

3차원 흐름 모델링시스템(FEMOS)을 이용한 아산만 조류모의 Numerical Simulation of Tidal Currents of Asan Bay Using Three-Dimensional Flow Modeling System(FEMOS)

정태성* · 김성곤** · 강시환***

Tae Sung Jung*, Sung Gon Kim**, and See Whan Kang***

요약 : 3차원 흐름 모델링시스템 FEMOS를 개발하고, 아산만 조류분포를 모의하였다. 개발된 시스템은 조건대 모의를 할 수 있으며, 수치해석방법으로 유한요소법을 사용하여 격자형성이 자유스러우며, 복잡한 해안선을 효과적으로 나타낼 수 있다. 넓은 조건대와 큰 조차, 얕은 수심을 가진 아산만의 조류분포 모의에 시스템을 적용한 결과, 모의결과는 장기간의 중층에서 유속변화, 층별 유속의 시간변화와 일치하는 양호한 계산결과를 보였다. 아산항 건설 전·후 조류 계산결과에 기초하여 산정한 바닥마찰응력 분포 변화를 수심변화 관측결과와 비교한 결과, 마찰응력이 증가하는 곳에서는 침식으로 수심이 깊어지고, 감소하는 곳에서는 퇴적으로 수심이 얕아지고 있음을 확인할 수 있었다. 개발된 본 모델링시스템은 그 적용성이 입증됨에 따라 복잡한 해안선과 지형을 가진 연안해역의 해수유동 연구에 널리 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 3차원 모형, 조류, 아산만, 조건대

Abstract □ A modeling system for three-dimensional flow (FEMOS) has been developed and applied to simulate the tidal currents of Asan Bay. The system can consider tidal flats changing with time and uses a finite element method that can adapt coastline change effectively. The simulation results for Asan Bay with large tidal flats, shallow water depth and high tidal range showed good agreements with the observed currents of long-term variations at the medium layer and short-term variations of vertical profiles. Based on the simulated tidal currents, the horizontal distributions of bottom shear stress were calculated and showed close relation with the change of bottom topography. The system can be used widely to study coastal circulation in the coastal region with complex geography.

Keywords : 3-d model, tidal currents, Asan Bay, tidal flats

1. 서 론

최근 연안해역의 개발과 이용이 전국 연안에서 활발하게 진행되고 있으며, 이에 따라 연안 환경이 크게 변화하고 있다. 아산만을 비롯한 서해연안에서는 담수호 개발과 간척을 목적으로 한 방조제 건설과 서해안 시대 개막에 따른 해운 물동량 증가에 효과적으로 대처하기 위해 항만 개발이 최근 활발하게 진행되고 있다. 특히 아산만에

서는 해안선을 포함한 지형변화로 인해 해수유동 특성이 변화하고 이로 인한 퇴적물과 오염물질의 이동특성이 크게 변화하고 있다. 아산만은 복잡한 해안선을 가지고, 최대 약 10 m에 달하는 큰 조차로 인해 조건대가 넓게 발달되어 있으며, 지형변화에 따라 유속이 변하는 복잡한 흐름구조를 갖고 있으며, 주변에 조성된 담수호로부터 홍수 시 다량의 담수가 유입되고 있다. 따라서, 아산만에서 흐름 현상을 정확히 이해하기 위해서는 복잡한 해안선과 조

*한남대학교 토목환경공학과(Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University, 133 Ojung-dong Taeduk-gu, Daejeon 306-791, Korea. jungts@mail.hannam.ac.kr)

**한길 IT(Hangil IT, Seoul)

***한국해양연구원 연안·항만공학연구본부(Coastal & Harbor Engineering Research Lab., Korea Ocean Research & Development Institute)

간대를 효과적으로 고려할 수 있는 3차원 수치모형의 개발 및 적용이 필요하다.

서해안과 같이 넓은 조간대를 갖는 복잡한 지형에 대해 2차원 모형을 사용하여 조석 및 조류분포를 해석한 경우는 많으나(정 · 김, 1992; 소 등, 1998), 3차원 모형을 적용한 연구는 드물다. 정 등(2000)은 이동경계를 고려한 3차원 유한차분모형을 아산만 조류해석에 적용하였으며, 이 등(2000)은 직사각형 격자를 사용하는 3차원 유한차분모형인 POM(Princeton Ocean Model, Blumberg and Mellor, 1987)을 음해법 도입과 조간대를 고려할 수 있도록 수정하여 경기만에 적용하였다. 서해 연안해역에서 조석 및 조류에 대한 연구는 대부분 직사각형 격자체계를 사용하는 유한차분모형을 사용하여 수행되어 왔다. 유한차분모형은 서해안과 같이 복잡한 육지경계를 가진 곳에서 해안선을 계단식으로 표현하여 정밀하게 해안선 변화를 표현할 수 없는 단점이 있다. 육지경계를 정확히 표현할 수 있는 유한요소모형에 관한 연구로 서(1999)는 황해와 동중국해에 대한 3차원 조화유한요소모형을 황해 및 동중국해 조석모의에 적용하였으며, 정(1998)은 3차원 모형을 개발하고 마산-진해만의 조석 및 조류를 모의한 바 있다.

본 연구에서는 이동경계 처리기법(정 · 김, 1992)을 3차원 모형에 도입하여 넓은 조간대를 갖는 복잡한 지역에 대해서 사용가능한 3차원 유한요소 해수유동모형을 수립하고, 아산만 조류분포를 모의하였다. 현장관측 조류분포와 비교검증을 통해 모형의 적용성을 검토하였으며, 모형의 적용은 현재 개발이 한창 진행중인 아산항 개발 전후에 대해 검토하였다. 모의결과에 기초하여 아산항 개발에 따른 조류변화에 따른 바닥마찰응력 분포의 변화가 퇴적환경 변화에 미치는 영향을 검토하였다. 또한, 개발된 모형은 기존 상용 소프트웨어(Brigham Young University, 2000; Secretan and Leclerc, 1998)와 같이 실무에 활용하기 편하도록 GUI(Graphic User Interface)상에서 개발하여 비전문가도 쉽게 활용할 수 있도록 한 윈도우즈용 3차원 흐름 모델링시스템 FEMOS(Finite Element Modeling System)이다. 이와 같이 GUI상에서 모형개발은 국내에서는 미진한 실정으로 최근에 한국해양연구원에서 해양과 해상기상관련 군사작전, 작전설계, 작전운용, 시험평가 등을 위한 기상해양환경시스템을 개발하고 있다(김창식, 2001).

2. 3차원 흐름 모델링 시스템(FEMOS)

2.1 수치모형

연안해역에서 해수순환은 위치 및 수심에 따라 변하는 3차원 구조로 되어 있으며, 해안선이 복잡하게 변하는 우리나라 서·남해안과 같은 지형에서는 복잡한 해안선 변화를 적절히 모의할 수 있는 유한요소모형이 효율적이다. 지금까지 해수유동모형으로 평면 2차원모형이 널리 사용되었으나, 유속의 연직 분포를 나타낼 수 없기 때문에 불의 유동에 관한 완전한 이해가 어렵다. 따라서 최근 PC 성능의 향상으로 3차원모형을 이용하여 흐름현상을 모의하고 있으나 대부분 유한차분방법을 이용하여 불규칙한 해안선을 한정된 격자수로 계단형태로 나타내고 있기 때문에 정확한 모의가 어렵다. 본 연구에서는 수심에 관계없이 연직층 수를 균등한 수로 분할하는 연직정규좌표(σ 좌표)에서 이동경계를 고려한 3차원 유한요소 수치모델링 시스템을 개발하였다.

직교좌표계에서 3차원 연속방정식과 운동량방정식을 연직방향에 대하여 정규화한 σ -좌표에서 식으로 변화한 식을 Galerkin의 유한요소법을 사용하여 해석하였다. 직교좌표계(xyz)에서 3차원 연속방정식과 운동량방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} - fv = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) + F_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} - fu = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) + F_y \quad (3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g \quad (4)$$

여기서, t 는 시간, (u, v, w) 는 (x, y, z) 방향 유속, f 는 코리올리 상수, ρ 는 밀도, P 는 압력, F_x, F_y 는 각각 x, y 방향 운동량의 수평확산항, A_v 는 연직외점성계수이다.

수심 z 에서의 압력 P 는 식 (4)를 적분하고 대기압을 무시하면 다음과 같다.

$$P = \rho g(\eta - z) \quad (5)$$

자유수면 $z = \eta(x, y, t)$ 에서 경계조건은 다음과 같다.

$$\rho A_v \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = (\tau_{xx}, \tau_{yy}) \quad (6)$$

여기서, τ_{xx} 와 τ_{yy} 는 각각 x, y 방향의 바람마찰응력이다.

바닥 경계조건은 다음과 같다.

$$\rho A_v \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = (\tau_{bx}, \tau_{by}) \quad (7)$$

여기서, τ_{bx}, τ_{by} 는 각각 바닥마찰응력 τ_b 의 x, y 방향의 성분이며, τ_b 는 바닥경계층에서 유속분포에 대한 대수법칙에 의하면 다음과 같다(Blumberg and Mellor, 1987).

$$\tau_b = \rho C_D \left| \vec{v}_b \right| \vec{v}_b \quad (8)$$

여기서 \vec{v}_b 는 바닥층 유속이며, 항력계수 C_D 는 다음과 같다.

$$C_D = \left[\frac{1}{k} \ln \left(\frac{H+z_b}{z_o} \right) \right]^2 \quad (9)$$

여기서, H 는 총수심, z_b 는 바닥으로부터 \vec{v}_b 계산점까지의 연직거리, z_o 는 바닥조도이다.

위의 식들을 $\alpha = \frac{z-\eta}{H+\eta}$ 좌표로 변환하면 다음 식과 같이 된다(정, 1998).

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial uH}{\partial x} + \frac{\partial vH}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial \sigma} = 0 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial uH}{\partial t} + \frac{\partial(uuH)}{\partial x} + \frac{\partial(uvH)}{\partial y} + \frac{\partial(uw)}{\partial \sigma} - fvH \\ + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{A_v}{H} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right] + F_{\sigma x} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial uH}{\partial t} + \frac{\partial(uvH)}{\partial x} + \frac{\partial(vvH)}{\partial y} + \frac{\partial(uw)}{\partial \sigma} + fuH \\ + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{A_v}{H} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right] + F_{\sigma y} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서, ω 는 σ 방향의 유속, $F_{\sigma x}$ 와 $F_{\sigma y}$ 는 각각 σ 좌표계에서 식으로 변환된 x, y 방향의 수평확산항이다.

위 식에서 수면변위 η 는 2차원 천수방정식으로부터 구한다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} = 0 \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial UH}{\partial t} + \frac{\partial(UUH)}{\partial x} + \frac{\partial(UVH)}{\partial y} - fVH \\ + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} - DF_x = \frac{\tau_{sx}}{\rho} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} - \frac{\overline{\partial HU'^2}}{\partial x} - \frac{\overline{\partial HU'V'}}{\partial y} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial VH}{\partial t} + \frac{\partial(UVH)}{\partial x} + \frac{\partial(VVH)}{\partial y} - fUH \\ + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} - DF_y = \frac{\tau_{sy}}{\rho} - \frac{\tau_{by}}{\rho} - \frac{\overline{\partial HU'V'}}{\partial x} - \frac{\overline{\partial HV'^2}}{\partial y} \end{aligned} \quad (15)$$

여기서, U, V 는 x, y 방향의 수심평균유속, DF_x, DF_y 는 각각 x, y 방향의 수평확산항, $U'=u-U, V'=v-V$ 이며, B 는 임의변수 B 의 수심적분 값이다.

식 (13)~(15)에 대해서만 풀면 수심적분 2차원 모형이 된다. 상기 식은 삼각형 요소를 사용하는 유한요소법(정, 1998)에 의하여 계산하였다. 이 과정에서 모드분리 개념이 도입되어 수심방향에 대해서 연직확산항 계산에 음해법이 사용되었다. 이러한 모드분리 계산과정은 유한차분법을 사용한 Blumberg and Mellor(1997)와 동일하다.

초기조건은 초기유속을 0으로 주어 계산을 시작하였으며, 육지경계조건으로는 경계에서 유속의 수직성분이 0이 되도록 하였다. 개방경계조건으로는 경계면 선상의 각 격자점에서 주요 4대분조(M_2, S_2, K_1, O_1)의 합성에 의한 조위 값을 다음과 같이 지정하였다.

$$\eta(x, y, t) = \sum_{i=1}^4 A_i(x, y) \cos(\omega_i t - k_i) \quad (16)$$

여기서, $A_i(x, y)$ = i 분조의 반조차, ω_i = i 분조의 각속도, k_i = i 분조의 위상이다.

2.2 모델링시스템(FEMOS)의 구성 및 기능

본 연구에서는 이동경계를 고려한 3차원 유한요소 유동모형을 개발하고, 원도우즈상에서 모형입력자료의 준비, 모형의 실행, 계산결과에 효율적인 후처리를 통합적으로 할 수 있는 3차원 유한요소 유동모델링시스템(FEMOS, Finite Element MOdeling System)을 수립하였다. 모형 입력자료화일을 GUI환경에서 쉽게 입력 및 수정할 수 있고, Window상에서 계산 및 계산된 모형결과를 효과적으로 가시화 할 수 있는 방법들을 도입하여 계산결과를 누구나 쉽게 3차원 동영상으로 현실감 있게 볼 수 있도록 하였으며, 최종적으로 그 결과를 바로 인쇄하여 논문 또는 보고서 작성에 활용할 수 있도록 하였다. FEMOS의 기본 구조는 모델 통제를 위한 입력 파일의 생성, 모형구동, 출력은 Window 상에서 하도록 되어 있으며, 계산은 Fortran언어로 작성된 3차원 조석모형을 이용한다. 계산결과는 시스템내에서 층별 조위분포와 조류분포, 연직단면에 대한 유속분포를 화면에 도시할 수 있도록 되어 있다. 또한, 조위와 조류 분포의 시간변화를 현실감 있게 관찰할 수 있도록 동영상으로 볼 수 있도록 되어 있다. 즉 전처리와 후처리가 용이하여 조석 모델링을 효율적으로 할 수 있는 시스템이다. 본 시스템은 객체지향형 프로그래밍(Object Oriented Programming)기법을 사용하여 개발되어서 시스

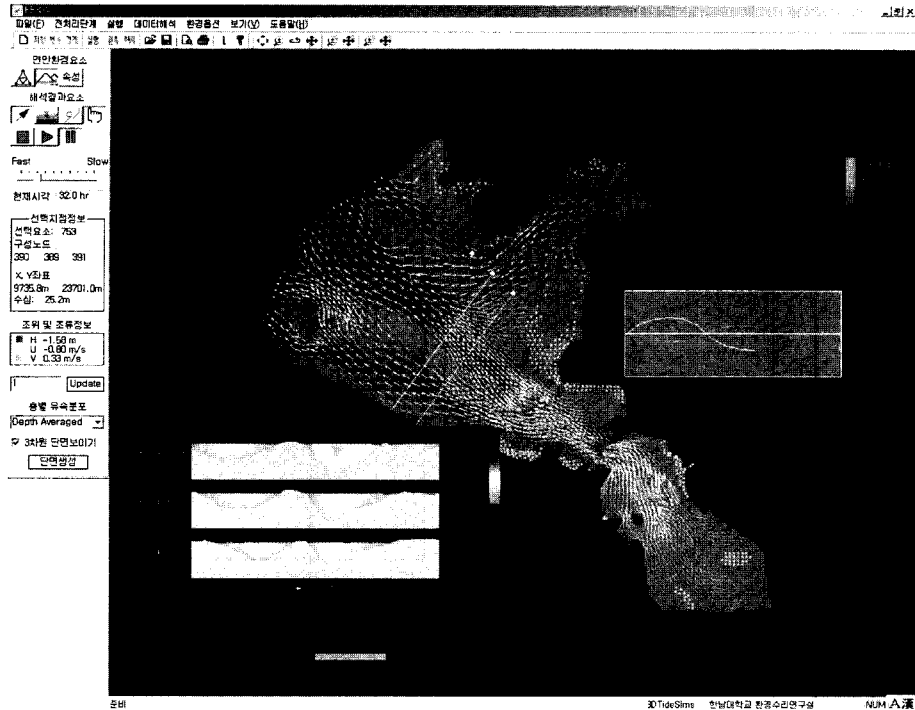


Fig. 1. Main screen of FEMOS showing the simulation results.

템의 수정 및 확장이 용이할 뿐만 아니라, 동적 메모리 할당기법을 사용하여 대용량데이터를 효율적으로 처리할 수가 있다. 개발에 사용된 언어는 Visual C++6.0과 OpenGL이며, 개발된 유동 모델링 시스템(FEMOS)의 주화면 구성은 Fig. 1과 같다. 조위, 유속의 평면분포, 특정지점에서 조위와 유속의 시간변화, 특정단면에서 유속의 연직분포를 보여주고 있다.

3. 시스템의 검증

Fig. 2와 같이 유한요소 격자의 크기가 70~600 m인 격자를 총격자수 3,517개, 총요소수 6,515개로 구성을 하였다. 모델영역은 위도 36°53'00"~37°11'00"N, 경도 126°31'00"~126°55'00"E이며, 수심자료 및 지형자료는 수치해도 No. 307을 사용하여 89년도 지형에 맞게 구성하여 15일간 계산을 수행한 후 조위 및 유속 관측자료(인천항건설사무소, 1993)와 비교검증하였다.

조위관측지점(T1)에서 조위를 1992년 12월 13일에서 27일까지 FEMOS를 사용하여 계산한 결과와 평택항에서 관측한 조위를 조화분석하여 얻은 조화상수를 조석예측프

로그래를 이용하여 예측한 조위를 비교하였다. 관측조위와 예측조위를 비교한 결과(Fig. 3), 모의결과가 관측조위와 거의 정확하게 일치하는 양호한 결과를 보이고 있다.

조류계산결과의 검증을 위하여, 2개 지점(Fig. 2의 E와 F)의 중층에서 관측된 15일간의 유속 시계열 자료, 4개 지점에서 관측된 조석 1주기동안의 층별 유속변화 관측자료와 검증하였다. 2개 지점의 중층관측자료와 유속크기를 비교한 결과(Fig. 4)는 위상과 유속 크기가 대체로 일치하였다. 그림에서 +는 창조류를, -는 낙조류를 의미한다. 조석 1주기간 층별 유속변화를 검증한 결과(Fig. 5)를 보면, 각 지점에서 예측된 표층, 중층, 저층의 유속이 관측된 유속과 대체로 위상과 크기가 일치하는 모습을 보이고 있으며, 수심이 깊어짐에 따른 유속이 감소하는 유속의 연직분포를 비교적 정확히 재현하고 있다.

4. 조류 모의 결과

서해 연안중부에 위치한 아산만에서 항만개발에 따른 해안선 변화로 인한 조류변화와 그에 따른 퇴적환경 변화를 분석하기 위해 FEMOS를 적용하였다. 아산만은 방

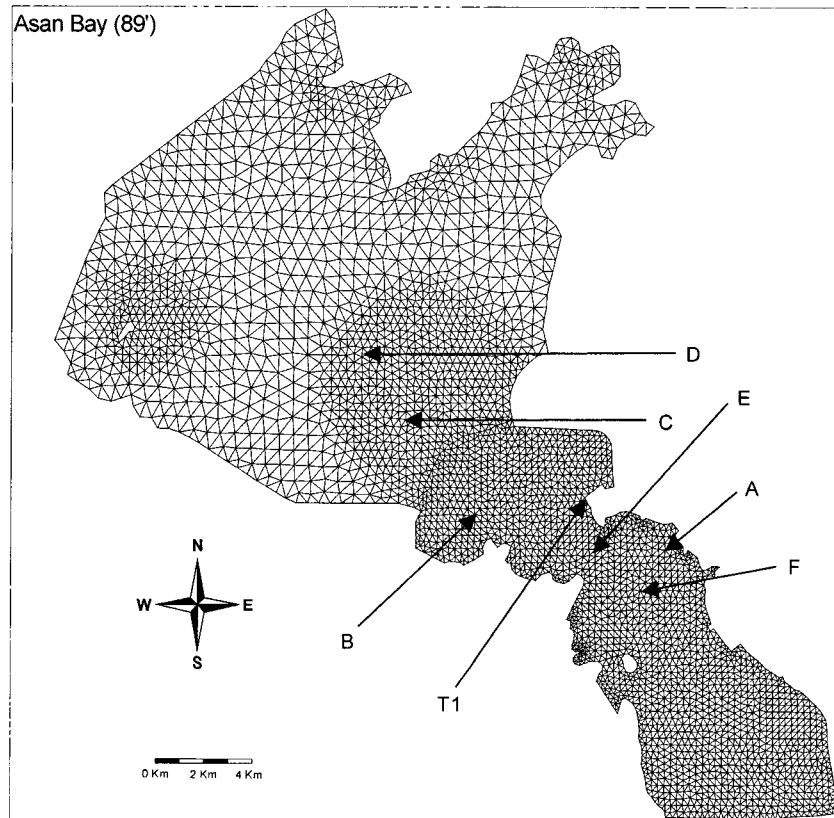


Fig. 2. Finite Element Grid System for Numerical modeling of Asan Bay in 1987.

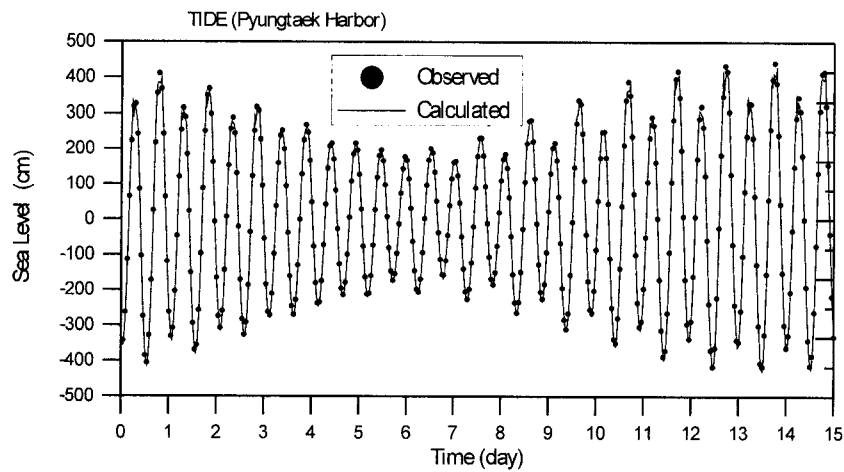


Fig. 3. Sea Level Change at Pyungtaek Harbor.

조제 건설과 간척지 개발로 인한 해안선의 변화와 항만 건설에 따른 준설작업으로 인해 수심의 변화가 발생하는 지역으로 크게 내만과 외만으로 구분된다. 남양호, 아산

호 및 삼교호로 둘러 쌓인 내만은 수심이 10 m 이내로 얕은 반면, 입파도, 제부도, 남양만 및 석조방조제로 이루어진 외만은 넓으며, 중앙천퇴에 의해 수심이 약 25 m인 주

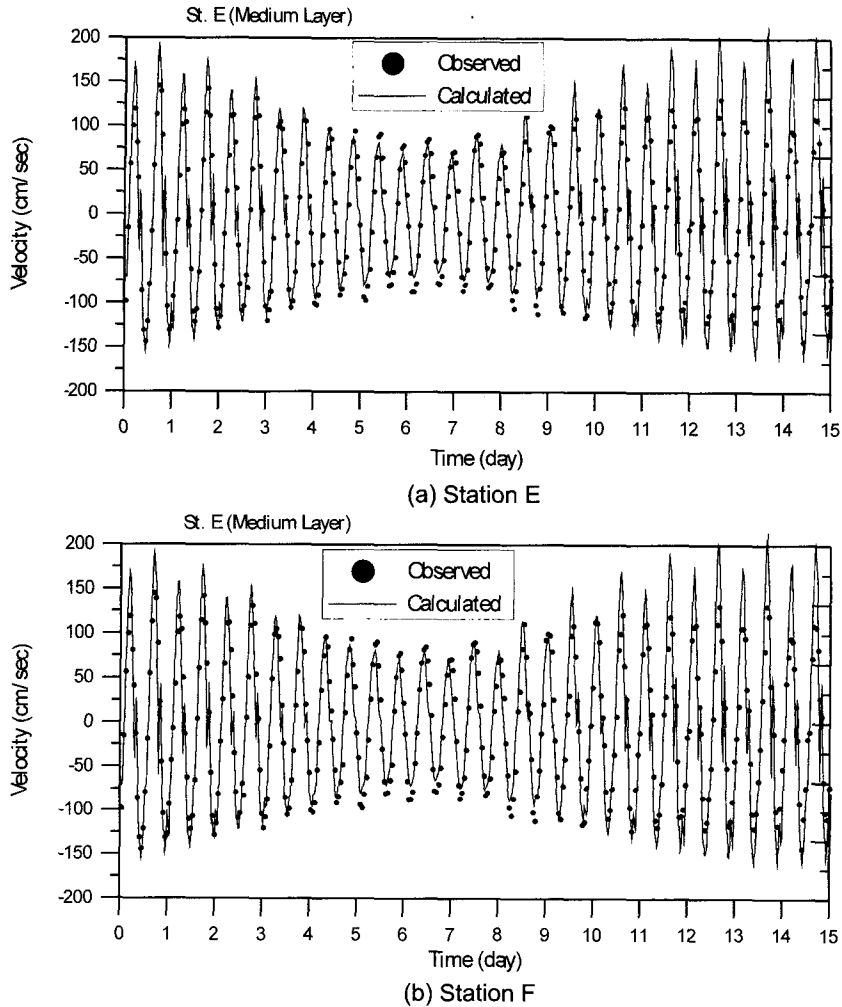


Fig. 4. Time variations of tidal currents at the medium layer.

요 항로역할을 하는 북측수로와 수심이 15~20 m인 남측 수로로 구분 된다. 본 연구에서는 장래 예측을 위한 연구의 초기 연구로 1989년과 1995년 당시의 조류를 모의하고 조류변화와 수심변화의 관련성을 검토하였다.

4.1 1989년도의 조류(아산항 개발전)

모형검증시 계산한 아산항 개발전 상황에 대한 대조기 조류의 층별 분포를 출력한 결과는 Fig. 6과 같다. 전반적인 유속방향은 창조시는 남동방향, 낙조시는 북서방향이며, 유속 크기는 아산항 개발 예정지역에서 가장 큰 유속(최대 약 2 m/sec)을 보인다. 만내로 유입된 해수는 대부분 아산항 건설예정지로 향하나 북측 외해경계로부터 유

입된 일부 해수는 평택항 북측에 위치한 남양만으로 이동한다. 대조기와 소조기 흐름패턴은 거의 동일하였으며, 단지 조차 차이에 따라 대조기는 유속이 크고 소조기는 작았다(Fig. 7). 저층 유속은 표층 유속크기의 약 60~70%였다(Fig. 8).

4.2 1995년도의 조류(아산항 일부 공사후)

외만에서 내만으로 유입되는 수로의 절반가량을 차단한 상황인 1995년도 아산만에서 조류분포를 계산하기 위해서 유한요소의 격자의 크기가 70~600 m인 격자를 총 격자수 4,445, 총요소수 8,311개로 구성하였으며, 영역은 위도 36°53'00"~37°11'00"N, 경도 126°31'00"~126°55'00"E이

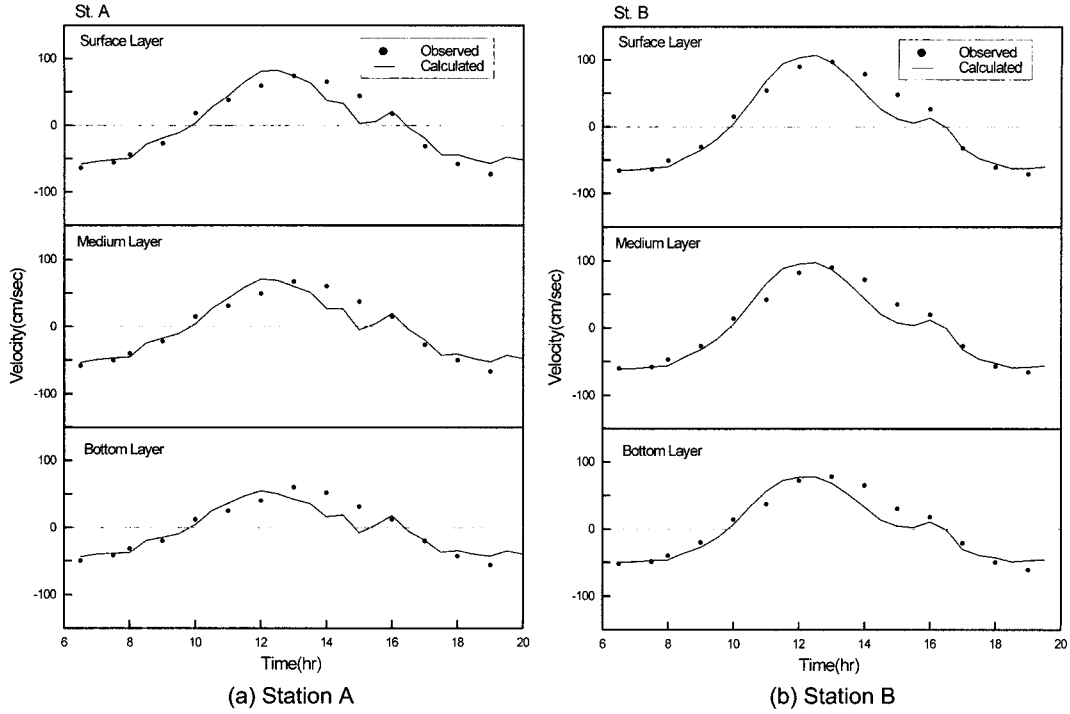


Fig. 5. Time variations of tidal currents at the surface, medium and bottom layers.

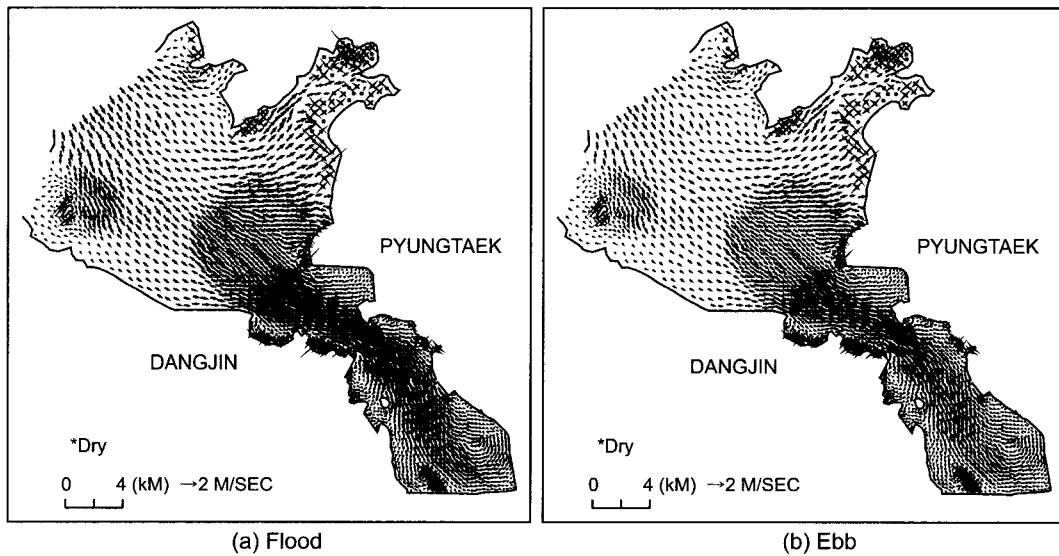


Fig. 6. Distributions of tidal currents at the surface layer in spring tide of 1989.

며, 수심자료 및 지형자료는 수치해도 No. 307을 사용하여 95년도 지형에 맞게 적용하였다. 해안선 변화에 따른 조류분포 영향을 검토하기 위하여 1989년도와 같은 수심 자료를 이용하였다. 대조기 표층 조류분포는 Fig. 9와 같다.

전반적인 유속방향의 형태는 1989년의 조류분포와 비슷한 양상이나 아산항 개발로 인해 행담도와 만호리 사이 수로가 약 절반으로 좁아져 행담도 주변 수로에서 유속(대조기 최강유속 2~3 m/sec)이 크게 증가하였다.

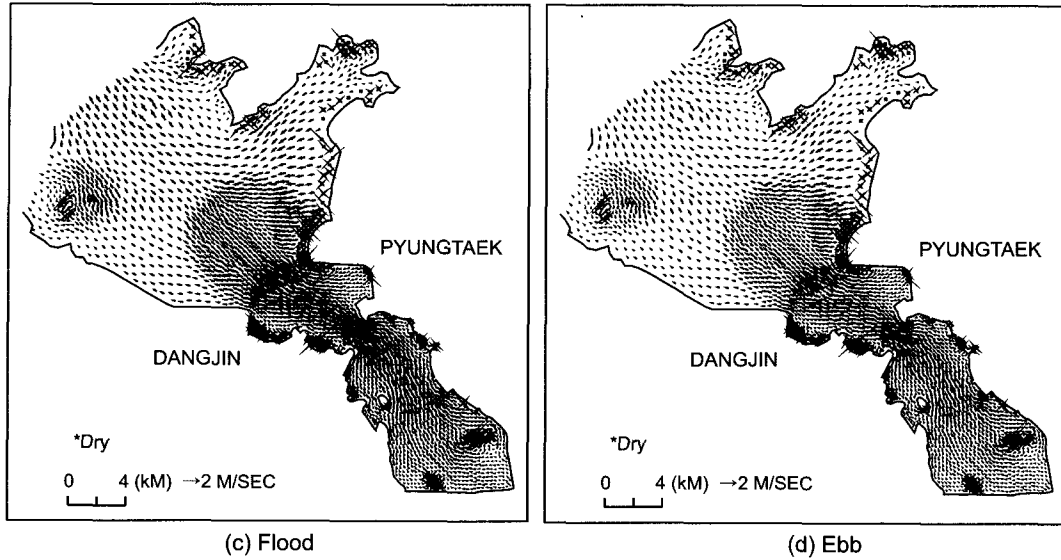


Fig. 7. Distributions of tidal currents at the surface layer in the neap tide of 1989.

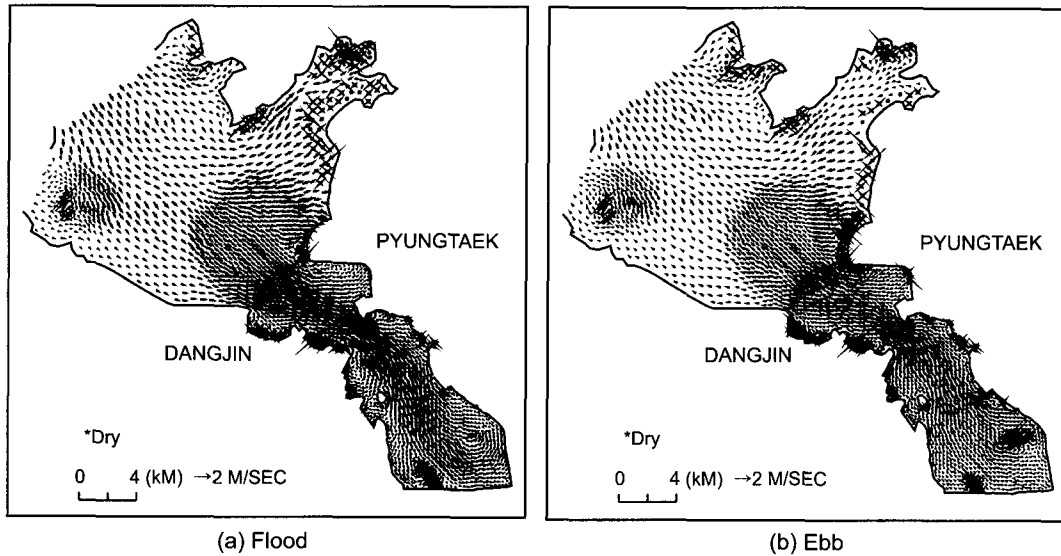


Fig. 8. Distributions of tidal currents at the bottom layer in the spring tide of 1989.

5. 수심변화와 유속변화의 관련성 검토

현재 아산만 지역은 아산신항만 건설로 인한 해안선 변화로 수심이 변화하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 1989년과 1995년 조류분포 계산결과를 토대로 바닥 마찰응력분포 변화를 식 (8)을 이용하여 계산하고, 수심변화와 바다마찰응력 변화의 관계를 수심관측결과(인천항건설사무소, 1996)와 비교를 통하여 분석하였다.

Fig. 10은 수심변화 관측자료, Fig. 11은 창조시 1995년과 1985년의 바닥전단응력 차의 분포도이다. 두 그림을 비교해 보면, 전단응력이 증가한 곳은 침식으로 수심증가가, 전단응력이 감소한 곳에서는 수심감소, 즉 퇴적이 발생하였다. Fig. 10에서 원은 1 m 이상 침식된 부분을, 사각형은 1 m 이상 퇴적된 부분을 각각 나타낸다. 또한 방파제 북서측 부분이 바닥전단응력의 감소에도 불구하고 침식이 된 이유는 아산항 공사중의 체절공사시 발생한 유

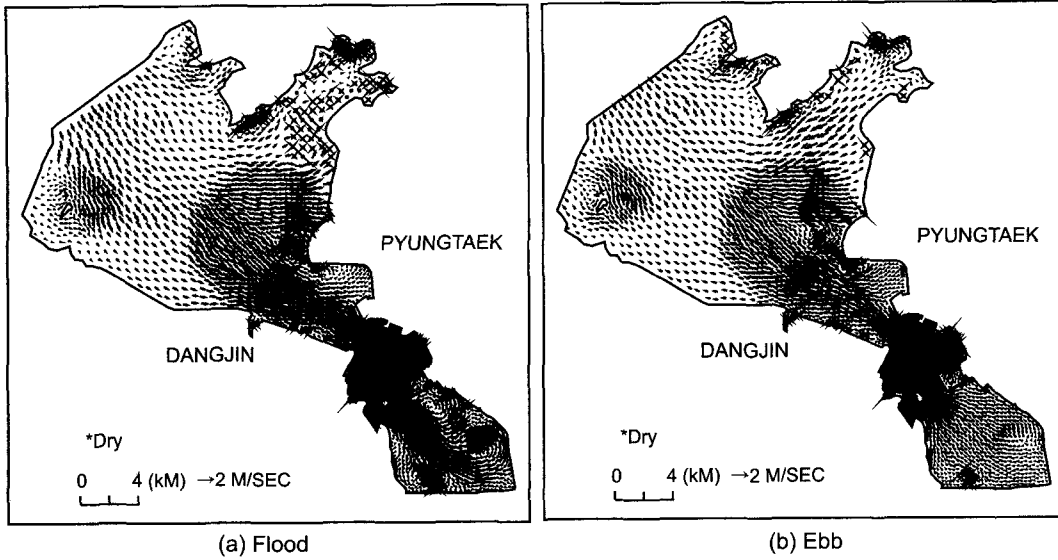


Fig. 9. Distributions of tidal currents at the surface layer in spring tide (1995).

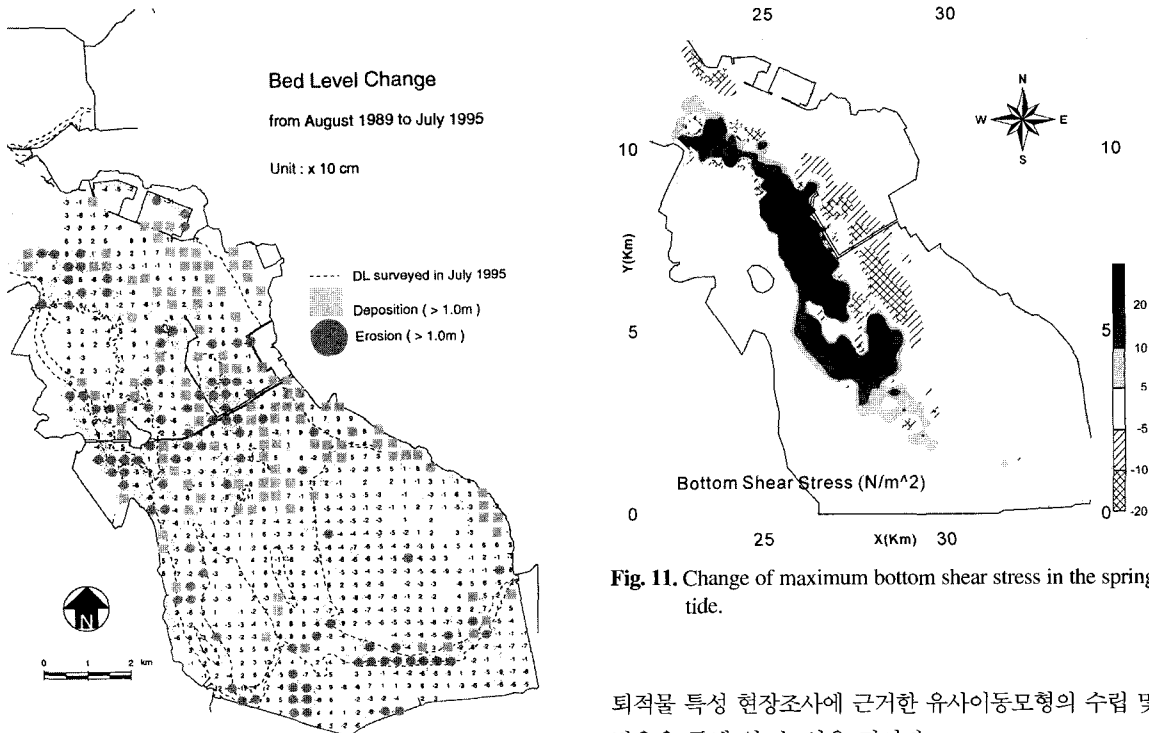


Fig. 10. Change of bottom topography.

속증가 때문으로 생각된다. 따라서, 퇴적환경 변화는 조류변화와 밀접한 관계를 갖고 있음을 확인할 수 있었으며, 자세한 퇴적변화과정에 대한 이해는 조류 모의결과와

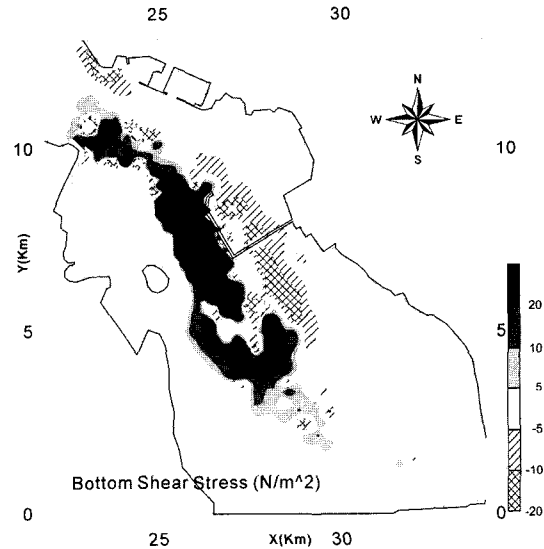


Fig. 11. Change of maximum bottom shear stress in the spring tide.

퇴적물 특성 현장조사에 근거한 유사이동모형의 수립 및 적용을 통해 알 수 있을 것이다.

6. 결론 및 연구과제

본 연구에서는 3차원 흐름 모의시스템 FEMOS를 개발하여 아산만 조류해석에 적용하고, 관측자료와 비교검증, 조

류변화와 수심변화의 관련성 검토 등을 시도하였다. 모형 개발 과정에서 도입된 조건대 처리기법은 모형에서 정상적으로 잘 작동하였으며, 계산된 조류분포는 2개 정점에서 15일간 조류변화, 4개 정점에서 층별 조류의 시간변화와 일치하는 양호한 계산결과를 보였다. 따라서, 개발된 시스템의 정확성을 확인할 수 있었다. 아산항 개발전인 1989년과 1단계 개발 중인 1995년 상황(내만과 외만을 연결하는 수로의 절반가량이 차단된 경우)에 대하여 계산한 조류분포를 비교한 결과, 통수단면적 축소로 연결수로내 유속이 크게 증가하는 모습을 보였다. 아산항 개발 전·후 유속계산결과에 기초하여 바닥마찰용력을 산정하고, 그 분포를 검토한 결과, 단면이 좁아진 수로내에서는 유속증가로 마찰용력이 증가하였고, 항이 개발된 곳은 유속감소로 마찰용력이 감소하였다. 아산항 부근 수심변화 관측자료와 비교한 결과에 의하면, 바닥 마찰용력이 증가하는 곳에서는 전반적으로 수심증가가, 마찰용력이 감소한 곳에서는 수심감소가 발생하였다. 아산만은 연안 개발에 따라 퇴적현상이 크게 변화하고 있으며, 이에 따른 각종 환경영향을 정확히 평가할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 연구과제인 “부유토사 발생량 평가 및 오타방지막 효율에 관한 연구용역”의 연구비 지원에 의한 연구결과이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 김창식, 2001. 가상현실기법을 이용한 해양환경의 분석기술, 해양연소식, **219**: 6-7.
- 서승원, 1999. 비선형 3차원 조화유한요소모형을 이용한 황해의 천해조석 발생, 대한토목학회논문집, **19(II-3)**: 389-399.
- 소재귀, 정경태, 채장원, 1998. 천수만 방조제 건설로 인한 조석현상 변화, 한국해양·해양공학회지, **10(4)**: 151-164.
- 이경선, 박 경, 오정환, 2000. 조건대 처리 기법을 포함한 3차원 Semi-Implicit 수역학모델 개발, 한국해양·해양공학회지, **12(2)**: 70-80.
- 인천항건설사무소, 1993. 아산신항만 수리현상조사.
- 인천항건설사무소, 1996. 아산항 II단계개발사업 실시계획용역 수치모형실험.
- 정태성, 1998. 물의 순환에 관한 3차원 유한요소모형, 한국해양·해양공학회지, **10(1)**: 27-36.
- 정태성, 김진원, 박문진, 2000. GUI를 이용한 아산만의 조석 및 조류시스템, 대한토목학회논문집, **20(2-B)**, pp. 293-303.
- 정태성, 김창식, 1992. 이동경계를 고려한 유한요소 해수유동모형, 한국해양·해양공학회지, **4(3)**: 146-155.
- Blumberg, A.F. and Mellor, G.L., 1987. A Description of Three-Dimensional Coastal Ocean Model, *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, Heaps, N.S., ed., AGU, pp. 1-16.
- Brigham Young University-Engineering Computer Graphics Laboratory, 2000. SMS Ver. 7.0 Reference Manual and Tutorials.
- Secretan, Y. and Leclerc, M., 1998. A 2D Hydrodynamic GIS and Simulation Software, *Proceedings of the 3rd International Conference on Hydroinformatics*, Copenhagen, Denmark, pp. 425-432.

Received May 10, 2002

Accepted May 29, 2002