

하구수와 표사의 상호작용에 관한 연구

이 호* · 이 중 우**

A Study on Interaction of Estuarial Water and Sediment Transport

H. Lee · J. W. Lee

Key Words : 준설물(Dredged Material), 부유성 실트(Suspended Silt), 점토성광물입자(Clay Mineral Particle), 천퇴적영역(Shoal Area), 천퇴율(Shoaling Rate), 2점재현(Two Point Recurrence), 정상상태 요소계수매트릭스(Steady State Element Coefficient Matrix), 유한차분법(FDM, Finite Difference Method)

Abstract

The design and maintenance of navigation channel and water facilities of an harbor which is located at the mouth of river or at the estuary area are difficult due to the complexity of estuarial water and sediment circulation. Effects of deepening navigable waterways, of changing coastline configurations, or of discharging dredged material to the open sea are necessary to be investigated and predicted in terms of water quality and possible physical changes to the coastal environment.

A broad analysis of the transport mechanism in the estuary area was made in terms of sediment property, falling velocity, concentration and flow characteristics. In order to simulate the transport processes, a two-dimensional finite element model is developed, which includes erosion, transport and deposition mechanism of suspended sediments. Galerkin's weighted residual method is used to solve the transient convection-diffusion equation. The fluid domain is subdivided into a series of triangular elements in which a quadratic approximation is made for suspended sediment concentration.

Model could deal with a continuous aggregation by stipulating the settling velocity of the flocs in each element. The model provides suspended sediment concentration, bed shear stress, erosion versus deposition rate and bed profile at the given time step.

* 정희원, 한국해양대학교 대학원 토목환경공학과

** 정희원, 한국해양대학교 토목환경공학부 교수

1. 서 론

1.1 연구배경

국내의 대부분의 항만은 크고 작음에 차이는 있으나 하구에 위치 또는 하천을 끼고 개발되었으며, 새로 추진되고 있는 신항만의 경우도 하천의 영향권내에 부지를 선정하여 개발이 진행되고 있다. 하구의 수리학적 특성으로 토립자의 운동이 활발한 상태에서 하구표사운동과 퇴적에 대한 기술과 수리학적 조건의 변화상태에서 이 같은 운동을 예측하는 수단은 하구수질의 유지와 항상 그리고 준설물(dredged material) 관리라는 관점에서 수질관리 기관이나 항만 및 해안 기술자들의 많은 관심의 대상이 되고 있다.

표사물질이 유입하는 대부분의 강에서는 낮은 흐름속도로 인해, 총 표사부하의 대부분은 일반적으로 부유성 실트(suspended silt)와 점토성광물입자(clay mineral particle)로 구성된다. 이들 미세한 표사는 상호 인력이 작용할 때, 중간입자의 결합으로 적절한 조건하에서 집적체를 형성하기도 한다. 이들이 형성하는 하상(河床)과 수송의 형태는 비점착성 모래와 자갈이 갖는 것과는 매우 다르다. 표사순환을 모델화하는 것은 수송모델에서 집적, 퇴적 그리고 재부유 과정이 매우 복잡하여 일반적으로 수치모델에 의한 해석이 주로 이루어지고 있다. 이와 함께 수리실험과 하구표사의 현장 연구를 병행하게된다면 문제를 보다 더 현실적으로 다룰 수 있을 것이다.

1.2 연구목적

본 연구는 부유성집적체(suspended aggregate)와 관련한 점착성 표사입자의 특성, 흐름하에서 퇴적과 침식에 관련된 개개의 수송과정을 다룬 것으로서, 사각형의 폐쇄형 항만과 같은 임의의 대상지역에 표사모델을 적용하여 천퇴적영역(shoal area)과 천퇴율(shoaling rate)을 시뮬레이션하고 해안선 침식이

나 항내매몰과 같은 제현상을 규명하는데 목적을 두고 이를 통하여 수질을 향상시키고 수로나 항만의 이용능력을 끌어올리는데 기여할 것을 목표로 한다.

1.3 연구내용 및 방법

수송과정은 침식, 수송과 퇴적이 관계된다. 침식은 한계전단응력이 초과됨으로서 전체층에 대한 이동인 단과침식(mass erosion)이나 침식율로 개개 입자가 분리되는 표면침식(surface erosion)으로 정의할 수 있다.

모든 침식표사는 부유사의 형태로 운반되고 흐름을 통해서 이류·확산된다. 질량평형을 위한 속도장은 난류운동방정식 해석으로 구하여야 한다. 선택한 운동방정식은 바람과 저면응력 및 와동성분을 포함도록 하고 질량보존 상태를 나타내는 확산-이류방정식을 함께 수립하여 유동장과 함께 물질수송을 다룬다. 난류확산계수를 운동량수송방정식에서와 같도록 하여 Fick's law을 적용한다. 일반적으로 유출-유입항은 농도항에 비해서 상대적으로 작으며, 몇몇의 조건을 제외하고 이류는 확산보다 수송과 혼합의 지배적인 형태를 갖는다.¹⁾

전단응력은 침식이나 퇴적을 결정하는 중요한 요소이며 침강속도는 연속 집적체를 구성하는 요소에 대하여 지정하고 퇴적의 용적밀도와 한계전단응력에 적용한다. 퇴적은 한계전단응력하에서 하상전단에 발생하며, 이때 퇴적율은 농도, 재부유확률, 침강속도와 침강이 발생하는 평균깊이에 좌우된다. 따라서 침강속도는 농도에 따라 변화하고 집적과정에 의해 영향을 받는다. 하구에서 이러한 표사이동에 따른 수심과 해저지형의 변화분석 및 예측에 수치모델의 구성이 필수적이다.

이와 같은 특성을 바탕으로 본 연구에서는 유한요소법을 사용하여 수치모델을 구성하기로 한다. 이때 도입한 방법으로는 Galerkin의 가중잔차법을 사용하고 농도에 대해서 2차 근사를 사용한 삼각요소로 영역을 구성한다.

2. 기초방정식

어떤 해역에서 평균해면사의 한 점을 원점으로 하여, 직교좌표계를 Fig. 1과 같이 정의할 수 있다. 여기서 x, y 축은 평균해면상으로 잡고, z 축은 연직상방으로 잡으며, u, v, w 는 각각 x, y, z 축 방향의 유속을, $z = -h$ 및 $z = \zeta$ 는 각각 해저 및 해면을 나타내는 것으로 된다. 조석을 상대적으로 장주기의 진행파로 가정하여, 식(1),(2)와 같이 조석파를 포함한 수평, 2차원 운동방정식을 유도하였다.²⁾

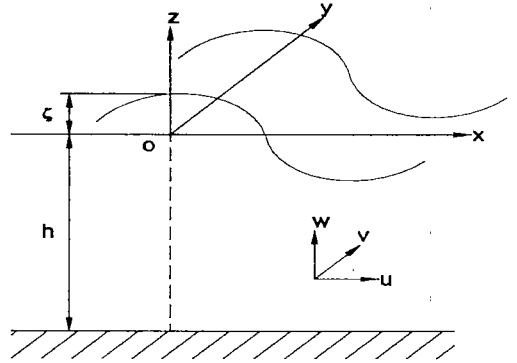


Fig. 1 Definition sketch for horizontal flow model

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{\partial a_0}{\partial x} + \\ & \frac{gh}{2\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{\epsilon_x}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - 2\omega v \sin \phi \quad (1) \\ & + \frac{gu}{C_h h} (u^2 + v^2)^{1/2} - \frac{\zeta}{h} V_a^2 \cos \phi = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + g \frac{\partial a_0}{\partial y} + \\ & \frac{gh}{2\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} - \frac{\epsilon_y}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + 2\omega u \sin \phi \quad (2) \\ & + \frac{gv}{C_h h} (u^2 + v^2)^{1/2} - \frac{\zeta}{h} V_a^2 \sin \phi = 0 \end{aligned}$$

여기서, V_a = 수면에 대한 바람의 상대속도

ϕ = 바람과 x 축 사이 각

ϵ_x, ϵ_y = 유효점성계수,

ζ = 바람에 의한 수면의 상승량,

h = 수심, ρ = 밀도

a_0 = 기준면에 대한 저면의 높이

C_h = Chezy 마찰계수, ϕ = 국지위도

ω = 지구자전의 각속도

g = 중력가속도

● 연속방정식

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uh) + \frac{\partial}{\partial y}(vh) = 0 \quad (3)$$

3. 수송과정의 유한요소해석

주어진 수평면 $x-y$ 에서의 흐름장, $u(x, y)$ 와 $v(x, y)$ 그리고 유효확산계수 $D_x(x, y)$ 와 $D_y(x, y)$ 에 대해서 부유효사농도 C 를 얻기 위해 식(4)을 풀게된다. 유출-유입항 S 는 식(5) ~ 식(7)에 의해 주어지고, 퇴적과 침식 중 어떠한 식을 사용하는가는 한계전단응력(τ_{cd})과 하상전단응력(τ_b) 값의 비교에 따른다.

1) 이류-확산방정식

$$\begin{aligned} & \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \\ & \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial C}{\partial y} + S \quad (4) \end{aligned}$$

여기서, S 는 유출-유입항으로, 침식율과 퇴적율을 사용하여 다음과 같이 정리된다.

$$S = \frac{dC}{dt} \Big|_e - \frac{dC}{dt} \Big|_d \quad (5)$$

여기서, e = 침식(erosion), d = 퇴적(deposition)

2) 퇴적방정식

$$\left. \frac{dC}{dt} \right|_d = \frac{2w_s C}{z} \left[1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}} \right] \quad (6)$$

여기서 z = 수심, w_s = 침강속도

표사농도가 $C \gg 0.3 \text{ g/l}$ 이면 모든 침적과정이 완료된 것으로 가정하며, 침강속도는 농도의 4/3승에 비례하게 된다.

$$w_s = KC^{4/3} \quad (7)$$

여기서 K 는 표사형태에 관계되는 경험상수이다.

$C < 0.3 \text{ g/l}$ 이면 독자적인 침강이 존재하고, 더 이상 침적이 발생하지 않으면 농도와는 무관하게 되고 표사형태에만 좌우된다.³⁾

3) 침식방정식

단괴침식은 조류가 강한 지역이나 폭풍에 의하여 발생된 흐름하에서 발생한다.

$$\left. \frac{dC}{dt} \right|_e = \frac{\Delta C}{\Delta t} \quad (8)$$

시간간격 Δt 동안에 체적 V 의 물에 의해 침식이 이루어지는 표사의 총 건조중량 W 는 다음식과 같이 농도변화 ΔC 를 가져온다.

$$\Delta C = \frac{W}{V} \quad (9)$$

균질한 특성을 가지며 상대적으로 밀도가 높고 압밀된 저면에 있어서의 침식율은 다음과 같다.⁴⁾

$$\left. \frac{dC}{dt} \right|_e = M \left[\frac{\tau_b}{\tau_{ce}} - 1 \right] \quad (10)$$

여기서, M = 침식상수, τ_{ce} = 침식한계전단응력

4) 유출-유입항 S

식(5)에 식(6)~(10)을 대입하여 S 를 결정한다.

먼저, 농도 $C \gg 0.3 \text{ g/l}$ 인 경우

$$S = M \left[\frac{\tau_b}{\tau_{ce}} - 1 \right] - \frac{2KC^{7/3}}{d} \left[1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}} \right] \quad (11)$$

여기서, d 는 수심이다.

유출-유입항은 침식이나 퇴적이 발생하는지 여부에 따라서 변하기 때문에 유한시간 간격내에서는 상수로서 취급하는 것이 바람직하다. 게다가, 이는 침식의 형태와 퇴적이 발생하는 곳에서의 농도에 달려 있다. 본 연구에서 S 는 주어진 시간 간격동안에 상수로 취급하고, S 가 C 에 좌우되는 퇴적의 경우에만 시간간격 초기의 농도값 C 를 그 시간간격동안 계속 사용하는 것으로 한다. $\lim_{\Delta t \rightarrow 0}$ 이 되는 극한에서 이것은 정확한 해로 된다.

시간 T 는 주어진 요소내에 유체의 평균속도를 요소에서의 평균높이로 나눈 것으로 정의한다. 이 시간 T 가 Δt 보다 크다면 퇴적은 정체 조건으로부터 발생하는 것으로 고려된다. 즉 농도는 퇴적이 발생하면서 감소한다. 이 같은 경우에서 퇴적율은 초기 농도 C_0 와 최종농도 C_f 의 차로써 계산된다.

$$i) T > \Delta t, C_0 \gg 0.3 \text{ g/l}$$

식(6)과 식(7)을 조합하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\left. \frac{dC}{dt} \right|_d = \frac{2KC^{7/3}}{z} \left[1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}} \right] \quad (12)$$

Δt 사이 시간에 대한 적분은

$$C = \left[\frac{8}{3} \left(1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}} \right) \frac{K \Delta t}{d} + C_0^{-4/3} \right]^{-3/4} \quad (13)$$

퇴적율의 계산은 다음과 같다.

$$\left. \frac{dC}{dt} \right|_d = -\frac{C_0 - C_f}{\Delta t} \quad (14)$$

ii) $T > \Delta t$, $C_0 < 0.3gl/l$

침강속도는 상수로서 간주된다. 이때, 식(6)의 적분은

$$C_f = C_0 \exp \left[-2 \left(1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}} \right) \frac{w_s \Delta t}{d} \right] \quad (15)$$

이고, 퇴적율은 식(14)과 같이 계산된다.

4. 유한요소법의 적용

4.1 요소와 형상함수

본 연구에서 영역은 절점(node)에 상호연결되는 일련의 삼각요소로 분할한다. 모서리절점으로 불리는 정점에서 3개, 변의 중간 절점으로 불리는 변의 중앙에 3개로 총 6개의 절점을 삼각형으로 연결한다. Fig. 2에 삼각형 요소를 나타낸다. 각 요소 내에서 농도에 대한 2차 근사가 이루어진다. 확산계수 D_x, D_y 와 유입-유출항 S 는 요소내에서 상수로 가정한다. x, y 범직교좌표계 대신에 면적좌표로 불리는 국부요소좌표 ξ_1, ξ_2 와 ξ_3 가 사용된다(Fig. 2 참조).⁵⁾

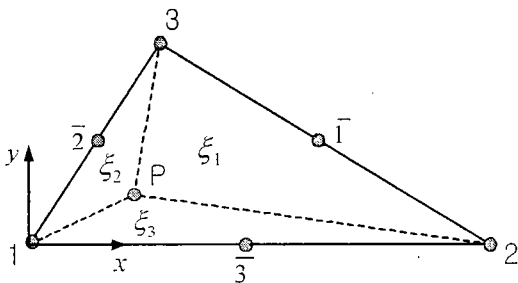


Fig. 2 Element used in analysis

4.2 가중잔차법(Galerkin Method)

2차형상함수 $[M]$ 의 사용으로, Galerkin 방법은

$$\int_V [N]^T L([N]\{\hat{C}\}) dV = 0 \quad (15)$$

이다. 여기서 $L(\{C\}) = 0$ 은 지배미분방정식, $\hat{C} =$ 요소내 근사농도이다. 즉, 식(4)에 근사함수와 가중함수를 도입하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\int_V N_i [V \nabla \hat{C} - \nabla (D \nabla \hat{C}) + Q] dV = 0 \quad (16)$$

여기서 $Q = \frac{\partial \hat{C}}{\partial t} - S$ 이다.

Q 는 공간적 문제에서 상수를 가리킨다. 항 $\nabla (D \nabla \hat{C})$ 의 전개에서 Green정리의 적용은 다음 식으로 정리할 수 있다.

$$\int_V [N_i (V \nabla \hat{C}) + \nabla N_i (D \nabla \hat{C}) + N_i Q] dV - \int_A N_i (D \nabla \hat{C}) n dA = 0 \quad (17)$$

여기서 n 은 영역 V 의 표면에 대한 법선이다. z 방향으로 변화가 없다고 가정하여 수심 h 에 대해서 식(17)을 적분하면

$$h \int_A \left[N_i \left(Q + u \frac{\partial \hat{C}}{\partial x} + v \frac{\partial \hat{C}}{\partial y} \right) + \frac{\partial N_i}{\partial x} D_x \frac{\partial \hat{C}}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} D_y \frac{\partial \hat{C}}{\partial y} \right] dA - h \oint_L N_i \left[D_x \frac{\partial \hat{C}}{\partial x} \cdot n_x + D_y \frac{\partial \hat{C}}{\partial y} \cdot n_y \right] dL = 0 \quad (18)$$

여기서 L 은 경계영역내에 경계를 따르는 길이 이고, n_x, n_y 는 그것에 대한 법선여현이다.

4.3 시간의존 문제

일반적으로 확산의 문제에서는 흐름이 변동하기 때문에 시간적으로 변동하는 경우나 정상상태에 이를 때까지의 과도상태를 문제로 해야하는 경우 등, 비정상적으로 해석을 실시할 필요가 있다. 이 경우 식(19)을 초기조건아래 적분을 해야한다. 식(18)에서 경로적분이 무시된다면

$$\int_A \left[N_i \left(u \frac{\partial \hat{C}}{\partial x} + v \frac{\partial \hat{C}}{\partial y} \right) + \frac{\partial N_i}{\partial x} D_x \frac{\partial \hat{C}}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} D_y \frac{\partial \hat{C}}{\partial y} \right] dA + \int_A N_i Q dA = 0 \quad (19)$$

여기서, $\hat{C} = [N(x, y)]\{C\}^e$ 이고, $\{C\}^e$ 는 절점 농도이다. 식(19)를 적분하여 정리하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\int_A [M]^T Q dA = [T] \frac{\partial \{C\}^e}{\partial t} + \{F\} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } [T] &= \int_A [M]^T [M] dA \\ \{F\} &= - \int_A [M]^T S dA \end{aligned}$$

여기에서 사용된 6절점 삼각형 요소에 적용하여 각각의 절점 1, 2, 3, $\bar{1}$, $\bar{2}$, $\bar{3}$ 에 대해 쓰면 식(16)은 다음과 같은 매트릭스 미분방정식으로 쓸 수 있다.

$$[K]\{C\} + [T] \frac{\partial \{C\}}{\partial t} + \{F\} = 0 \quad (21)$$

여기서, $[K]$ 는 정상상태 요소계수매트릭스 (steady state element coefficient matrix)이다.

시간 $(n+1)$ 과 시간 n 에서의 농도 C^{n+1} 과 C^n 사이의 2점재현(two point recurrence)관계에 따라 적분을 수행하면

$$\begin{aligned} \left[\theta [\bar{K}] + \frac{[T]}{\Delta t} \right] \{C\}^{n+1} = \\ \left[\frac{[T]}{\Delta t} - (1 - \theta) [\bar{K}] \right] \{C\}^n + \{F\} \end{aligned} \quad (22)$$

이때 θ 는 $0 \leq \theta \leq 1$ 의 실수값을 갖는 상수이다. 식(22)의 연립방정식은 새로운 절점농도 $\{C^{n+1}\}$ 에 대해서 컴퓨터 프로그램으로 해석하게 된다.

5. 울산항모델 실험 및 결과

울산항은 동해안 남부의 방어진의 서쪽에 위치한 폭 900~2,000m, 길이 약 6.6 km의 만으로 태화강(유역면적 626 km²)하구와 연결된다. 수심은 만의 중앙 수로에서 남부의 20m로부터 점차 얕아져 북부에서는 준설로 10m를 유지하고 있다. 수면적은 6.3 km² 이고 동쪽은 산악으로 가로막혀 있으며 남쪽은 개방되어 있다. 만내의 유동장은 위치 및 계절에 따라 차이가 있으나 평균적으로 10cm/s의 흐름이 존재하는 것으로 조사되었다.

수치시뮬레이션은 Fig. 3의 흐름도와 같이 진행한 다. 문제의 주요형태는 정상상태 농도, 비정상상태 농도문제 그리고 표사문제로 구분되며, 본 연구에서는 비정상상태 농도에 대한 해석문제를 적용하기 위해 속도, 경계조건 등을 도입하여 농도를 계산하고 이에 따른 표사문제 즉, 침식과 퇴적물, 저면 변화율 등을 계산한다. 수송과정의 해석에 앞서 해당대상 영역의 유동장을 재현할 필요가 있다. 유동장계산에는 유한차분법(FDM, Finite Difference method)을 사용하였으며, 대상영역으로 태화강유역 입구에서부터 장생포를 포함하는 좌측경계와 화암추까지 우측 경계로 하는 사각영역을 대상으로 하였다(Fig. 4 참조).

유동장 실험에 대한 등수심도와 유한차분 격자는 Fig. 5 및 Fig. 6과 같고 태화강 하구에서 외해 개방경계영역까지의 수역 수심은 유한차분법에 맞도록 50 × 70개의 격자 ($\Delta x, \Delta y = 100m$)로 구성된 지점에 대하여 입력하였으며, 모델계산에서는 평균 해면의 높이 30cm를 더하여 보정하였다. 울산항은 동해연안에 위치하고 있어, 서해안이나 남해에 비해 조석현상이 미약하다. 실험에서 고려한 조석 조화상

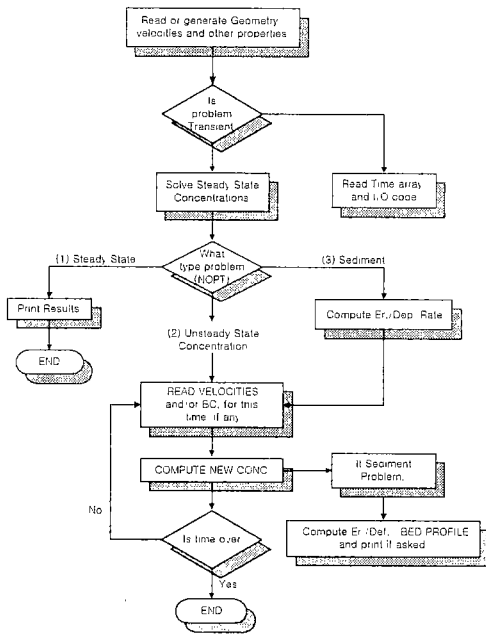


Fig. 3 Flow chart for numerical model simulation

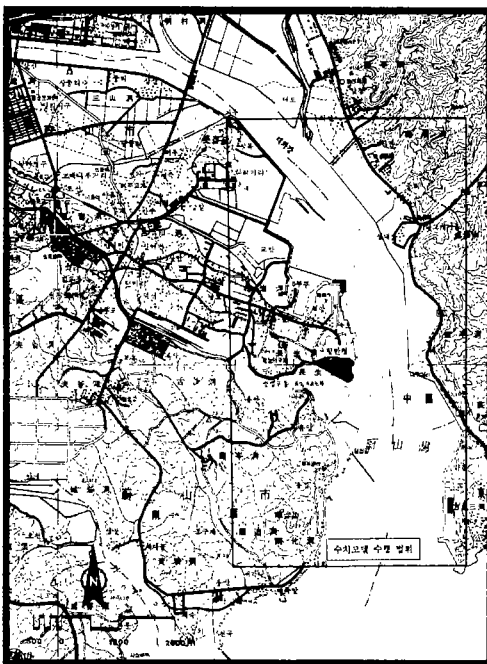


Fig. 4 Location map for Ulsan harbor

수는 반일주조인 M_2 분조를 고려하였다. 유동장의 재현 결과 낙조류의 경우 Fig. 7과 같이 태화강에서 울산항의 입구쪽으로 평균유속 10~20cm/sec이 주수로상에 형성되며 내항에서 외항으로 유출되는 흐름장을 형성하는 것으로 나타났다.⁶⁾

수송과정을 다루는 이류-확산실험에서는 유한요소법을 사용하였다. 수치모델에 사용한 유한요소의 절점 수는 1048개이고 이를 448개의 6절점 삼각요소를 사용하고, 밴드폭은 48정도로 나타났고 최대격자간격이 200m이내가 되도록 Fig. 8과 같이 구성하였다. 적용한 시간은 25시간으로 하였으며 중간 시간간격동안 침식과 퇴적으로 인한 해저면의 변화는 2차원 및 3차원으로 Fig. 9~Fig. 11 그리고 Fig. 12에서 나타낸 것과 같다.

본 연구에서는 모델의 적용성을 파악하고자 하였으므로 장기간에 걸친 해석의 경우는 보다 정밀한 유동장의 적용이 필요하다. Fig. 9와 같이 유동장 적용 후 3시간에서는 침식 및 퇴적으로 인한 저면의 높이 변화가 0.5m 이하로 나타났고, 유동이 약한 항만내 또는 수로의 수심이 비교적 깊은 곳에서 퇴적이 이루어졌다. 유동장 적용 후 11시간 후에는 Fig. 10과 같이 울산 북항 입구 남측에 퇴적이 상당히 발달한 반면에 반대편 수로에서는 침식이 커지고 있음을 알 수 있다. 이 곳은 수로폭이 좁으면서 수심이 얕아서 유속증가에 따른 표사 이동량의 증가에 기인한 것으로 본다. 수로가 점차 넓어지면서 퇴적은 수심이 깊은 구간에서 원래의 바닥면 보다 높게 발생하고 있음을 알 수 있다. 또한 25시간 후에는 Fig. 11과 같이 지금까지의 경향이 더 커지는 것으로 나타났다. 시간의 경과에 따른 저면의 변화를 Fig. 6에서 선택한 위치점에서 비교한 그림은 Fig. 13과 같다. 각 시간 간격은 3시간을 나타낸다. Station B에서 침식이 미세하게 증가하는 것 이외에는 Station A, C, D에서 퇴적이 점차 증가하는 양상을 보이며 21시간 이후에는 거의 안정된 상태를 나타내었다. Fig. 14는 각 위치점에서 침식-퇴적율의 변화를 나타내며 시간경과에 따라 저면변형을 반영하였으므로 다소 차이가 나타났다.

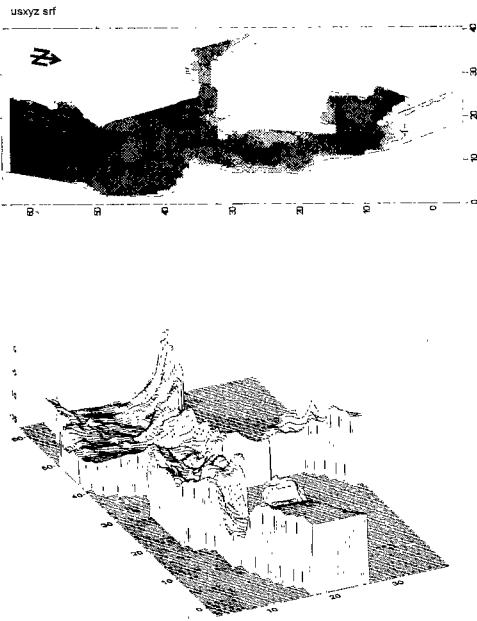


Fig. 5 3-Dimensional bottom profile for Ulsan harbor area

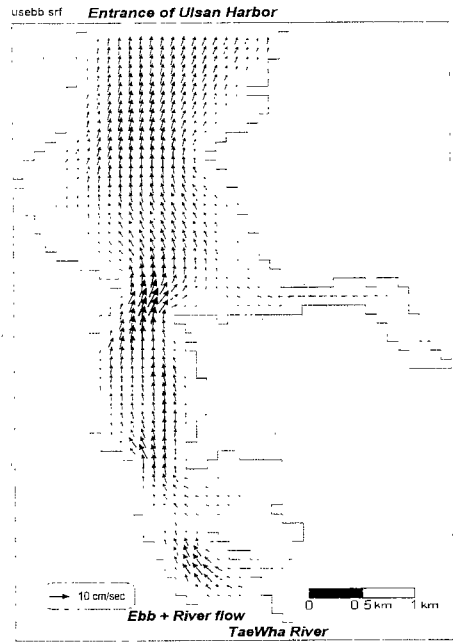


Fig. 7 Computed tidal currents in spring tide (maximum ebb flow)

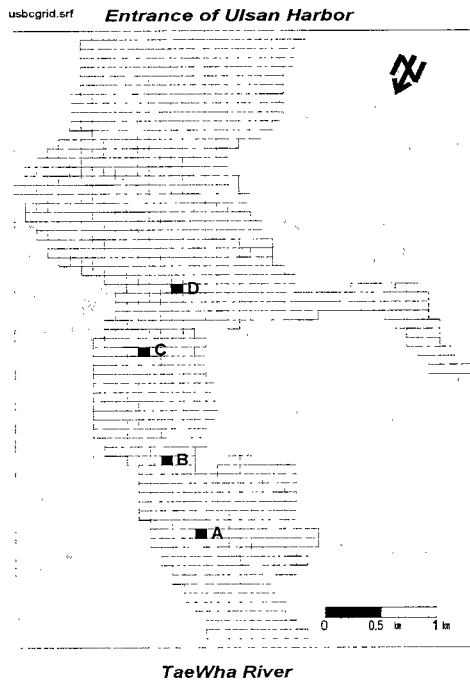


Fig. 6 Finite difference grid for Ulsan harbor

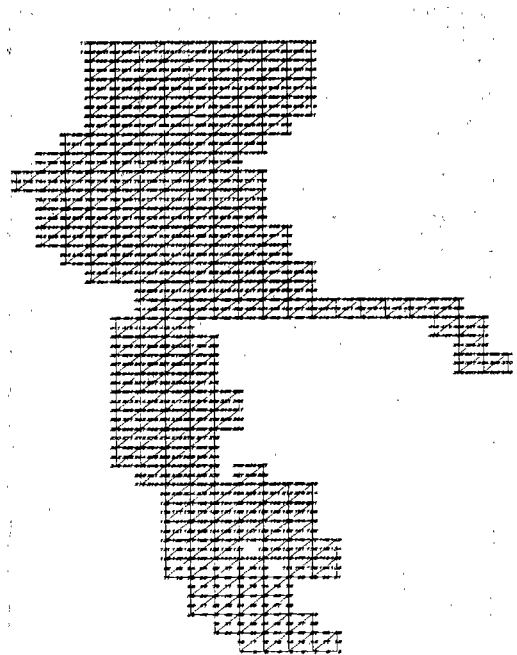


Fig. 8 Finite element grid for Ulsan harbor

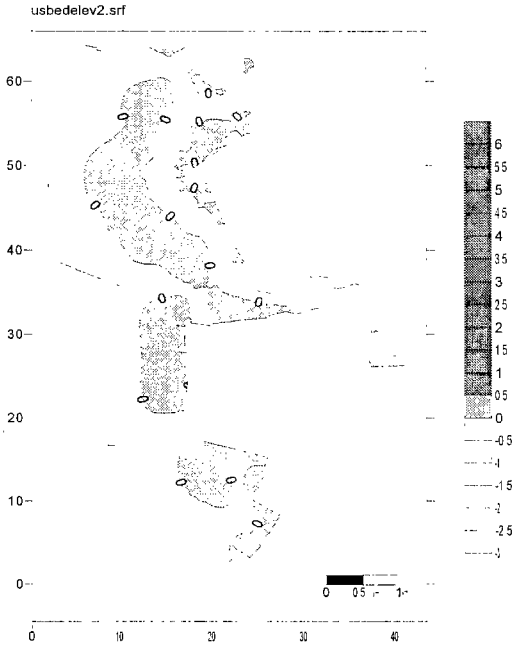


Fig. 9 Distribution of bed elevation (after 3 hours)

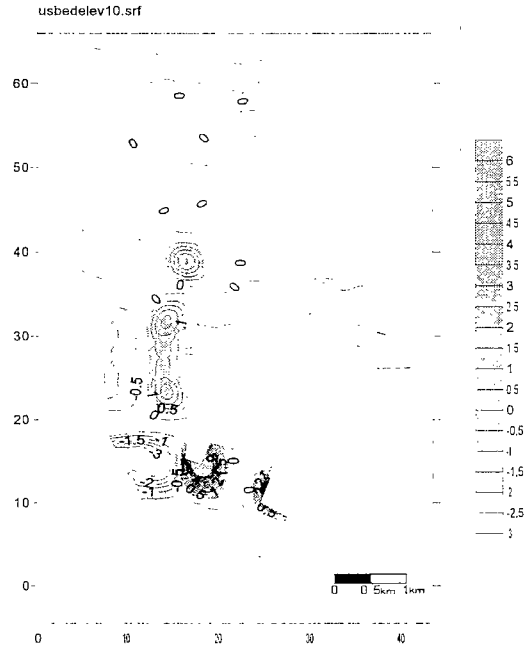


Fig. 11 Distribution of bed elevation (after 25 hours)

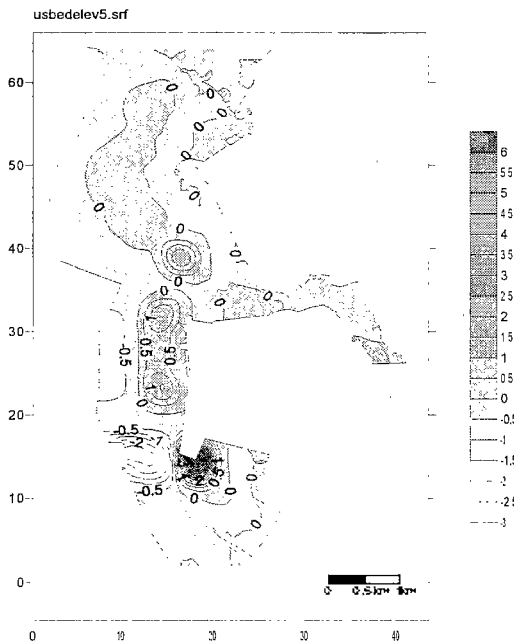


Fig. 10 Distribution of bed elevation (after 11 hours)

전반적으로 이송과 퇴적의 양상을 잘 따르는 것으로 판단되나 보다 정확한 해석은 유동장의 재현시에 최근의 현장관측에 의한 각 주요분조의 값과 저질의 상태, 태화강을 따른 유출농도 등의 도입으로 가능할 것으로 본다.

6. 결론 및 제언

본 연구는 육지로부터 유입된 담수와 해수가 혼합, 희석되면서 외해와 자유롭게 연결되는 반폐쇄성 수역인 하구수역에서 항만매몰과 침식현상에 대한 메카니즘을 분석하기 위한 시도로 행하였다. 하구수역으로 유입되는 물질은 입도분포가 넓은 다양한 입자의 혼합사력으로 구성된다. 저면에 작용하는 유체력이 어떠한 한계를 넘으면 토사는 서서히 이동하게 되고 유수의 주류부의 난류성분에 의해 연행되어 부

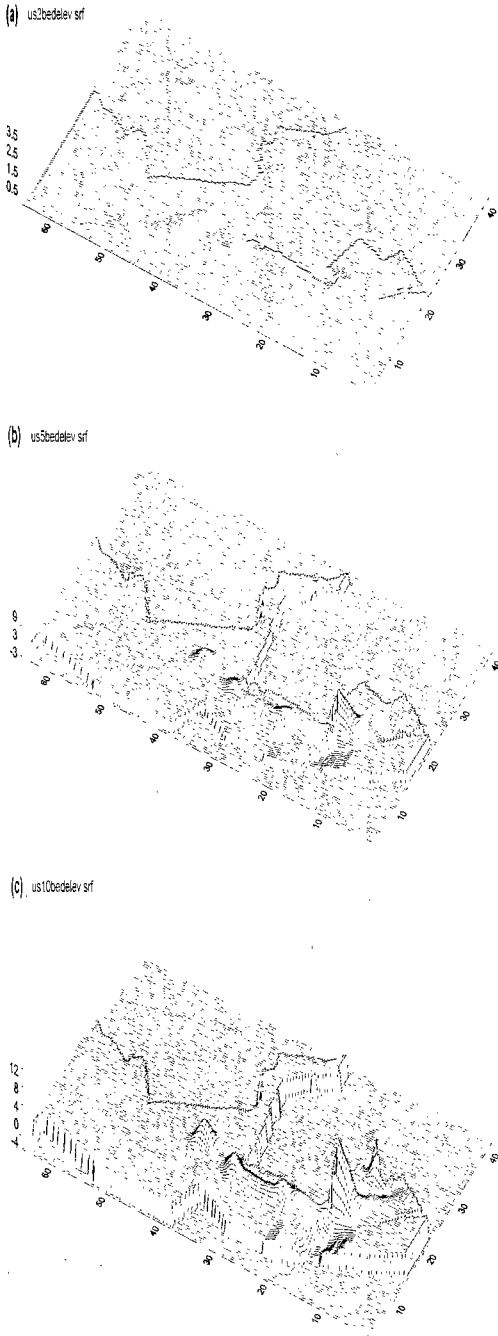


Fig. 12 Distribution of bed elevation (after (a) 3hours, (b) 11hours, (c) 25hours)

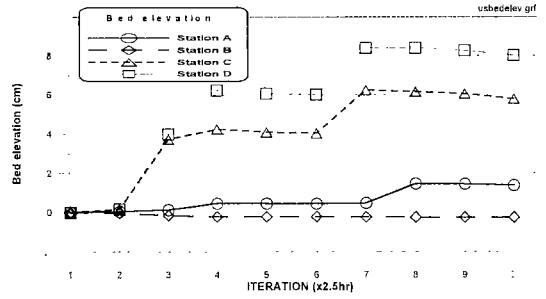


Fig. 13 Variation of bed elevation at selected station

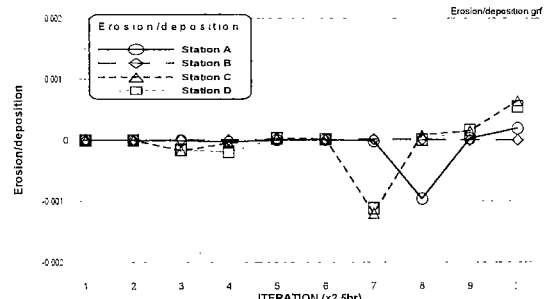


Fig. 14 Variation of erosion/deposition rate at selected stations

유하게 된다. 이러한 제반 수송형태를 물질의 특성에 따라 분석하고, 아울러 하구로 유입되는 표사량으로 인한 하상의 구배, 저면변화 등을 예측하여 이들 수역을 종합적으로 관리 및 유지하는데 기여하기 위한 수단으로 수치모델을 수립하였다.

모델실험은 유동장의 부가로 25시간 동안 실험대상영역에서 해저면의 전단응력, 침식과 퇴적으로 인한 하상의 변화를 조사하였으며, 현장적용의 가능성을 나타내었다. 실험 결과는 전체영역을 고려해 볼 때 다소 국부적인 농도확산이지만 개구부에서 대상영역내의 후부지역으로, 고농도에서 저농도 지역으로 차츰 농도구배가 증가하는 형태로 나아감을 확인할 수 있었다.

해저면의 전단응력은 개구부의 빠른 유속으로 인해 초기 전단응력구배가 크게 나타나고 차츰 완만해지는 형태로 진행되었다. 해저면의 변화는 초기하

상의 두께 0에서 비교해 볼 때 주 흐름에 접속된 입구부는 비교적 강한 유속으로 인해 침식현상이 나타나고, 다소 유속이 떨어지는 대상영역내의 폐쇄역과 유입과 유출이 교차함으로 발생하는 저 유속지역에서는 양의 값으로 퇴적현상이 발생하였음을 알 수 있었다. 퇴적과 침식에 대한 비는 유동장 패턴과 같이 전형적인 동심원 형태로 나타났으며, 농도구배에 대한 다소 극부적인 변화는 유동장을 변화시켜 전영역에 대한 변화율을 고려해 필요가 있다.

이와 같이 본 연구는 폐쇄형 항만이나 소규모 어항을 가로지르는 하구지역에 대한 침식과 퇴적과 관련한 수치실험으로 사용가능 할 것으로 보이며, 앞으로 현장관측자료, 수리환경특성을 반영하여 모델을 보완하고 실 항만에 적용하고자 한다.

참고문헌

- 1) 장선덕, 이문옥, 김종규, 류청로, 이종섭, 홍철훈 (1999) 연안해양학. 시그마프레스, pp. 253-273.
- 2) Rouse, H., Ed., "Advanced Mechanics of Fluids", John Wiley and Sons, Inc., New York, 1963.
- 3) Krone, R. B., "Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarial Shoaling Processes", Report Hydraulic Engineering Lab., University of California, Berkeley, June, 1962.
- 4) Partheniades, E., "A Study of Erosion and Deposition of Cohesive Soils in Salt Water", Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, 1962.
- 5) Zienkiewicz, O. C., "The Finite Element Method in Engineering Science", McGraw Hill London Publication, 1971.
- 6) 이석우(1994) 한국항만수리지. 집문당, pp. 179-188.
- 7) Bosworth, R. C. L., "The Kinetics of Collective Sedimentation," Journal of Colloid Science, Vol. 2, 1956, pp. 496.
- 8) Kruyt, H. R., Ed., "Colloid Science", Elsevier Pub. Co., New York, 1952.
- 9) Partheniades, E., "Erosion and Deposition of Cohesive Materials", Chapter 25, in River Mechanics, Edited by H. W. Shen, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1971.