

현지 적용을 통한 2차원 유사이동모형의 민감도분석

서상원*·윤병만**

1. 서론

해안의 자연지형은 흐름의 변화에 대해서 자신의 특성을 조절하는 능력을 가지고 있다. 흐름의 변화는 자연적 변화와 인위적 변화로 구분할 수 있다. 자연적 변화는 해일, 조류, 취송류 등에 의한 변화가 있다. 또한, 댐 방류량 조절 및 은배수 제트 등은 해안 흐름의 변화를 야기하며, 항만 등 수공구조물의 건설에 의해 흐름이 인위적으로 변화된다. 흐름이 변화하게 되면 이전의 동적 평형상태에 있던 해안은 수리학적 특성, 유사특성의 변화를 초래하여 평형상태는 깨지게 된다. 따라서 해안의 지형이 새로운 평형상태에 도달할 때까지 침식 또는 퇴적이 발생하게 된다. 유사운송능력 이상의 유사가 유입되거나 유사운송능력이 저하되는 경우에는 퇴적현상이 발생하고, 오염물질의 이동을 방해하여 수질오염을 가속시키기도 한다. 또한 해수의 흐름에 변화가 생겨 바다로 유입하는 생활폐수나 공업시설로부터 방출된 오염물질들이 항내 또는 인근해역으로 확산되어 인근주민들에게 피해를 주는 경우도 발생하고 있다. 이러한 유사이동 변화를 규명하기 위해서는 흐름 및 유사이동 현상에 대한 정확한 이해가 필요하다.

유사이동모형은 적용가능영역 또는 모형의 차원에 따라 1, 2, 3차원모형으로 구분된다. 하천에서의 유사이동 해석에는 주로 1차원모형을 사용하고 있으며, 하구, 호수 등의 영역에서 부유사농도의 연직 분포가 주요 관심사항일 경우는 연직 2차원 모형을 사용한다. 연안, 하구, 항만, 호수 등과 같은 영역에서의 평면적인 유사이동문제 해석에는 평면 2차원 또는 3차원 유사이동모형을 사용한다. 비록 하천의 경우라도 사행현상 규명, 수리구조물과 관련된 국부세굴 또는 수세현상 규명을 위해서는 평면 2차원 또는 3차원 유사이동모형이 사용되기도 한다." 이러한 모형들은 모두 주어진 시스템을 어느 정도까지 단순화시켜서 개발되었기 때문에 필연적으로 자체적인 오차를 내포하고 있다. 그래서 비슷한 시스템에 대하여 여러개의 모형들이 나름대로의 정당성이 부여되어 발표되고 있다. 이러한 수학적 모형들에는 모형을 구성하고 있는 인자들이 있고, 인자들은 각각 다른 정도로 모형의 예측에 영향을 미치게 된다. 이러한 인자들은 대부분 정도의 차이는 있지만 오차를 가지고 있으며 따라서 각 인자들이 갖는 오차가 모형에 미치는 영향을 파악하는 것은 매우 중요하다. 특히 모형에 큰 영향을 주는 인자들을 결정할 때에는 보다 높은 정확도를 얻을 수 있도록 세심한 주의를 하여야 한다. 많은 오차를 내포한 모형을 사용한 경우 환경영향의 예측이 불확실해질 뿐 아니라 심각한 자원의 낭비를 초래할 수 있다. 그러므로 모형의 인자들에 대한 민감도분석(sensitivity analysis)은 필수적인 요소이다.

따라서 본 논문에서는 수심적분된 2차원 모형중 하나를 소개하고 이 모형을 광양만에 적용하여 이 모형이 가질 수 있는 오차의 한계를 민감도 분석을 통해 제시하였다.

2. 지배방정식 및 수치모형의 개요

흐름에 관한 연속방정식과 x , y 방향에 대한 운동방정식은 다음과 같다.

* 명지대학교 토목환경공학과 수공학전공 석사과정

** 명지대학교 토목환경공학과 부교수

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{H} \right) + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ + \frac{gn^2 M \sqrt{M^2 + N^2}}{H^{7/3}} - \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial M}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial M}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{H} \right) + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ + \frac{gn^2 N \sqrt{M^2 + N^2}}{H^{7/3}} - \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial N}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial N}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

여기에서, x, y, t 는 공간 및 시간좌표이며, η 는 수위, M, N 은 수평 선유량성분이고, g 는 중력 가속도, $H (= h + \eta)$ 는 실제의 수심, h 는 정수시의 수심이며, n 은 해저마찰계수, K_H 는 수평혼 합계수이다.

부유된 유사 및 실트에 관한 농도이동 해석은 다음과 같은 이류확산방정식에 의해 구할 수 있다.

$$\frac{\partial(HC)}{\partial t} + \frac{\partial(HuC)}{\partial x} + \frac{\partial(HvC)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left(H\epsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(H\epsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) = P - D \quad (4)$$

여기서, C 는 수심방향으로 적분된 평균 부유저질농도, u, v 는 각각 수심방향으로 평균된 평균유속의 x, y 성분, ϵ_x, ϵ_y 는 각각 수심방향으로 평균된 수평확산계수의 x, y 성분이다. P, D 는 단위시간, 단위면적당 저면으로부터의 부상량 및 침강량이다.”

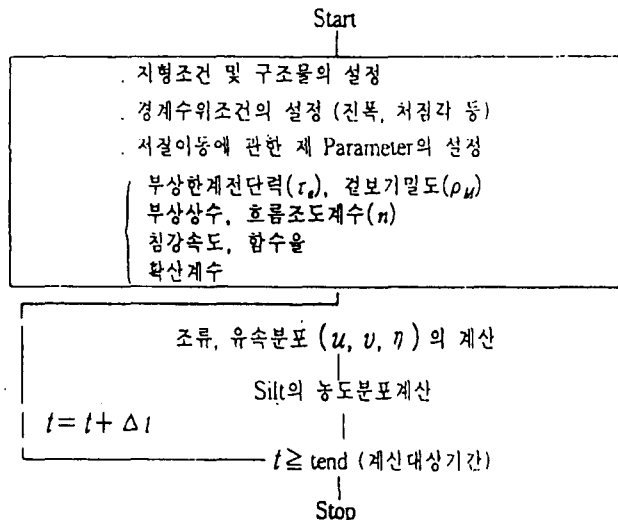


그림 1. 모형의 흐름도

수치모형에 대한 전체적인 예측 흐름도는 그림 1과 같으며 주 계산은 조류계산 및 저질 이동계산의 2부분으로 구성되어 있다. 본 모형에서는 ADI법⁶⁾과 완전음해법의 단점을 보완하기 위해 운동방정식내의 수평혼합항과 이류항을 기지의 값으로 처리한 준음해법⁶⁾을 사용하였다.

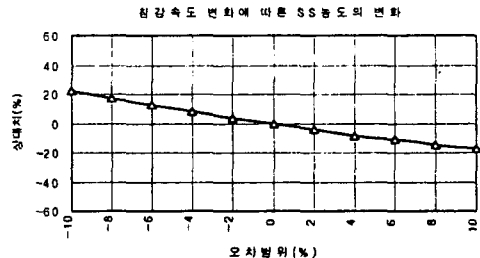
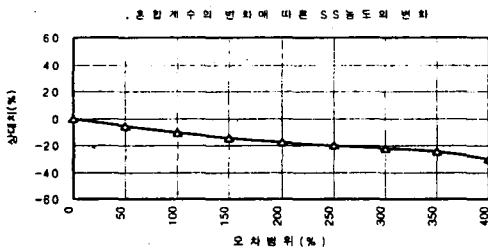
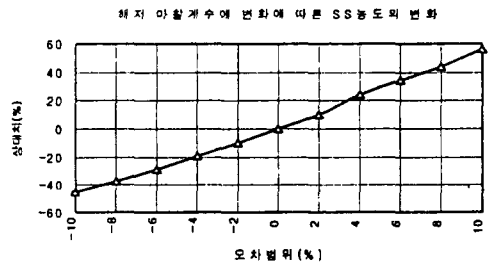
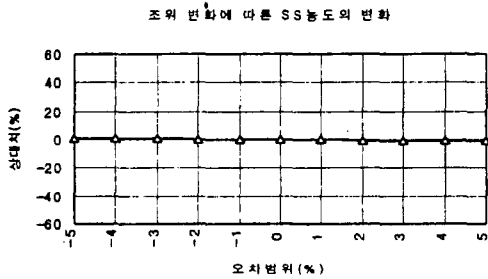
3. 매개변수의 민감도 분석

측정된 값과 문헌으로부터 구했거나 상호관계식을 갖고 구한 값들에 대한 오차의 범위는 표 1과 같이 가정하였다. 이와 같이 가정한 이유는 조위는 실측할 경우 5% 내외에서 오차가 있을 수 있다고 생각하였고, 해저마찰계수, 한계전단응력 등은 실험이나 문헌을 통하여 구하게 되는데 여러요인에 의하여 10% 정도의 오차가 나타날 수 있다고 판단하여 정한 범위이다. 그 외에 혼합계수, 확산계수 등은 일반적으로 적용되었던 값의 범위내에서 반복계산 후 실측치에 가장 가까운 값을 설정하였다.

표 1 각 매개변수의 계산값과 오차범위

주요 입력 변수	계산값	오차범위
조위	1.805 m	±5 %
해저마찰계수	0.03	±10 %
혼합계수	$1 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$	500 %
확산계수	$1 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$	500 %
침강속도	0.01 cm/sec	±10 %
한계전단력	0.64 N/m ²	±10 %

각 매개변수들이 모형에 미치는 영향을 파악하기 위하여 계산값을 오차범위내에서 모형을 실행시켰을 경우의 결과를 그림 2에 정리하였다.



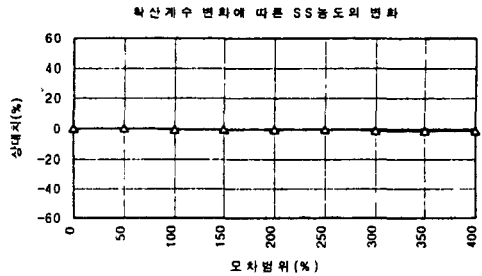
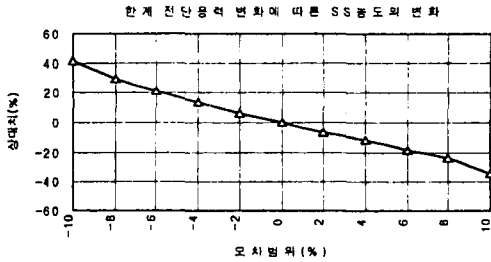


그림 2 각 매개변수변화에 따른 SS농도 변화

4. 결론

수치모형실험에 사용되는 유사이동모형들은 여러개의 인자들을 내포하고 있는데, 이러한 인자들은 서로 다른 형태로 모형에 영향을 끼친다. 본 논문에서는 기존의 유사이동모형을 이용하여 민감도 분석을 실시함으로써 각 인자들이 모형에 미치는 정도와 형태를 파악하여 모형이 궁극적으로 가질 수 있는 오차의 한계를 알 수 있도록 하였다. 그리고 문헌이나 실험을 통하여 인자들의 값을 구할 때 인자들이 모형에 미치는 영향의 정도와 형태를 파악하여 모형에 큰 영향을 주는 인자는 더 많은 노력과 정확성을 기할 필요가 있다.

참고 문헌

1. Olsen, N. R. B. and Melaen, M. C., "Three-Dimensional Calculation of Scour Around Cylinders", J. of Hyd. Eng., ASCE, Vol. 119, No. 9, pp. 1048-1054., 1993.
2. 이길성, 이남주, 오성택, "유사이동모형을 이용한 잠실수중보주변 하상변동의 수치모의, 수공학 연구실, 서울대학교 토목공학과, 1994,
3. Owen M. W. and Odd N. V. M. ; Proc. of the Institution of Civil Engineers(1972)
4. Sheng Y. P. and Lick W. ; Jour. of Geophysical Research, Vol 8, No C4(1979)
5. Leendertse, J.J ; Principles of Computation, Rand Corporation Memorandum, 1, Rm-6230-RC
6. 윤병만, 김규한, 백승화 ; 대한환경공학회지, 제 18 권, 제 5 호, pp 551-562 (1996)