

〈論 文〉

粘着性 浮遊砂 이동에 관한 數值模型

A Numerical Model for Cohesive Suspended Load Movement

安 守 漢 李 尚 和
Ahn, Soo Hahn Lee, Sang Hwa

Abstract

The concentration of cohesive suspended sediment is determined by the circulation of water and the material dispersion. The equations of the two-dimensional, depth-integrated dispersive transport are the Reynolds equation, continuity equation, and advection-dispersion equation based on the Fick's law.

A finite difference method has been applied to two models of circulation and dispersion transport. The circulation model is solved by the explicit scheme and the dispersion transport model is solved by multi-operational scheme.

It is investigated whether advective terms are included when the equation of circulation is applied to the model.

For advection-dispersion equation, it was also investigated about variations of suspended sediment concentration with respect to the critical shear stresses.

要 旨

粘着性 浮遊砂 濃度분포는 해수유동과 물질 擴散에 의해서 결정되며 支配方程式으로는 2차원 수심적 분된 Reynolds운동방정식, 연속방정식과 Fick의 확산법칙에 근거를 둔 對流-擴散方程式이 사용되었다. 해수유동과 점성퇴적물 확산인 두개의 모형은 有限差分法을 이용하였고 유동모형은 양해법, 확산모형은 다중법을 사용하여 浮流砂 이동의 현상을 파악하였다. 해수유동방정식의 적용시 移送項의 포함여부에 대해서 조사하였으며 물질확산 방정식에 대해서는 限界剪斷應力값의 변화가 부유사농도에 영향을 주는가에 대해서 비교하였다.

* 서울대학교 교수

** 동아대학교 조교수

1. 序論

유사는 이동형식에 따라 掃流砂와 浮遊砂로 대별할 수 있는데 일반적으로 하천의 홍수시는 全流砂量중 浮遊砂가 차지하는 비율이 매우 크며 특히 河口部の 堆砂等 공학적인 문제에 있어서의 浮遊砂의 추정은 매우 중요하다고 할수있다. 浮遊砂는 砂質土와는 달리 실트, 점토와 같은 미세한 입자로 되어있고 粘着力을 갖고 있으므로 吸着으로 인해 河口部에서는 그 역할이 더욱 부각되고 있는 실정이다. 1970년 이전까지만 해도 유사문제에 대해서는 非粘性土(noncohesive sediment)에 대한것이 전제로 되어 왔으나, 이 이후로는 粘性土(cohesive sediment)에 대하여 부분적으로 해석이 가능해져서 최근에 이르러서는 이에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 움직임은 Odd와 Owen(1972)⁽¹⁾이 템즈강 河口에서 점성퇴적물에 대해 2層流흐름의 수치모형을 소개함으로써 점성퇴적물에 대한 연구가 시작되었다. 이 모형은 하구의 단면을 矩形단면으로 가정하고 移送項을 무시한 상태에서 시작한 것이었지만 Krone⁽²⁾, Partheniades⁽³⁾가 제안한 浸蝕과 堆積에 관한 부분을 고려한 점등 여러가지 상황에서 비추어볼때 과거의 非粘性土에 대한 수치해석과는 다른 획기적인 방법이었다.

이 연구를 밑바탕으로 하여 Ariathurai와 Krone⁽⁴⁾은 2차원 흐름에 대해 길이 방향과 연직 방향에 대해 수치모형을 수립하여 유한요소법으로 점성토사의 이동에 관한 현상을 해석하였다. 1980년대 Hayter⁽⁵⁾는 연직방향에 대해 속도분포가 일정할 때 길이방향과 측면방향의 흐름에 대한 水深 平均化된 2次元式으로 粘性浮流砂의 이동에 관해서 유한요소법으로 현상을 파악하였고 Sheng⁽⁶⁾, Nicolson과 O'Connor⁽⁷⁾은 3次元 흐름에 대해서 유한요소법과 유한차분법으로 각각 粘性土의 堆積현상에 관한 연구논문을 발표하였다.

국내에서는 1980년대 들어와서 여운광과 안수한⁽⁸⁾은 微小 振幅波에 의한 浮遊砂濃度 분포에 대해서 유한차분법으로 數值解를 얻고자 하였고, 이정규와 안수한⁽⁹⁾은 길이방향과 연직방향에 대한 2차원 수치모형을 구성하여 농도에 미치는 沈降速度와 수면유속의 관계를 조사하였다. 강시환⁽¹⁰⁾과 염기대⁽¹¹⁾는 수심평균화된 2차원 형태의 수치

모형으로 堆積, 浸蝕을 고려하여 각각 낙동강과 광양만의 부유사 농도분포를 추정하였다.

본 연구는 수심평균화된 2次元 淺水方程式과 對流-擴散 方程式을 이용한 수치모형을 구성하여 粘性浮遊砂에 큰 영향을 주는 因子들을 細分化시켰는데 이들은 유동의 移送項에 대한 존재 여부, 開放境界處理, 浮遊砂擴散에 절대적인 영향을 미치는 渦擴散係數, 堆積및 浸蝕을 결정짓는 限界剪斷應力の 敏感度등이다.

2. 粘性堆積物の 力學的性質

점성토의 가장 중요한 특성은 해수중에서 개개의 날개입자들이 응집되어 flocc이라 부르는 덩어리의 형태를 이루는 능력을 갖고 있는 점이다. 이러한 凝集現象은 河床에서 퇴적물의 침식(erosion), 퇴적(deposition), 압밀(consolidation)의 현상에 영향을 주고 있다⁽¹²⁾.

응집된 입자는 자체무게로 인하여 침강이 시작되는데 침강속도는 부유사의 입자크기, 입자모양, 난류상태, 부유사의 농도에 따라 다르게 나타난다. 점착성 입자의 침강속도에 영향을 미치는 요인으로는 중력, 입자의 형태, 부유점성토의 농도, 입자의 충돌을 들 수 있는데, 대부분의 경우에는 부유점성토의 농도가 입자들의 충돌에 영향을 미치기 때문에 부유점성토의 농도와 침강속도와의 관계에 대해서 연구를 하고 있다. 濃度가 침강속도에 미치는 영향은 주로 실험에 의하여 결정되며 다음과 같은 식들에 의해서 나타낼 수 있다.

$$V_s = kC^N \quad (2.1)$$

여기서, V_s : 침강속도

k, N : 상수

k, N 값은 실험하는 시료에 의해서 결정된다.

식(2.1)은 부유사 농도(C)가 낮아서 응집이 입자들의 충돌에만 영향을 받는 경우에 적용할 수 있다⁽¹³⁾. Thorn(1981)⁽¹⁴⁾은 영국의 Severn Estuary mud를 이용해서, 부유사 농도(C)가 큰경우에 대해 브라운 운동의 영향이 포함된 침강속도와 농도의 관계식을 다음과 같이 발표하였다.

$$V_s = k_1 C^N \quad (C < 3.5 \text{ g} / \ell) \\ = V_{s0} (1 - k_2 C)^{\beta} \quad (3.5 \text{ g} / \ell < C < 15 \text{ g} / \ell) \quad (2.2)$$

여기서, k_1, k_2, N, β : 상수

V_{s0} : 기준침강속도

식(2.2)은 부유점성토의 농도가 $3.5 \text{ g} / \ell$ 이상일 경우 부유 점성토의 침강이 hindered settling이 됨을 시사하고 있다.

최근에 점성토에 대해서 일본의 Futawari et al.(1987)⁽¹³⁾은 Ariake Bay의 시료를 이용하여 침강속도가 부유사 농도의 함수로서 주어진 실험식(2.3)을 발표하였다.

$$V_s = (7.407 \log C + 7.1) \times 10^{-1} [\text{m/s}] : C \geq 0.125 \\ [\text{g} / \ell] \\ V_s = 0.357 \times 10^{-1} [\text{m/s}] : C < 0.125 [\text{g} / \ell] \quad (2.3)$$

하구에서 침강속도에 관한식으로는 여러 실험식이 있으나 한국의 지역과 비슷한 일본의 경우를 들어 실험식인 식(2.3)을 채택하였다.

한편 하상에서 일시적으로 일어나는 변화는 연속된 퇴적과 침식으로 流體剪斷應力(τ_b)과 밀접한 관계를 가지고 있으며 부유사농도에 영향을 미치게 되는데 이들에 대한 관계는 다음과 같다.

퇴적에 관한 연구에서 Odd와 Owen⁽¹⁴⁾은 자연 시료를 사용해서 실험을 통해서 堆積率로 표시하고 있다.

$$\frac{dm}{dt} = -CV_s \left(\Gamma \frac{\tau_b}{\tau_{CD}} \right) \quad (2.4)$$

여기서, m : 퇴적토의 단위 면적당 질량

그들은 한계소류력 τ_{CD} 의 값을 $0.04(N/m^2)$ 부터 $0.08(N/m^2)$ 까지 얻었는데, 이 값은 Krone(1962)⁽¹⁵⁾이 제시한 $0.6(N/m^2)$ 과는 큰 차이가 난다.

침식에 대해서는 Ariathurai와 Arulanandan⁽⁶⁾은 침식이 일어날 때의 전단력 즉, 침식한계전단(τ_{CE})을 결정하여 식(2.5)와 같이 나타내고 있다.

이들의 실험결과는 浸蝕率과 掃流力이 線型관계에 있음을 보여주고 있다.

$$\dot{E} = M_0 (\tau_b / \tau_{CE} - 1) \quad (2.5)$$

여기서, E : 침식률

M_0 : 침식률 계수($\text{kg} / \text{m}^2 \cdot \text{sec}$)

($\dot{E} = dM_E / dt$, M_E : 단위면적당 침식되는 질량)

3. 解析 方法

점성부유사 이동에 대한 해석방법을 먼저 해수면의 변위와 유속을 계산하여 물의 유동을 파악하고 이에 의해서 擴散되는 부유사 이동의 분포를 추정하였는데 이에 대한 支配方程式은 수심 평균화된 2차원 방정식들로 표시된다.

유동현상에 대한 방정식으로는 Crean⁽⁹⁾이 제시된 형태를 취하였는데 다음식과 같다.

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{H} \right) - fN + \\ \frac{KM\sqrt{M^2 + N^2}}{H^2} + A_H \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) + \\ gH \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{H} \right) + fM + \\ \frac{KN\sqrt{M^2 + N^2}}{H^2} + A_H \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) + \\ gH \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3.3)$$

여기서, M : x방향 선유량(UH)

N : y방향 선유량(VH)

U, V : 수심과 시간에 대해 평균화된 x, y 방향의 유속

t : 시간

f : coriolis계수 ($f = 2\Omega \sin \phi$)

Ω 는 지구의 자전 각속도, ϕ 는 위도

K : 해저마찰계수

H : 총수심(=d+h)

d : 평균해면수심

h : 해면변위

g : 중력 가속도
 A_H : 수평방향의 와동점성 계수

부유사 이동양상을 추정하기 위한 방법으로는 대류-확산 방정식인 식(3.4)을 이용한다⁽¹⁵⁾⁽²¹⁾.

$$\frac{\partial}{\partial t}(HC) + \frac{\partial}{\partial x}(UHC) = \frac{\partial}{\partial x} [HD_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} + HD_{xy} \frac{\partial C}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial y} [HD_{yx} \frac{\partial C}{\partial x} + HD_{yy} \frac{\partial C}{\partial y}] + SST \quad (3.4)$$

여기서, C: 부유사의 농도
 D_{xx}, D_{xy}, D_{yx}, D_{yy}: 화학산계수 (D_{ij}: X_i 방향의 속도경사에 의해서 X_j 방향으로 확산이 일어날때의 계수)
 SST : sink/source항

$$SST = M_0(\tau_b / \tau_{CE} - 1)F(\tau_b - \tau_{CE})\gamma^* - CV_s(1 - \tau_b / \tau_{CD})F(\tau_{CD} - \tau_b) \quad (3.5)$$

여기서, M₀: 해저 퇴적물의 침식율을 나타내는 계수

τ_b : 해저면상의 전단응력 ($\tau_b = \rho U_*^2$)
 U* : 마찰속도 $U_* = [K(U^2 + V^2)]^{1/2}$
 τ_{CE} : 해저 침식한계전단응력
 τ_{CD} : 해저 퇴적한계전단응력
 F_(x) : 단위연산자(Heaviside operator)
 $x > 0$ F(x) = 1
 $x \leq 0$ F(x) = 0
 γ^* : 점성토사로 덮여 있는 하상표면의 비율

3.1 한계전단응력 및 와확산계수

점성토의 퇴적, 침식현상은 해저에 작용하는 유체의 전단응력에 따라 좌우된다. 즉, 전단응력이 0에서 어떤 한계값 (퇴적 및 침식한계전단응력)에 도달할때 퇴적, 침식이 일어난다. 이러한 점에서 볼때 한계전단응력은 부유점성토의 농도에 영향을 주는 중요한 인자가 되고 있다. 일반

적으로 퇴적 및 침식 한계전단응력의 값들은 대상지역의 해저점성토의 특성에 따라 실험실에서 도출한 값으로 주어지고 있다. 국내의 가로림만의 점성토를 대상으로 블란서 수리연구소(LCHF)와 영국 수리연구소(HRS)의 실험결과⁽¹¹⁾에서 침식한계전단응력은 식(3.6)로 표시하였으며 퇴적한계전단응력값은 0.07N/m²로 제시한 바 있으며 금강 하구를 대상으로 실험한 결과(김재중, 1989)⁽¹²⁾에서는 침식한계전단응력값은 0.054N/m², 퇴적한계전단응력값은 0.05N/m²로 나타났다.

$$\tau_{CE} = C^* \times D_d^{2.28} (N/m^2) \quad (3.6)$$

여기서, C*: 계수 (= 5.42 × 10⁻⁶)
 D_d : 퇴적물 건조밀도

와확산계수는 대부분 수학적인 모형을 구성하려는 학자들에 의해서 운동에너지 혹은 운동량 계수를 사용해서 확산효과를 나타내려고 하였다. 이들 계수는 처음에 Taylor(1953)⁽²¹⁾에 의해서 언급되었으며 이후 여러학자들은 측정할 수 있는 계수를 양적인 면에서 표현하고자 하였다. 미국과 유럽 16개 하구에서 조사된 보고서(Haag Bedfor, 1971; Thomann, 1972; Choi, 1975; Ward, 1976)에 의하면 와확산계수는 대략 3 × 10² m²/sec 정도라고 파악되어 있다⁽⁸⁾.

Hayter(1983)⁽¹⁵⁾는 Elder(1959)⁽¹⁰⁾와 Fischer⁽¹¹⁾의 관계식을 이용하여 하구점착성토사의 확산에 대한 계수식(3.7)을 정리했다.

$$D_{xx} = 0.3 \frac{U^2 H}{U_*}, \quad D_{xy} = D_{yx} = 0.3 \frac{U \cdot V \cdot H}{U_*}$$

$$D_{yy} = 0.3 \frac{V^2 H}{U_*} \quad (3.7)$$

본 연구에서는 점성토의 와확산계수식으로서 Hayter(1983)에 의해서 정리된 경험공식인 식(3.7)을 채택하였다.

4. 粘性浮遊砂이동의 數値模型

粘性토사 이동에 대한 현상을 알아보기 위하여

먼저 유동모형을 구성하여 유속과 수면변화를 계산한 후 확산 방정식으로 부유사 농도를 결정하였다.

4.1 模型의 전개

평균화된 2차원 방정식을 양해법으로 차분화하여 모형체계를 세웠으며 차분화를 위한 격자구조는 Hansen⁽¹¹⁾, Flather와 Heaps⁽¹²⁾에 의해 사용된 것과 類似하다.

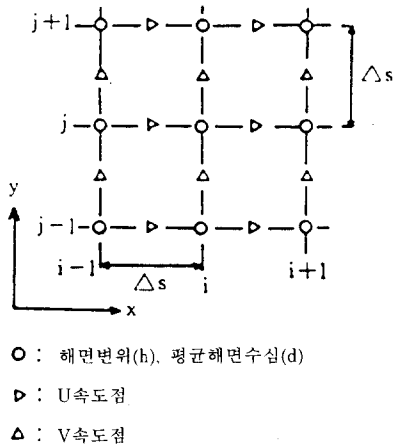


그림 4.1 유동모형의 계산격자와 각 성분의 계산점

양해법은 조건적 안정한(conditionally stable) 측면에서 安定度條件 즉, C-F-L조건(Courant-Friedrichs-Lewy criterion)을 만족하는 범위내($\Delta t \leq \Delta s / \sqrt{2gH_{max}}$)에서 차분시간(Δt)과 공간간격(Δs)을 결정짓게 됨에 따라 본 논문에서는 이의 조건을 적용하였다. 그리고 線流量 M, N은 계산을 편리하기 위하여 식(4.1)과 같은 형태로 변형하였다.

$$S_x = M \frac{\Delta t}{\Delta s} = UH \frac{\Delta t}{\Delta s}$$

$$S_y = N \frac{\Delta t}{\Delta s} = VH \frac{\Delta t}{\Delta s} \quad (4.1)$$

확산모형은 확산방정식 (3.4)을 準陰解法을 채택하여 전개하였는데, 준음해법은 陽解法과 陰解法을 혼합하는 多重法으로 Leendertse⁽¹⁷⁾에 의해

개발되어 현재 많이 적용되고 있는 수치기법이다. 유동모형에서 계산된 속도(U, V)가 확산모형의 속도점으로 동일하게 배치되므로 공간격자간격(Δs)과 시간격차간격(Δt)은 유동모형에서 취한 값들과 동일하게 주어졌다.

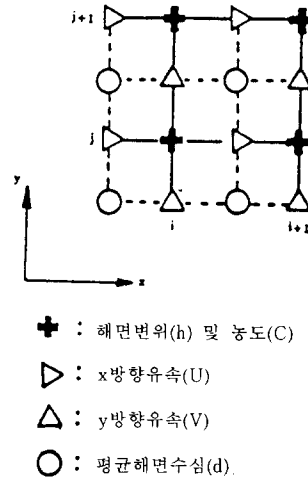


그림 4.2 확산모형의 계산격자와 각 성분의 계산점

4.2 初期條件과 境界條件

해수유동 계산의 초기단계에서는 모든 변수값 SX, SY, U, V 및 h등은 영(zero)으로 초기화(cold start)하였다. 육지경계에서는 경계에 평행하거나 수직한 분포는 영이되는 no-slip조건을 선택했다.

그리고 수치해석상 비선형항의 계산을 위하여 해안선의 경계에서는 투영법(method of image)을 이용하였다.

부유사 확산 계산에 대한 농도의 초기조건으로는 대상지역내의 농도가 균일하게 분포되었다고 가정하였고 유동의 초기화 영향이 소멸되어 유동모형의 유황이 안정된 값을 형성할 때 농도의 초기값을 주었다. 물-육지 경계면에서 경계조건은 경계면을 가로 질러 대류나 확산이 일어나지 않는 것을 필요로 하고 있다. 그리고 육지가 드러날 때는 유속이 존재하지 않으므로 확산계수는 0으로 처리된다. 개방경계인 상하류 지점에서는 flux가 존재하기 때문에 경계에서 유입, 유출의

처리가 필요하다.

이상을 토대로 본 연구에서는 干潮時와 滿潮時로 구분하여 경계치를 가정하였는데 하류지역(바다)에서는 식(4.2)로 주었고 상류지역(강)에서 간조시는 식(4.3)으로 표시했다.

$$C'_{i,j} = \alpha + A/2\cos \{f_r(t-t_p)\} \quad (4.2)$$

$$C'_{i,j} = \alpha + A/2 + A/2\cos \{\pi + f_r(t-t_p)\} \quad (4.3)$$

여기서 α 는 부유사 최저와 최고의 농도합의 평균농도이고 A 는 개방경계에서 부유사 최고농도와 최저농도 차의 값이며 $f_r (=2\pi/T)$ 는 주파수, T 는 주기, t_p 는 유속방향이 변할 때의 시작이며 시작시간(t)는 하류에서 창조가 될 때를 상류에서는 낙조가 될 때를 시점으로 하였다. 이에 대한 물리적 현상을 설명하면 다음과 같다. 하류 지점에서 생각할 때 식(4.2)에서 주기 T 를 12시간이라 가정하면 만조시에 부유사 농도의 값은 최저로 나타나게 된다. 이는 창조때에 해수에 의해서 부유사 농도가 감소됨을 보여 주게 된다.

5. 結果 分析

모형의 敏感度를 검토하기 위하여 임의의 해저 지형을 가진 水路에 대해서 考察하였는데 지형이 수로 전역에 걸쳐 수심이 10m인 일정한 경우와 수로의 중심부분 격자구간에서는 수심은 5m, 그 외의 수심은 10m로서 수로중앙부분이 올라 솟은 不規則한 경우를 들었다. 유도모형 계산격자수는 시간간격 $\Delta t=10\text{sec}$, 공간격자간격이 $\Delta s=150\text{m}$ 일때는 28×22 개이며 시간간격 $\Delta t=20\text{sec}$, 공간격자간격이 $\Delta s=300\text{m}$ 일때는 14×11 개이다(그림 5.1 참조). 이들의 영역은 금강하구역과 유사한 영역으로 생각하였으므로 개방경계에 대한 가정값으로 군산내항과 금강하구둑의 分潮값을 사용하여 개방경계의 조위변화를 주었다. 확산모형은 지형이 일정하고 격자수 14×11 일때만을 검토하였다. 임의의 지형에서 분석을 위한 대상지점은 수로의 방향이 바뀌는 수로의 중앙점을 선택하였다.

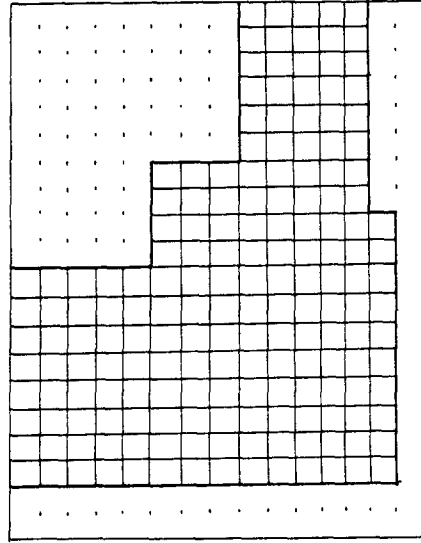


그림 5.1 모형의 격자망도

5.1 해수의 유동해석

해수유동은 해저마찰계수를 통상적으로 쓰이는 0.0025로 주고 3절의 식(3.1), (3.2)의 좌변항의 둘째, 셋째항인 이송항이 포함되었을 경우와 제외된 경우를 해수면의 변화에 대해서 RMS(root mean square)오차로 나타내어 비교하였다.

$$\text{RMS 오차} = \left\{ 1/N \cdot \sum_{i=1}^N (S_{0i} - S_{a_i})^2 \right\}^{1/2}$$

(RMS 오차단위 : cm)

여기서 S_{0i} 와 S_{a_i} 는 각각 이송항이 제외될 때의 값과 포함될 때의 해면수심이며 N 은 자료갯수이다. 유동모형 적용시는 비선형 이송항이 포함될 때 불안정한 해의 값이 개방경계 부근에서 발생하므로 이송항의 포함여부가 문제시되고 있다. 또한 와동짐성계수가 미치는 영향을 조사하기 위하여 이 값을 $10^4 \text{cm}^2/\text{s}$, $10^6 \text{cm}^2/\text{s}$ 로 변화시켜 보았다. 이송항이 포함된 경우는 개방경계에서 $3\Delta s$, $6\Delta s$ 떨어진 경우에서 계산된 값들은 이송항 제외시를 기준으로 하여 RMS 오차로 비교되었다, 위의 사항을 고려한 후 계산된 값들을 나타내면 다음과 같다.

〈표 5.1〉 모형의 RMS 오차비교(이송항 제외시를 기준)

구 분	지 형	RMS오차	비 고
계 격 산 자 $\Delta s=300\text{m}$ 와동점성계수(A_H) $:10^4\text{cm}^2/\text{s}$	길 정	1.84	개방경계로 부터 $6\Delta s$
	일 정	2.41	개방경계로 부터 $3\Delta s$
	변 동	2.02	개방경계로 부터 $6\Delta s$
	변 동	2.65	개방경계로 부터 $3\Delta s$
계 격 산 자 $\Delta s=150\text{m}$ 와동점성계수(A_H) $:10^4\text{cm}^2/\text{s}$	일 정	3.08	개방경계로 부터 $6\Delta s$
	일 정	3.76	개방경계로 부터 $3\Delta s$
	변 동	3.32	개방경계로 부터 $6\Delta s$
	변 동	4.53	개방경계로 부터 $3\Delta s$
계 격 산 자 $\Delta s=300\text{m}$ 와동점성계수(A_H) $:10^4\text{cm}^2/\text{s}$	변 동	1.64	개방경계로 부터 $6\Delta s$

이상의 결과에서 알 수 있듯이 이송항이 포함된 경우와 제외된 값들의 비교치인 RMS오차는 크지 않았다. 그러나 격자 간격(Δs)이 작을수록 RMS오차는 큰 값으로 나타나고 있는데 이것은 격자 간격이 적어짐에 따라 비선형항에 대한 경계처리가 중요시되고 있음을 의미한다.

한편 이송항이 포함된 경우 개방경계 $3\Delta s$, $6\Delta s$ 떨어진 곳에서 계산된 값들은 차이가 다소 나타나는데 개방경계처리에서 불안정한 값들이 발생될 수 있음을 알 수 있다. 그리고 와동점성계수의 값을 변화시켰을 때 이 값이 미치는 영향은 크지 않았음이 판명되었다.

5.2 점성 퇴적물 확산해석

퇴적물 이동상황을 파악하기 위하여 퇴적모형의 중요한 인자로서 작용하는 한계전단응력의 값을 변화시켜 비교하였다. 퇴적한계전단응력값은 $0.04\text{N}/\text{m}^2$, $0.07\text{N}/\text{m}^2$ 로 침식한계전단응력값은 $0.13\text{N}/\text{m}^2$, $0.2\text{N}/\text{m}^2$ 로 주었다. 침식계수(M_0)는 $2.25 \times 10^{-3}\text{kg}/\text{m}^2\text{sec}$ 로 주어졌으며 침식되는 과정에서 점성토사 부분이 해저 표면에 대해 차지하는 비율(γ^*)을 고려하여 침식이 전체 면적의 20%에서 일어난다고 간주하였다. 그리고 초기농도는 계산영역에서 모두 일정하다고 가정하여

$40\text{mg}/\ell$ 로 주었다. 퇴적 및 침식 한계전단응력값을 변화시킨 결과에 대한 부유사 농도는 그림 5.2 ~ 그림 5.5에서 보여 주고 있다.

한편 퇴적물의 확산모형에서는 퇴적한계전단응력값은 부유사 농도에 큰 영향을 미치지 않았으나 침식한계전단응력값은 부유사 농도가 작은 분포일 때는 농도 변화에 민감한 반응을 주고 있다. 이것은 유속변화에 대해서 퇴적보다 침식이 민감한 값으로 나타날 수 있음을 제시하여 주고 있다.

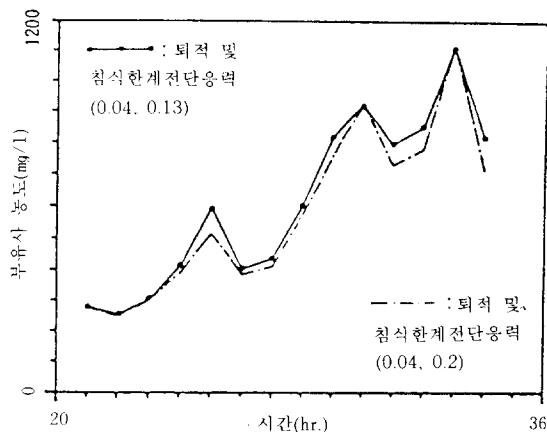


그림 5.2 한계전단응력에 대한 부유사 농도(1)

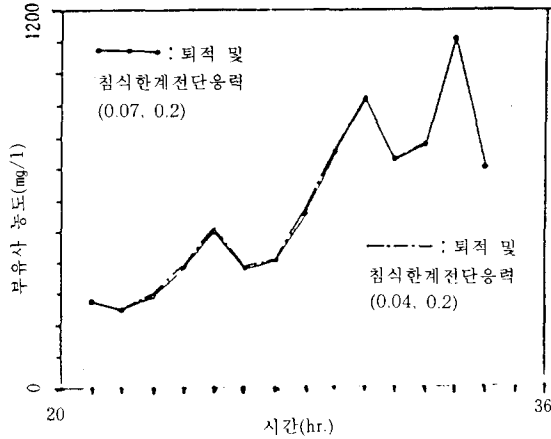


그림 5.3 한계전단응력에 대한 부유사 농도(2)

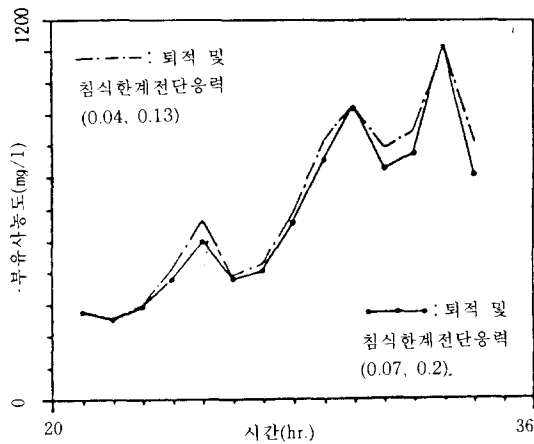


그림 5.4 한계전단응력에 대한 부유사 농도(3)

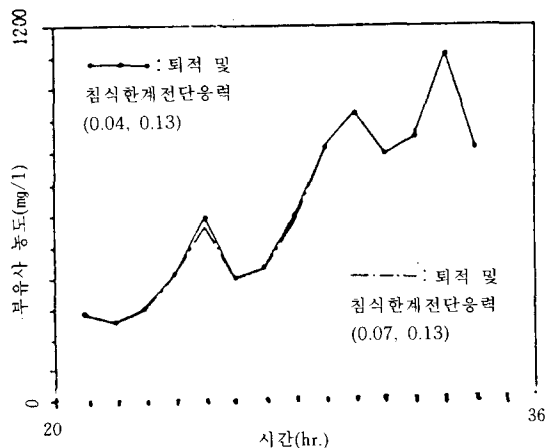


그림 5.5 한계전단응력에 대한 부유사 농도(4)

6. 結 論

浮遊砂濃度を 추정하기 위하여 수심적분된 평면 2차원 해수유동과 점성 퇴적물의 확산에 대한 수치모형의 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

해수 유동모형을 구성할 때 운동량방정식의 移送項포함 여부에 대해서 조하였는데 이에 대한 조위계산의 상대적인 값의 비교는 이송항을 제외한 경우를 기준으로 해서 비교값인 RMS오차로서 나타내었다. 移送項이 포함된 경우는 개방경계의 처리과정에서 수치해의 불안정한 값들이 발생할 수 있음을 알 수 있었고 와동점성계수값을 변화시켰을 때 이 값이 미치는 영향은 크지 않았음이 밝혀 졌다. 퇴적과 침식에 지배적으로 영향을 주는 한계전단응력의 값을 변화시켜 수행해 본 결과 퇴적한 계전단응력값보다 침식한계전단응력값의 변화에 따라 부유사농도 분포가 민감한 반응을 보였다.

參考文獻

1. 강시환, "하구 인접 내항의 퇴적물 수송에 대한 수치모델 해석", 한국 해양학회지, 제 22 권 제 1 호, 1987. 3
2. 김재중, "점성토의 침식 및 퇴적에 관한 실험적 연구", 서울대학교, 박사학위논문, 1989.
3. 여운광, 안수한, "미소 진폭파에 의한 저질의 부유농도에 관한 연구", 한국 수문학회지, Vol.13, No.4, 1980.12
4. 염기대, "광양만 퇴적물이동 수치모델", 광양 공업단지 조성에 관한 토목공학 심포지움, 1988.
5. 이정규, 안수한, "조류에 의한 부유사의 확산에 대한 수치모형", 대한토목학회 논문집, 제 4 권, 제 4 호. 1984.12
6. Ariathurai, R. and K. Arulanandan, "Erosion Rates of Cohesive Soils", J. of Hyd. Div., ASCE, Vol.104, Feb. 1978.
7. Ariathurai, R. and R.B. Krone, "Finite Element Model for Cohesive Sediment Transport", J. of Hyd. Div., ASCE, Vol.102,

- Mar.1976.
8. Askren, D.R., "Numerical Simulation of Sedimentation and Circulation in Rectangular Marina Basins", Oceanographic Division, National Ocean Survey, NOAA, Rockville, Md, 1979.
 9. Crean, P.B. "A Numerical Model of Barotropic Mixed Tides between Vancouver Island and the Mainland and Its Relation to Studies of the Estuarine Circulation. p.283-313. In J.C.J, Nihoul(ed), Hydrodynamics of Estuaries and Fjords, proc. 9th. Int., Elsevier Scientific publishing Co., 1978.
 10. Elder, J.W., "The Dispersion of Marked Fluid in Turbulent Shear Flow", Journal of Fluid Mechanics, Vol.5, 1959.
 11. Fischer, H.B., *Mixing in Inland and Coastal Waters*, Academic Press, 1979.
 12. Flather, R.A. and N.S. Heaps, "Tidal Computations for Morecambe Bay", Geophy, J.R. Astr. Soc.(1975)42, 489-517.
 13. Futawari, T.T. Kusuda, and K. Koga, "Development of New Simulation Method of Suspended Sediment Transport in A Tidal River", Conf. on Coastal and Estuarine Pollution, Oct. 1987.
 14. Hansen, W., "Hydrodynamical Methods Applied to Oceanographic Problems", Proc. Symp. Math. Hydrodynamical Methods of Phys. Oct. 1961.
 15. Hayter, E.J., Prediction of Cohesive Sediment Movement in Estuarial Waters, Ph. D. Thesis, Univ. of Florida, 1983.
 16. Krone, R.B., "Flume studies of The Transport of Sediment in Estuarial Shoaling Processes", Final Report, Hyd. Eng. Lab. and Sanitary Eng. Lab., Univ. of California, Berkley, June, 1962.
 17. Leendertse, J.J., "Aspects of a Computational model for Long Period Water Wave Propagation", RM 5294-PR, The LAND Corporation, 1967.
 18. McDowell, D.M. and B.A. O'Connor, *Hydraulic Behavior of Estuaries*, MacMillan Press, 1977.
 19. Nicholson, J. and B.A. O'Conner, "Cohesive Sediment Transport Model", J of Hyd. Eng., ASCE, Vol.112, July, 1986.
 20. O'Connor, B.A., "Sediment Intrusion in a Tidal Lock", Proceedings, 16th IAHR Congress on Fundamental Tools to be Used in the Environmental Problem, International Association for Hydraulic Research, Delft, the Netherlands, 1975.
 21. Odd, N.V.M. and M.W. Owen, "a Two-layer Model for Mud Transport in the Thames Estuary", Proc. of The Institution of Civil Engrs., London, Supplement(IX), 1972.
 22. Partheniades, E., "Erosion and Deposition of Cohesive Soil", J. of Hyd. Div., ASCE, Vol.91, Jan.1965.
 23. Sheng, Y.P., "Modelling Bottom Boundary Layer and Cohesive Sediment Dynamics in Estuarine and Coastal Waters", in Estuarine Cohesive Sediment Dynamics, Mehta, A.J.(ed.), Springer-Verlag, 1986.
 24. Taylor, G.I., "The Dispersion of matter in Turbulent flow through a Pipe, Sewage and Industrial Wastes", Vol.25, No.9, 1953.
 25. Thorn, M.F.C., "Physical Processes of Siltation in Tidal Channels", Proc. Hyd. Modelling Applied to Maritime Eng. Problems, ICE, London, 1981.