

GUI를 이용한 담수확산 모의시스템의 개발 Development of Fresh-Water Dispersion Modeling System Using GUI

정태성¹, 김태식²

Tae Sung Jung¹ and Tae Sik Kim²

1. 서 론

연안해역에서 유해적조류 출현은 대개 수온의 상승 또는 담수의 대량유입에 의해 많이 발생한다. 염분의 분포는 32 ~ 32.5 psu에서 발생빈도가 가장 높았으며, 적조 발생 전 집중 호우가 관측된 후 염분농도가 급격히 감소한 경우가 많았다(김, 1999). 또한, 오염된 호수물의 방류로 인해 인근해역의 생태계를 교란시켜 어패류의 집단 폐사가 우려되기도 한다. 이처럼 담수에 섞여 있던 오염물질이 담수와 함께 방류되어 연안해역의 해양생태계에 커다란 영향을 미치고 있으며, 대부분의 담수는 하구 독을 통해서 수시로 방류되고 있다. 그럼에도 불구하고 방류된 담수가 해수유동에 의해 이송·확산되어 미치는 영향범위의 환경평가가 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이를 위해서는 하구 독의 담수 방류로 인한 담수 확산을 정확히 모의함으로써, 담수가 미치는 영향범위를 평가하여 수질오염 방지대책을 적절히 수립할 필요가 있다.

본 연구에서는 모의시스템을 구축하고, 목포해역에 대해 해수유동 모형을 사용하여 유속분포를 모의한 후, 담수 확산 모형을 적용하였다. 모의시스템은 수치모형으로부터 나온 방대한 양의 수치적 결과를 GUI(Graphic User Interface)를 이용해 직관적으로 보여주고, 담수확산의 시간적 변화에 따른 양상이 연속적으로 볼 수 있는 동적 가시화를 포함한다.

2. 이송-확산 수치모형

본 연구에서는 이송-확산방정식의 이송항 차분화 과정에서 발생하는 수치분산을 저감할 수 있는 Random-walk 모형을 수립하고 적용하였다. 이 등(1995)은 2차원 입자추적모형을 개발하여 해석해와 비교 검증하였고, 서(1996)는 Lagrangian 방법인 입자추적모형과 Eulerian 방법인 유한요소법을 결합한 Eulerian-Lagrangian 모형을 수립하여 부유사 확산을 모의하고 고농도 모의시는 Lagrangian 방법이, 저농도 모의시는 Eulerian 방법이 효율적임을 밝혔으며, 김 등(2000)은 하수종말처리장으로부터 연안해역으로 확산관을 통해 방류되는 입자성 오염물질의 확산을 3차원 입자추적모형을 사용하여 모의하였다. Hathhorn(1997)은 난수발생함수로 비정규분포를 가정한 1차원 확산모형의 효율성을 입증하였으며, Dearnaley et al.(1999)은 준설토 확산모의에 대해 Plume모형과 입자추적모형을 비교검토하였다. Smith and Scott(1997)는 조석환경 하에서 확산현상을 모의하기 위한 방법들을 고찰하고 입자추적방법이 유효한 방법임을 밝히고, 방류위치, 방류시기, 방류속도의 적절한 선택이 환경영향을 저감하는 데 중요함을 언급한 바 있다. 이외에도 강(1991)은 담수확산에 대한 연구동향을 정리하고, 금강하구에서 담수확산을 모의하였다.

본 연구에서는 담수확산 모의를 위해 2차원 Random-walk 모형을 사용하였다. 수심적분된 2차원 이송-확산방정식은 다음과 같다.

¹ 한남대학교 토목환경공학과 교수

² 동부엔지니어링 수자원부

$$\begin{aligned} \frac{\partial(HS)}{\partial t} + \frac{\partial(HuS)}{\partial x} + \frac{\partial(HvS)}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial x}(HD_{xx} \frac{\partial S}{\partial x}) \\ + \frac{\partial}{\partial x}(HD_{xy} \frac{\partial S}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial y}(HD_{xy} \frac{\partial S}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(HD_{yy} \frac{\partial S}{\partial y}) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, S 는 농도, D_{xx} , D_{xy} , D_{yy} 는 확산계수이다. 위 식은 다음과 같이 변환한 후에 입자추적방법을 이용하여 해석하였다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(S) + \frac{\partial}{\partial x}(u_1 S) + \frac{\partial}{\partial y}(v_1 S) &= \frac{\partial^2}{\partial x^2}(D_{xx} S) \\ + 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y}(D_{xy} S) + \frac{\partial^2}{\partial y^2}(D_{yy} S) \end{aligned} \quad (2)$$

$$u_1 = u + \frac{\partial D_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial D_{xy}}{\partial y} + \frac{D_{xx}}{H} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{D_{xy}}{H} \frac{\partial H}{\partial y} \quad (3)$$

$$v_1 = v + \frac{\partial D_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial D_{xy}}{\partial x} + \frac{D_{xy}}{H} \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{D_{yy}}{H} \frac{\partial H}{\partial x} \quad (4)$$

$\vec{X} = \vec{X}(t)$ 에 있는 담수입자는 확정론적인 부분인 이송과정과 불규칙하게 움직이는 확산과정에 따라 Δt 시간 후 위치 $\vec{X}(t+\Delta t)$ 는 다음과 같다 (Dimou and Adams, 1993).

$$\vec{X}(t+\Delta t) = \vec{X}(t) + \vec{v}(t) \Delta t + \vec{d} \quad (5)$$

\vec{d} 는 분산에 의한 이동으로 i 방향 성분 d_i 는 다음과 같다.

$$d_i = k_i \Delta t = \sqrt{2D_i} \cdot \text{RAN} \cdot \Delta t \quad (6)$$

여기서, k_i 는 i 방향 분산속도, D_i 는 i 방향 분산계수, RAN은 평균치 0, 분산 1인 정규분포를 만족하는 -1과 1사이에서 변하는 난수이다.

3. 이송-확산 모형의 검증

이송-확산 모형의 정확성을 평가하기 위하여 1차원 단순확산과 이송-확산 문제, 2차원 이송-확산문제에 대해 적용하고, 해석해와 비교하였다. Fig. 1은 1차원 단순 확산문제(확산계수는 $1.0 \text{ m}^2/\text{sec}$)에 대해 계산한 결과로 계산결과가 시간에 지남에 따라 확산하는 모습을 잘 재현하고 있다. Fig 2는 1차원 이송-확산문제에 대한 경우(확산계수 $1.0 \text{ m}^2/\text{sec}$, 유속은 $1 \text{ m}/\text{sec}$)로 시간이 지남에 따라 이송현상에 의해 오른쪽으로 이동하면서 확산하는 현상을 잘 재현하였다.

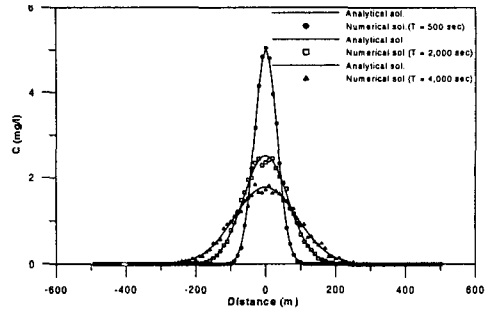


Fig. 1. Comparison of 1-d pure diffusion

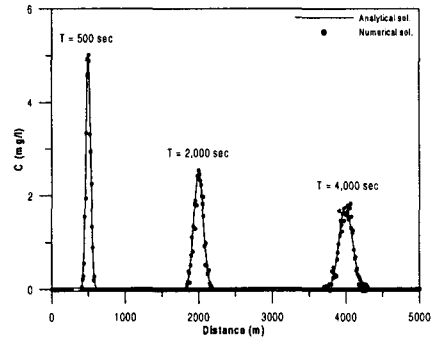


Fig. 2. Comparison of 1-d advection-diffusion

Fig. 3은 2차원 이송-확산문제(확산계수 $10 \text{ m}^2/\text{sec}$, x 와 y 방향 유속 $0.5 \text{ m}/\text{sec}$)에 대해 적용한 경우로 1차원 문제와 마찬가지로 계산결과가 해석해와 잘 일치하고 있다.

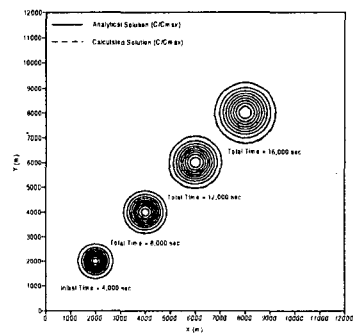


Fig. 3. Comparison of 2-d advection-diffusion

4. 담수확산 모의시스템의 구축

위와 같은 검증과정을 통해 수립된 2차원 이송-확산 모형과 유한요소법을 수치해석 기법으로 사용

하는 2차원 해수유동모형(정 등, 1992)을 엔진으로 사용하는 담수확산 모의시스템인 FREDMOS(Fresh-water Dispersion Modeling System) 프로그램이 구축되었다. 구축된 프로그램은 모의시스템 구동 및 제어를 위해 필요한 자료의 입력, 해수유동 및 입자추적 담수 확산모형의 실행, 모의결과의 가시화 부분으로 구성되어 있다. 본 프로그램의 개발도구로는 Visual C++ 6.0과 OpenGL 라이브러리를 사용하였다.

본 프로그램의 개발은 크게 세 부분으로 나누어 이루어져있다. 첫 번째는 모의시스템에서 필요로 하는 입력자료를 읽어 들이는 부분이며, 두 번째는 읽어 들인 자료를 이용하여 모델링을 수행하는 부분이고, 세 번째는 모의결과를 화면에 직접 묘사하는 부분이다. 프로그램은 먼저 지형자료와 배경구성을 위한 지도의 비트맵 이미지를 입력받아 주 메뉴를 구성하며, 구성된 주메뉴에서 모의에 필요한 자료인 유한요소 삼각형 격자망 자료, 육지경계면 위치자료, 해수유동 모의를 위한 개방경계에서 주요 분조의 조화상수 등을 읽어 메모리에 저장한다. 다음으로 모의에 필요한 방류량 자료를 입력한다. 방류량을 읽고 모의하고자 하는 날짜를 달력으로부터 선택하면 조류모의가 시작되고, 조류 모의가 종료된 후에 담수확산이 모의된다. 종료된 후에는 그 날에 대해서 계산된 조류분포, 조위분포, 모의에 사용된 담수 입자의 분포양상, 염도분포의 시간변화를 그래픽으로 관찰할 수 있다. 또한 필요시 특정 지역에 대해 확대함으로서 모의결과를 자세히 관찰할 수 있다.

Fig. 4는 모의시스템의 주화면으로 상단 좌측에 있는 담수확산 모의설정 아이콘을 마우스로 클릭하였을 때 나타나는 화면이다. 화면에서 1일 총 방류량을 입력하고, 시계모양의 아이콘을 클릭하여 원하는 날짜를 선택하면, 그 날의 조위 및 조류가 계산되고, 조위 및 조류계산이 종료되어 계산결과와 조류분포가 화면에 로딩되면 담수확산을 모의한다. 모의가 종료되면 조류분포와 함께, 시간별 담수 입자의 시공간적 분포 및 염분 분포를 볼 수 있다. 마우스를 화면위에 위치하면, 그 지점의 조류크기와 염분이 그림의 하단에 표시된다. 모의결과는 확대/축소 기능을 이용해서 특정 지역만을 선택적으로 관찰할 수 있으며, 모의기간 중의 조류와 염분의 시간변화를 동영상으로 관찰할 수 있다(Fig. 5와 6).

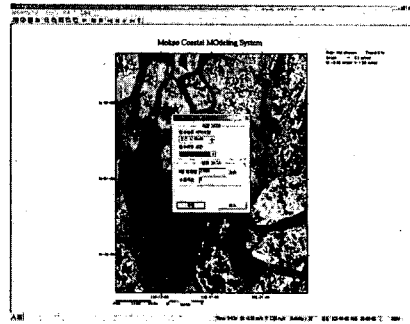


Fig. 4. Main screen of FREDMOS

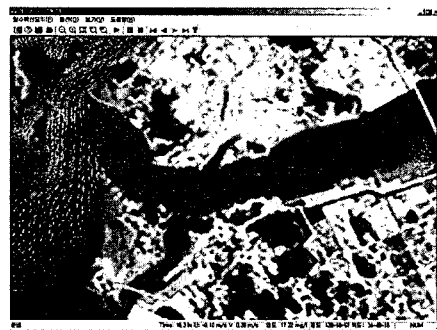


Fig. 5. Display of velocity distribution

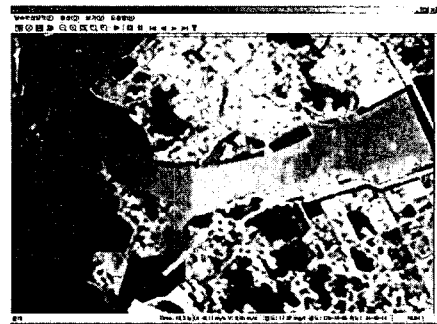


Fig. 6. Display of SS dispersion

5. 모의시스템의 검증

구축된 모의시스템의 정확도를 평가하기 위하여 목포해역에 적용하고 현장조사결과와 비교하였다. Fig. 7은 모델링 영역에 대해 구성된 유한요소 격자망이다.

Fig. 8은 목포항 조위에 대한 검증결과로 계산결과가 관측치와 잘 일치하고 있다.

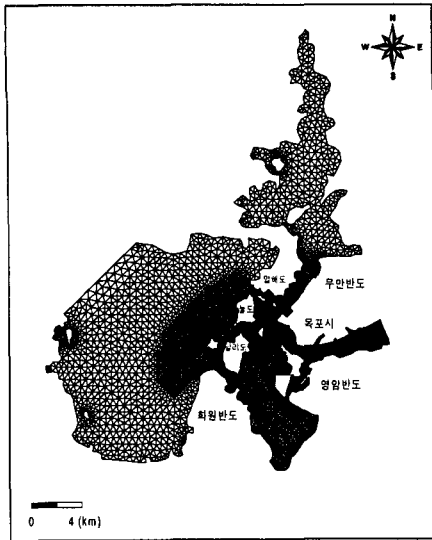


Fig. 7. Finite element grid system for numerical modeling.

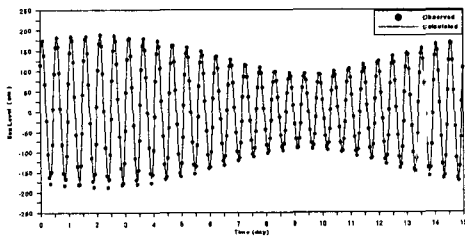


Fig. 8. Sea level change at Mokpo

계산조류를 관측조류에 대하여 검증한 결과, 대조기 창조시와 낙조시의 최강유속이 모두 관측치와 일치하는 양호한 결과를 보였다(Fig. 9와 10).

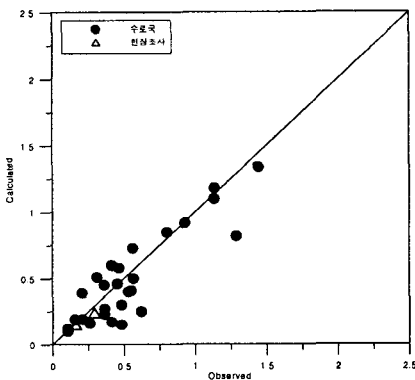


Fig. 9. Comparison of maximum flood velocity

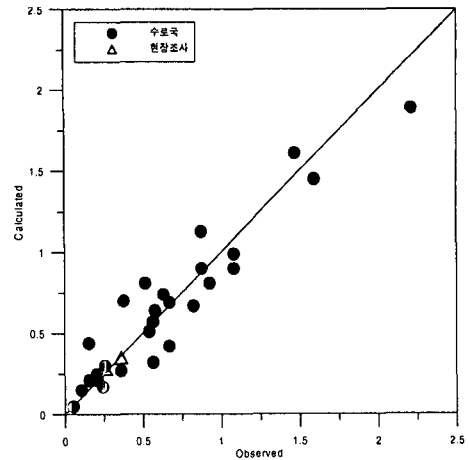


Fig. 10. Comparison of maximum ebb velocity

조사해역의 조류분포를 보면, 대조기 창조시(Fig. 11)는 화원반도 서측수로를 통해 남에서 북으로 이동하는 해수가 달리도 남측수로, 놀도와 달리도사이 수로, 놀도와 압해도사이에 있는 수로를 통해 내만으로 유입된다. 남쪽에 있는 수로를 통해 유입된 해수의 대부분은 만내로 들어온 후에 북쪽으로 이동하다가 가운데 있는 수로를 통해 들어온 후에 남쪽으로 분기된 해수와 합류하여 북쪽으로 이동하다가 일부는 목포시 쪽으로 이동한다. 낙조시는 창조시와 방향이 반대되는 흐름특성을 보였다(Fig. 12). 유속크기는 화원반도 서측수로에서 크게 나타나 최대 약 3 m/sec에 달하였으며, 압해도 남측과 동측수로, 달리도 남측수로에서도 1 m/sec이다.

2002년 9월 3일에 상황에 대해 염분분포를 모의하고 관측치(김 등, 2003)와 비교하였다. 모의시 영산강하구연으로부터 방류량은 8월 1일부터 9월 3일까지 평균방류량을 사용하였다. 염분분포를 보면, 정확한 비교는 어렵지만 전반적으로 관측자료(Fig. 13)와 계산결과(Fig. 14)가 서로 일치하는 양호한 계산결과를 보였다. 그러나 현재 월평균 유입량 자료로 가정하여 모의한 결과로 정확한 담수유입량에 대한 시계열 자료를 사용한 연구가 필요하며, 본 연구에서 고려하지 않는 금호방조제 등을 통한 유입량도 고려해야 할 것이다.

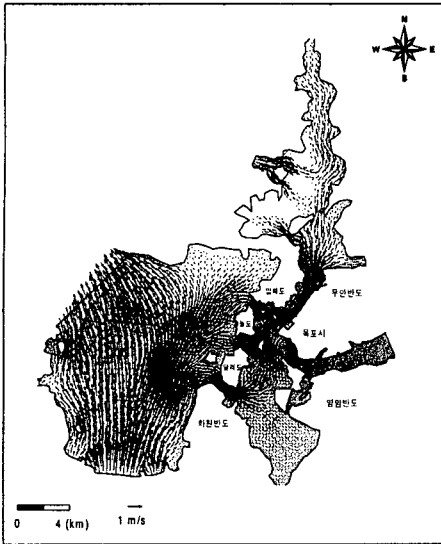


Fig. 11. Flood currents in spring tide

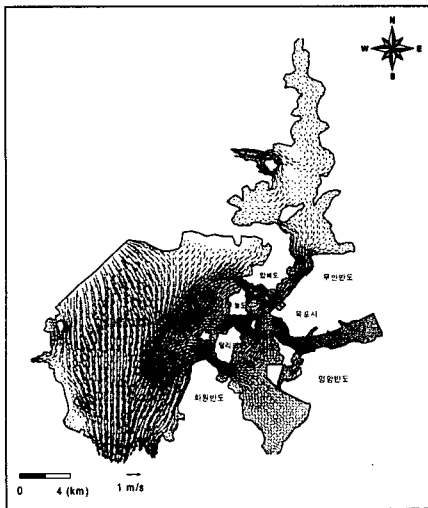


Fig. 12. Ebb currents in spring tide

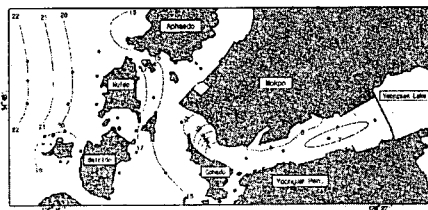


Fig. 13. Observed salinity distribution on September 3, 2002.

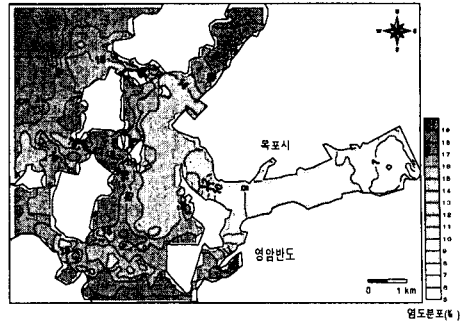


Fig. 14. Calculated salinity distribution

6. 결 론

하구 독의 방류로 인한 담수 확산을 신속하고 간편하게 예측할 수 있는 GUI 모의시스템을 수립하였으며 수립된 시스템을 활용하여 조류를 예측한 결과, 비교적 관측치와 일치하는 양호한 계산결과를 보였다. 담수 확산 모의를 위해 수립된 입자추적모형은 1, 2차원 이송-확산문제의 해석해와 비교한 결과, 비교적 계산결과가 해석해와 잘 일치하였다. 그러나 격자간격과 총 입자수의 선정에 주의가 필요함을 확인할 수 있었다. 정확한 목포해역의 해수유동 평가를 위해서는 현재 고려한 2개 조석 분조 외에 나머지 조석분조의 영향도 포함할 필요가 있으며, 담수의 유입뿐 아니라 바람의 영향 등도 추가적으로 고려해야 할 것이다. 담수 확산 모의결과는 정확한 비교는 어려웠지만 담수의 확산 폭과 확산 범위가 현장 관측치와 거의 일치하였다. 그러나 보다 정확한 계산결과를 얻기 위해서는 모형검증을 위한 담수확산 관측자료의 확보, 정확한 유입량 관측, 확산계수 선정 등에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것이다.

본 연구에서 개발한 시스템은 GUI 환경에서 작동되므로 누구나 쉽게 자료의 입력 및 수정이 가능하며, 계산된 모형결과를 그래픽을 이용해 효과적으로 가시화하여 계산결과를 누구나 쉽고 현실감 있게 볼 수 있다. 따라서 본 시스템을 이용하여 하구 독에서 방류되는 담수의 확산 범위를 예측한다면, 저염도에 의한 환경피해를 줄이는데 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 강주환 (1991). 유한차분모형에 의한 하구의 염도 확산 분석. 서울대학교 박사학위논문.
- 김도희, 유한홍 (2003). 집중 강우시 목포 주변해역의 수질 특성. 한국해양환경공학회지, 3(2), 28-37.
- 김영도, 강시환, 서일원, 오병철 (2000). 3차원 입자추적 모형에 의한 수중방류 하수의 이송·확산 예측. 대한토목학회논문집, 20(6-B), 843-852.
- 김학균 (1999). 나로도 인근해역에서 *Cochlodinium Polykrikoides* 적조의 최초발생과 환경특성. 수진연구보고서, 23-47.
- 이중섭, 김호진 (1995). Random-Walk 모형에 의한 확산해의 민감도 분석. 대한토목학회논문집, 15(5), 1267-1277.
- 서승원 (1999). Eulerian-Lagrangian 농도 및 입자결합모형에 의한 연안의 부유사 확산해석. 한국해양·해양공학학회지, 8(2), 185-192.
- 정태성, 김창식 (1992). 이동경계를 고려한 유한요소 해수유동모형. 한국해양·해양공학학회지, 4(3), pp. 146-155.
- Dimou, K.N. and Adams, E.E. (1993). A random-walk, particle tracking model for well-mixed estuaries and coastal water. Estuarine, Coastal Shelf Science, 37, 99-110.
- Hathhorn, W.E. (1997). Simplified approach to particle tracking methods for contaminant transport. J. of Hydraulic Engineering, ASCE, 123(12), 1157-1160.
- Dearnaley, M.P., Stevenson, J.R. and Spearman, J. (1999). Environmental aspects of aggregate dredging. Report SR 548, HR Wallingford.
- Smith R. and Scott, C.F. (1997). Mixing in the tidal environment. J. of Hydraulic Engineering, 123(4), 332-340.