다.

지층 두께의 변화는 식 (9)와 같다.

$$T_h = \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho_s(\rho_b - \rho)} \sum_i (S_{di} - S_{ei}) \Delta t \quad (9)$$

여기서,  $\rho_s$ 는 유사의 밀도,  $\rho_b$ 는 바닥층의 밀도이다.

## 2.2 모형의 수행

### 2.2.1 초기·경계조건 및 유한차분

흐름모형의 경계조건은 경계에서 유속, 유량, 수위, 수위-유량 관계곡선을 지정할 수 있다. 이송확산모형의 경계조건은 폐경계조건, 농도경계조건, 그리고 식 (10)과 같은 외삽 농도경계조건을 사용할 수 있다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -u \frac{\partial C}{\partial x}, \quad \frac{\partial C}{\partial t} = -v \frac{\partial C}{\partial y} \quad (10)$$

지배방정식은 Fig. 1과 같은 Arakawa-C 형태(이 등, 1997)의 엇갈린 격자상에서 차분하였다. 흐름모형과 이송확산모형은 ADI 방법을 사용하여 계산한다. 난류확산항은 매  $\Delta t/2$  동안의 계산이 끝난 후  $u$ 와  $v$ 를 각각 공간평균하는 수치기법(Ponce and Yabusaki, 1981)을 사용한다. 또한 계산 시간 절약을 위해 하상변동의 시간적 변화가 수심의 변화보다 상당히 작다는 가정(Li et al., 1991)을 도입하여 반조합 모형으로 수정하였다.

### 2.2.2 수치안정성 분석

천수방정식 수치해석시 불안정성은 시간간격을 CFL 조건보다 큰 값으로 선택할 경우와 비선형항의 부적절한 공간차분에 의한 경우가 있으며, 공간적 불안정성은 일반적으로 유효점성항의 도입으로 다소 극복될 수 있다(강, 1991). 2차원의 경우 식 (11)과 같이 정의되는 Courant 수(Benque et al., 1982)에 의해 안정성의 제약을 받는다.

$$C_r = \Delta t \sqrt{gH(1/\Delta x^2 + 1/\Delta y^2)} \quad (11)$$

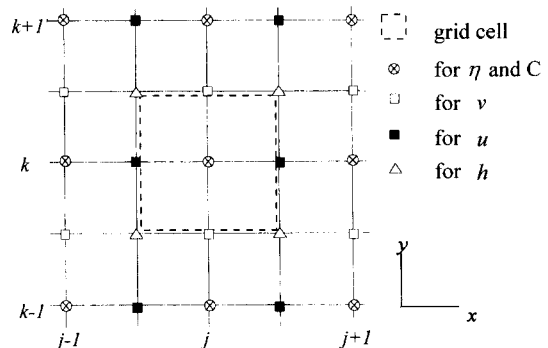


Fig. 1. Finite difference grid.

ADI 방법의 안정성 한계는 경험적으로 대략  $C_r < 5$ 로 알려져 있으며(이·강, 1989) 차분형태의 차이와 적용대상에 따라 다소 증감되기도 한다.

### 2.2.3 조건대 해석

조석의 영향을 받는 해안 및 하구는 수위의 시간적 변화에 따라 흐름이 접하고 있는 연안경계의 좌표가 시간의 함수로 된다. 간조시 수위가 일정한 높이 이하로 하강하면 주위보다 비교적 높게 위치한 수로 바닥은 수면위로 모습을 드러내게 된다.

이런 경우에 대한 수치모의는 고정격자를 이용하는 경우 많은 연구가 이루어졌다. 수심적분 이차원 모형에서 수면변위와 수심이 동일 좌표상에서 정의되지 못하므로 Stelling *et al.*(1986)은 총수심을 세 가지 방법으로 산정하여 각 방법의 특성과 장단점을 밝히고 이에 따라 수치해가 적지 않은 영향을 받게 됨을 지적한 바 있다. Falconer and Owens (1987)는 조건대의 부적절한 수치적 모의에 의해 이동경계 부근에서 발생할 수 있는 비현실적인 교란파를 제거하기 위해 임의 격자가 수위 강하에 의해 해석대상에서 제외되는 순간 수심평균유속에서 발생할 수 있는 불연속의 강도를 경감시키는 방법으로 이를 해결하였다.

본 연구에서는 Stelling *et al.*(1986)의 연구결과를 다소 변형한 최·이(1993)의 해석기법을 적용하였다. ADI 방법에서  $x$ -step과  $y$ -step은 유사하므로  $x$ -step의 젓음/마름 과정만 설명한다. 각각의 계산 시간에서 다음의 과정을 적용한다. 첫째, 각 시간 준위가 시작될 때  $x$ -step을 통해 젓음에 대한 검토를 수행한다. 이것은 행의 각각의  $i$ 계산점( $i+1/2, j$ )에서 국부적인 수심의 검토로 구성되며 이 수심은 다음과 같이 정의된다.

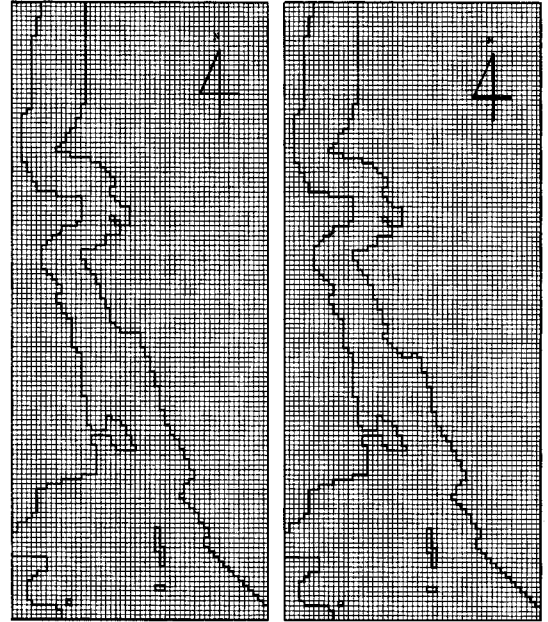
$$H_{i+1/2,j} = (\eta_{i,j} + \eta_{i+1,j} + d_{i+1/2,j+1/2} + d_{i+1/2,j-1/2})/2 \quad (12)$$

만일  $H_{i+1/2,j}$ 이 특정의 젓음에 대한 기준치보다 크면, 그 유속점은 이전 시간에서 불활성 상태이었으면 활성상태가 되고, 활성 상태이었다면 그 상태를 유지한다. 둘째로 상기의 단계가 끝나면  $x$  방향의 운동량 방정식과 연속방정식을  $x$ -행에 대하여 계산하고  $H_{i+1/2,j}$ 가 기준치 이하이면 젓음 검토에 의해 젓음이 될 때까지 계산영역에서 제외한다.

## 3. 수치모형의 적용 및 고찰

### 3.1 주변현황 및 수치격자의 구성

본 연구의 대상 지역은 김포군과 강화도 사이의 염하수로로 복단은 한강과 임진강의 하구와 연결되어 있어 이들 하



(a) Before dock construction

(b) After dock construction

Fig. 2. Computational grid.

천으로부터 유입되는 담수와 퇴적물 및 오염부하가 인천 연안의 서해 해수와 혼합되는 염하구이다. 일반적인 하구의 특성과는 다소 다르게 상류는 임진강의 하구와 연결되고, 하류는 인천 외해 측으로 연결되어 상·하류에 조석의 영향을 동시에 받는 수로이다.

격자망은 Fig. 2와 같이  $53 \times 128$ 개의  $\Delta x = \Delta y = 100$  m인 유한차분격자로 구성하였고, 수치모형의 계산간격은 10초를 선택하였다. 대상영역의 길이는 남북방향으로는 12.8 km, 동서방향 5.3 km가 된다. Fig. 2(a)는 공유수면 매립 이전의 유한차분격자망이며, Fig. 2(b)는 매립후의 유한차분격자망이다.

### 3.2 수로지형 및 토사특성

Fig. 3은 수치모형 적용영역의 해저면 지형의 등고선도로써 수치모형에 사용된 바닥고 자료를 도시한 것이다. 바닥지형은 주수로로 제외하고는 평균 해수면보다 높은 지역이 곳곳에 산재해 있다. 아울러 저조시에는 주수로 양안으로 거의 바닥이 노출되는 조건대 지역이며, 특히 하류 경계조건인 황산도 하류 동검도 부근에는 커다란 조건대가 형성되어 있다.

물의 밀도는  $1,000 \text{ kg/m}^3$ 을 사용하였다. 토사 입자의 특성에 대한 자료는 1998년 2월~4월까지 농어촌진흥공사에서 덕진 앞에서 측정한 자료를 사용하였다. 유사의 비중은 상하

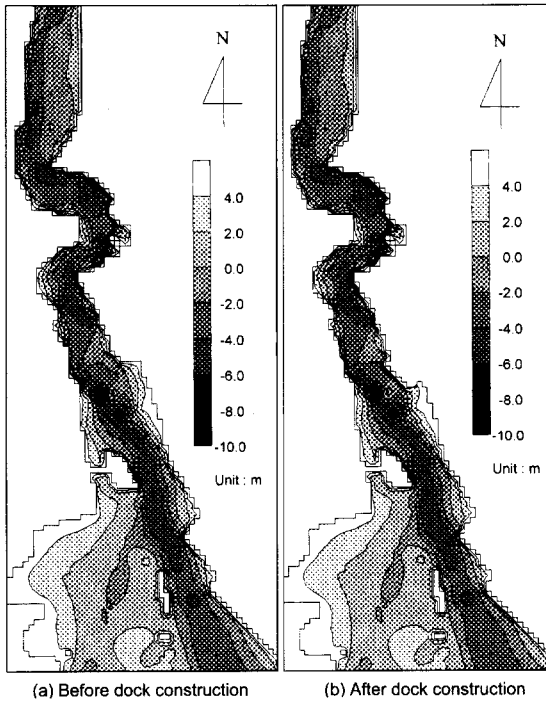


Fig. 3. Contour of bed elevation.

층 모두 2.71 사용하였다. 평균함수비는 43.8%이며, 수로 바닥 토사의 건조밀도는 1,239 kg/m<sup>3</sup>을 사용하였다. 수로 바닥은 모래, 실트, 점토로 구성되어 있으며, 실트의 구성비가 전체의 약 85%를 차지한다. 따라서 본 연구에서는 계산을 간단히 하기 위하여 수로 바닥이 실트만으로 구성되었다고 가정하였으며 중앙침강속도 0.0018 m/s를 사용하였다. 하상층의 두께는 평면적으로 일정하게 0.5 m를 사용하였다.

3.3 초기 및 경계조건

초기조건은 계산영역 내부에 유속이 존재하지 않는다는 가정을 사용한다. 상·하류에서 경계조건은 TRISULA 모형의 수치실험결과에 의해 얻어진 Table 1의 4개 분조의 조석 상수를 이용하여 조석을 발생시킨 값을 이용하였다. 적용지

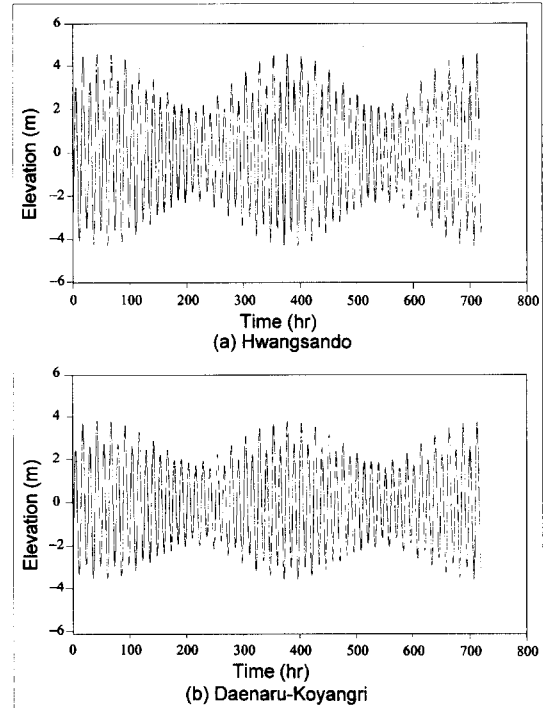


Fig. 4. Tidal levels at boundaries.

역 주변인 인천항의 조차는 대조기에 7.98 m, 소조기에 3.47 m이다. 적용지역 주변의 하류경계인 황산도에서는 대조차가 8.46 m, 소조차가 3.86 m이고, 적용지역 상류경계인 강화대교에서는 대조차가 5.46 m, 소조차가 2.46 m로 작아지며 한강하구에 가까워질수록 조차는 점차 감소한다. 적용지역 주변의 조석은 약 12시간 25분의 주기로 1일 2회조가 우세하며, 30일간의 조위는 Fig. 4와 같다.

부유사 농도 계산을 위한 이송확산모형의 초기조건 및 경계조건은 1998년 2월~4월까지 농어촌진흥공사에서 측정된 부유물질 조사결과를 사용하였다. 초기 부유사 농도는 대명포구 상단부 및 하단부의 평균 부유물질 농도를 사용하였다. 개경계에서는 유속의 방향에 따라 계산 영역 내부로 유입하는 경우는 농도경계조건을 사용하였으며, 유출되는 경우는 외삽 농도경계조건을 사용하였다.

Table 1. Harmonic constants.

Tidal constituent	Tonggumdo (Hwangssando)		Yonggoldondae	
	Amplitude (m)	Phase lag (°)	Amplitude (m)	Phase lag (°)
M2	2.988	142.719	2.527	160.504
S2	0.986	201.793	0.746	223.787
K1	0.444	296.824	0.383	305.188
O1	0.294	272.337	0.251	278.374

3.4 유사이동모형의 매개변수

수심적분 이차원 모형을 사용하여 흐름을 계산할 경우 바닥조도 변화가 흐름 계산결과에 미치는 영향이 일반적으로 작다. 본 연구에서 Manning 계수는 0.03을 사용하였고, 난류확산항의 간접적 처리를 위한 공간평균계수는 Ponce and Yabusaki(1981)가 대부분의 경우 안정한 해를 얻을 수 있다고 제안한 0.1을 사용하였다.

유사이동모형의 매개변수들은 실험 또는 실측을 통하여 결정하여야 하지만, 이 지역의 토사를 이용한 실측자료가 없으며, 이 지역의 토질 및 흐름특성과 유사한 경우를 기존의 연구 중에서 찾는 것 역시 상당히 어렵다. 따라서, 정성적 보정을 통하여 수치모형의 입력자료를 결정한다.

이(1996)는 유사이동모형에서 사용되는 매개변수인 침식 및 퇴적 한계전단응력, 침강속도, 침식률계수에 대한 민감도 분석을 수행한 바 있다. 이 결과에 따르면, 침강속도는 퇴적되는 양을 지배하는 특성을 가지고 있고, 퇴적 한계전단응력은 퇴적이 발생하는 분포를 지배하는 특성을 가지고 있으며, 침식률계수는 주로 침식량을 지배하는 특성을 가지며, 침식 한계전단응력은 침식량 보다는 침식되는 지역의 분포를 지배하는 특성이 있다. 흐름모형의 적용하여 계산한 염하수로의 전단응력의 분포를 고려하여 침식 한계전단응력은 0.7 N/m를 사용하였다. 또한, 매립으로 인한 수로의 퇴적 현상이 주요 관심사항이므로, 기존에 사용되었던 최대값 0.7 N/m<sup>2</sup> (Mimura, 1993)과 가까운 값으로 0.6 N/m를 퇴적 한계전단응력으로 사용하였다.

침식률계수는 중앙값인  $0.55 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^2/\text{s}$ 를 사용하였으며, 실트의 침강속도는 0.0018 m/s를 사용하였다. 남·북쪽 경계에서 유입되는 부유사 농도는 모두 0.56 kg/m<sup>3</sup>를 사용하였으며, 유출시에는 외삽경계조건을 적용하였다. 이 등(1997)은 한강 하류부에서 실트에 대한 Elder 상수를 매개변수 추정을 통해 결정한 바 있다. 본 연구의 대상지역의 실트질 부유사의 기원은 한강을 통해 유입된 것일 가능성이 클 것으로 판단되어 이 결과와 유사성이 있을 것으로 가정하였다. 따라서 Elder 상수는 21.0을 사용하였다.

3.5 유사이동모형 적용

염하수로의 지형변화 예측을 위해 Fig. 4의 조석 경계조건을 갖는 흐름에 대하여 평면 이차원 유사이동모형을 사용하여 공유수면 매립공사 전·후 두 가지 경우에 대하여 약 30일간 수치모의하였다. 지형변화는 부정류 흐름 계산결과를 이용하여 비정상 상태로 계산하였다. 계산 결과는 소조기(모의시작 222 시간 후)와 대조기(모의시작 384시간 후)의 하

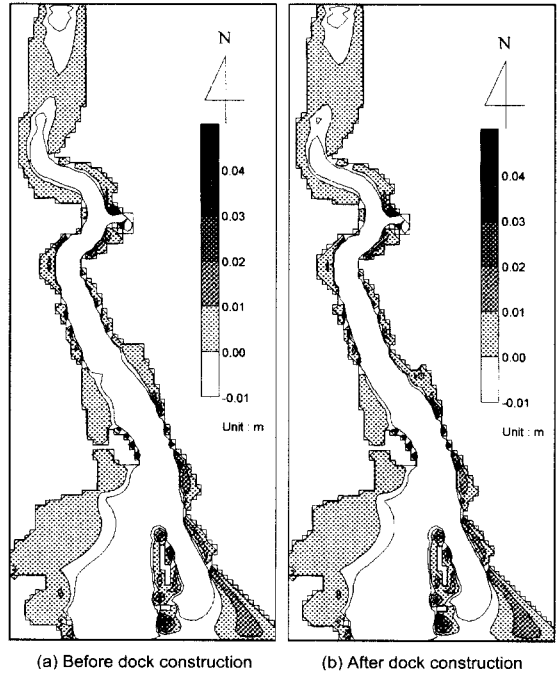
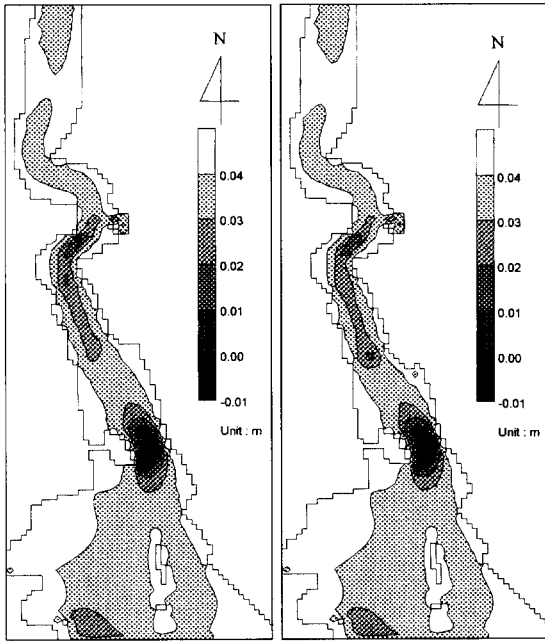


Fig. 5. Computed bed level changes (neap tide, deposition).

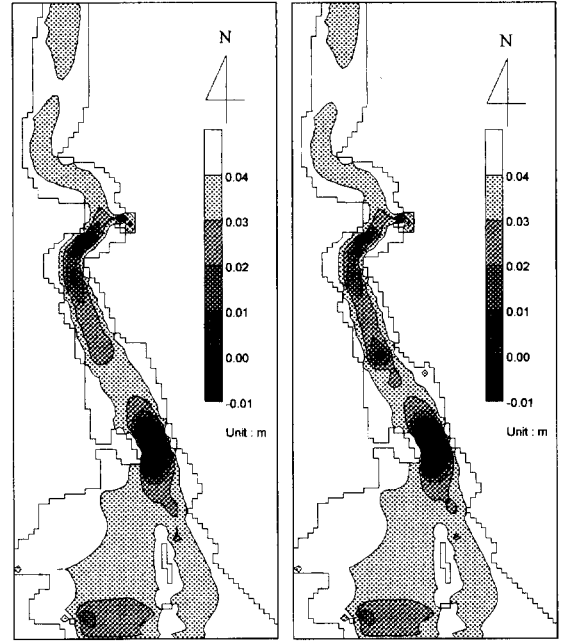
상변동 경향을 도시하였다.

Fig. 5는 소조기까지의 퇴적량을 도시한 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 매립 공사 전·후의 지형 변동의 차이는 거의 나타나고 있지 않으며, 대부분의 영역에서 퇴적 깊이는 0.01 m 이하이다. 본 연구의 관심영역인 황산도에서 손돌목까지 구간에서 지형변화의 차이가 나타나는 영역은 대명포구 동남쪽 연안부(신설 포구에 인접한 부분)에서 국부적으로 퇴적이 발생하지 않는 부분이 나타나고 있다. 이는 창·낙조시 이 영역을 유출입하는 유속이 큰 값을 가지기 때문이다. Fig. 6은 소조기까지의 침식량을 도시한 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 매립 공사 전·후의 지형 변동의 차이는 거의 나타나고 있지 않으며, 대부분의 영역에서 침식 깊이는 0.01 m 이하이다. 침식량이 크게 나타나는 영역은 황산도 동쪽은 수로폭이 갑자기 좁아져서 국부적으로 큰 유속이 발생하는 부분이며, 침식 가능한 깊이로 가정한 0.5 m가 모두 침식되는 현상이 나타나고 있다. 대명포구에서 선돌목까지는 수로 중앙에 0.1~0.2 m의 침식이 발생하고 있다. Fig. 7과 8은 대조기까지 지형변동을 모의한 결과로 각각 이 기간동안의 퇴적량과 침식량을 보여 주고 있다. 침식량 및 퇴적량은 소조기까지의 결과와 비교할 때 동일한 경향을 보이고 있으며, 단지 시간이 경과된 만큼의 양적 차이만 보이고 있다.

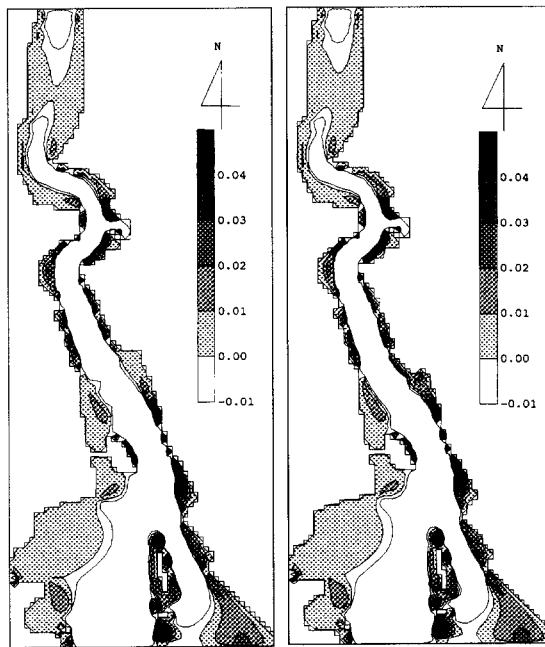
이상의 결과에서 볼 수 있는 현상은 1998. 2월에 수행한



(a) Before dock construction (b) After dock construction  
**Fig. 6.** Computed bed level changes (neap tide, erosion).



(a) Before dock construction (b) After dock construction  
**Fig. 8.** Computed bed level changes (spring tide, erosion).



(a) Before dock construction (b) After dock construction  
**Fig. 7.** Computed bed level changes (spring tide, deposition).

현장 답사중에도 확인할 수 있던 사항이다. 농어촌연구원의 토질 시험 결과에서도 수로 중앙부는 암반으로 되어 있어서, 토사 특성 자료를 연안에서 채취한 바 있다. Fig. 5~8은 대

조기 및 소조기를 각 1회씩 포함하는 시간인 384시간(16일)을 수치모의한 결과로서 모의시간을 길게 하면 수로 중앙부에는 실트질 토사는 모두 침식될 것으로 예측할 수 있으며, 염하수로 연안은 유속이 작아서 토사의 퇴적이 지속될 것으로 예측할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구는 공유수면 매립으로 인한 수로폭 감소 및 수로 지형의 변화에 따른 해저지형의 침식 및 퇴적의 양상을 평면 이차원 유사이동모형을 이용한 수치실험을 통하여 검토할 목적으로 수행하였다. 점착성 및 비점착성 유사의 이동을 모의할 수 있는 평면 2차원 수치모형으로 MOSU 모형을 사용하였으며, 하천 및 호수에 적용하던 모형을 조석 현상이 지배적인 하구에 적용하기 위해 조건대 해석기법을 도입하여 모형을 보완하였다.

지형변화 양상을 규명하기 위하여 선착장 건설 전·후의 낙조, 저조, 창조 및 고조시의 유속 및 저면 전단응력 분포를 검토하고, 16일간의 단기간에 대한 수로 지형변화량을 침식량과 퇴적량으로 구분하여 분석하였다. 수치실험 결과 선착장 건설 전·후의 지형 변화가 눈에 띄게 나타나는 현상은 발견할 수 없었다.

## 감사의 글

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제(신진교수연구과제, 1997-003-E00529) 연구비에 의하여 연구되었 으며, 이에 감사드립니다. 자료수집에 많은 도움을 주신 농어촌진흥공사 농어촌연구원 수리시험장에도 감사드립니다.

## 참고문헌

- 강시환, 카알지글러, 윌버트릭, 1987. 하구 인접 내항의 퇴적물 수송에 대한 수치모델 해석, 한국해양학회지, **22**(1): 25-33.
- 강주환, 1991. 유한차분모형에 의한 하구의 염도확산 분석, 서울대학교 공학박사 학위논문.
- 염기대, 1988. 광양만 퇴적물 이동 수치모델, 광양공업단지 조성에 관한 토목학회 심포지움, pp. 315-332.
- 염기대 등, 1991. 부산 인공섬 건설에 따른 퇴적물 이동연구(Ⅲ), 한국해양연구소, 과학기술처.
- 이길성 등, 1993. 팔당호 수질조사 및 평가, 서울대학교 토목공학과.
- 이길성, 강주환, 1989. 천수방정식의 유한차분특성, 대한토목학회논문집, **9**(1): 41-51.
- 이길성, 이남주, 1997. 잠실수중보 주변 하상변동 수치모의(Ⅱ)-모형의 적용 및 수문 운영, 대한토목학회논문집, **17**(Ⅱ-1): 55-65.
- 이길성, 이남주, 오성택, 1997. 잠실수중보 주변 하상변동 수치모의(Ⅰ)-매개변수 추정 및 검증, 대한토목학회논문집, **17**(Ⅱ-1): 67-76.
- 이남주, 1996. 좌표변환에 의한 이차원 유사이동모형의 개발 및 적용, 서울대학교 공학박사 학위논문.
- 이상화, 1990. 하구의 점착성 부유사 이동에 관한 수치모형, 서울대학교 공학박사 학위논문.
- 최홍식, 이길성, 1993. 방조제 건조시 수리특성 및 조간대의 모의해석, 한국해양·해양공학회지, **5**(2): 99-106.
- Benque, J.P., Cunge, J.A., Feuillet, J., Hanguel, A. and Holly, F.M., 1982. New method of tidal current computation, *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Div.*, ASCE, **108** (WW3), pp. 396-417.
- Elder, J.W., 1959. The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow, *J. Fluid Mech.*, **5**, pp. 544-560.
- Falconer, R.A. and Owens, P.H., 1987. Numerical simulation of flooding and drying in a depth-averaged tidal flow model, *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, Part 2, **83**, pp. 161-180.
- Hayter, E.J. and Mehta, A.J., 1982. Modeling of estuarial fine sediment transport for tracking pollutant movement, *Tech. Rep. UFL/COEL-82/009*, EPA.
- Lee, D.H., 1986. The development of a multi-class size sediment transport model and its application to Sandusky Bay, M.S. thesis, Ohio State Univ.
- Li, Y., Xie, J. and Wu, W., 1991. Mathematical simulation of navigation channel changes in the fluctuating backwater region of the three Gorges reservoir, *Regional Training Programme on Erosion and Sedimentation for Asia, Proc. Int'l. Symp. on Special Problems of Alluvial Rivers including those of Int'l. Rivers*, KICT, pp. 169-176.
- Mimura, N., 1993. Rates of erosion and deposition of cohesive sediment under wave action, *Coastal and Estuarine Studies*, AGU, **42**, pp. 247-264.
- Odd, N.V. and Owen, M.W., 1972. A two-layer model for mud transport in the Thames estuary, *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, pp. 175-205.
- Partheniades, E., 1962. A study of erosion and deposition of cohesive soils in salt water, Ph.D thesis, Univ. of California, Berkeley.
- Ponce, V.M. and Yabusaki, S.B., 1981. Modeling circulation in depth-averaged flow, *J. Hyd. Div.*, ASCE, **107**(HY11), pp. 1510-1518.
- Stelling, G.S., Wiersma, A.K. and Willems, J.B.T.M., 1986. Practical aspects of accurate tidal computation, *J. Hyd. Eng.*, ASCE, **112**(9), pp. 802-817.

Received March 8, 1999

Accepted May 17, 1999