

수치해석을 이용한 항만의 해수교환율 산정

The Calculation of Seawater Exchange Rate in a Port by Numerical Analysis

김형준* · 강규영** · 조용식***

Kim, Hyung-Jun · Kang, Gyu-Young · Cho, Yong-Sik

Abstract

Numerical Analysis for exchanging seawater experiment is carried out in Do-Jang fish port. The change of tidal velocity and water level is derived by the two-dimensional nonlinear shallow-water numerical model. To calculate exchange rate of seawater with the change of tidal velocity and water level, a two-dimensional numerical model is employed which governing equations are Fokker-Plank equations. The calculated exchange rates of each time are described in tables and figures.

key words : shallow-water equation, fokker-planck equation

1. 서 론

본 연구에서는 도장항 주변해역에 대한 해수유동 수치실험을 통해 얻어진 유속 및 조위결과를 활용하여 도장항 일대의 해수현황 파악을 위해 해수교환 실험을 수치해석을 통하여 실시하였다.

도장항 주변해역의 해수유동 재현을 위해 3차원 Navier-Stokes식을 수심적분하여 얻는 비선형 천수방정식(nonlinear shallow-water equations)을 이용하였다. 비선형 천수방정식은 leaf-frog 기법을 적용하여 유한차분하였으며, 비선형항은 2차정확도의 upwind 기법을 이용하여 차분하였다. 해수교환 실험을 위해 이송-확산 방정식의 형태를 지니는 Fokker - Planck 방정식을 사용하여 해수교환율을 산정하였다.

2. 지배방정식

2.1 해수유동 수치모델의 지배방정식

장파의 경우는 수평변위에 비해 연직변위가 상대적으로 작기 때문에 유체 입자의 연직방향의 가속도를 무시하는 것이 가능하다. 따라서 운동의 연직성분은 압력분포에 영향을 미치지 않고, 압력은 정수압분포로 가정된다. 또한, 연직방향의 유속분포는 일정하다고 가정한다.

장파의 가정에서 유체의 운동은 다음의 식으로 표현 될 수 있고, 이를 천수이론(shallow-water theory)이라 한다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [u(h + \eta)] + \frac{\partial}{\partial y} [v(h + \eta)] = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_x}{\rho} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_y}{\rho} = 0 \quad (3)$$

* 정회원 · 한양대학교 토목공학과 · 박사과정 · E-mail : john0705@hanyang.ac.kr

** 한양대학교 토목공학과 · 석사과정

*** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 · 교수 · 교신저자 · E-mail : ysc59@hanyang.ac.kr

여기서 t 는 시간을 의미하며, h 는 정수면에서의 수심이고 η 는 수위변화량을 나타낸다. g 는 중력가속도, u, v 는 각각 x 축 및 y 축 방향의 수심평균 유속이다. $\frac{\tau_x}{\rho}$ 와 $\frac{\tau_y}{\rho}$ 는 x 축 및 y 축 방향의 헤저마찰력을 나타낸다.

2.2 해수교환 수치모델의 지배방정식

흐름장에 놓인 입자가 passive contaminant인 경우 시간 $t + \Delta t$ 에서 입자의 위치는 식 (4)와 같이 계산된다.

$$\vec{X}(t + \Delta t) = \vec{X}(t) + \vec{U} \cdot \Delta t + \vec{u}' \cdot \Delta t \quad (4)$$

여기서, $\vec{X}(t)$ 는 t 시간의 입자 위치, \vec{U} 은 t 시간의 $\vec{X}(t)$ 위치에서의 이류에 의한 속도 벡터, \vec{u}' 은 t 시간의 $\vec{X}(t)$ 위치에서의 난류확산에 의한 속도 벡터, Δt 는 시간간격이다. 식 (4)에 따르는 확률과정에서는 개개의 입자의 집합에 관한 시공간적 확률분포 $C(x, y, t)$ 는 식 (5)와 같은 이송확산 방정식 형태인 Fokker-Planck 방정식을 만족한다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} + \frac{\partial(VC)}{\partial y} = \frac{\partial^2(D_{xx}C)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(D_{xy}C)}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2(D_{yy}C)}{\partial y^2} \quad (5)$$

$$U = u + \frac{\partial D_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial D_{xy}}{\partial y} + \frac{D_{xx}}{h} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{D_{xy}}{h} \frac{\partial h}{\partial y} \quad (6)$$

$$V = v + \frac{\partial D_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial D_{xy}}{\partial x} + \frac{D_{yy}}{h} \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{D_{xy}}{h} \frac{\partial h}{\partial x} \quad (7)$$

$$D_{xx} = D_L \cos^2 \theta + D_T \sin^2 \theta \quad (8)$$

$$D_{yy} = D_L \sin^2 \theta + D_T \cos^2 \theta \quad (9)$$

여기서 D_L 는 종분산계수, D_T 는 횡분산계수이다..

3. 수치모의

수치모의를 위한 광역도와 해수교환을 산정을 위한 초기입자 위치도는 그림 1과 같으며, 해수유동 수치실험에서 얻어진 창조 및 낙조 시 얻어진 유속 벡터도는 그림 2와 같다.

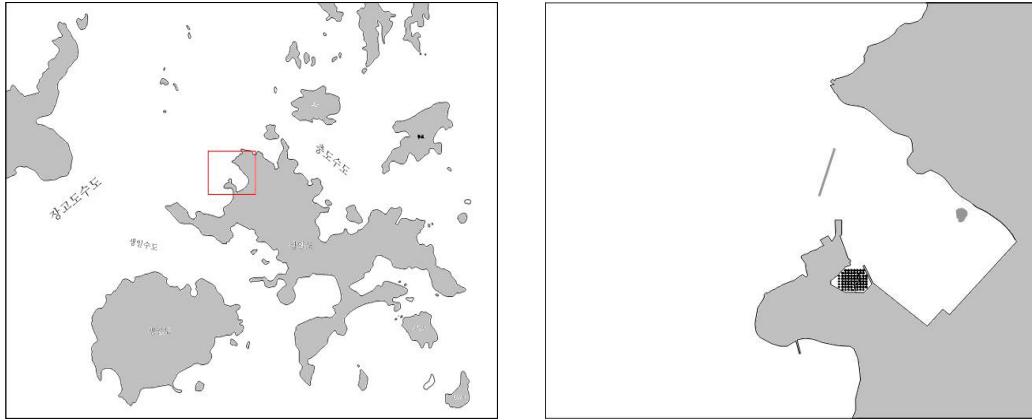


그림 1. 수치모의를 위한 광역도 및 해수교환율 산정을 위한 초기입자 위치도

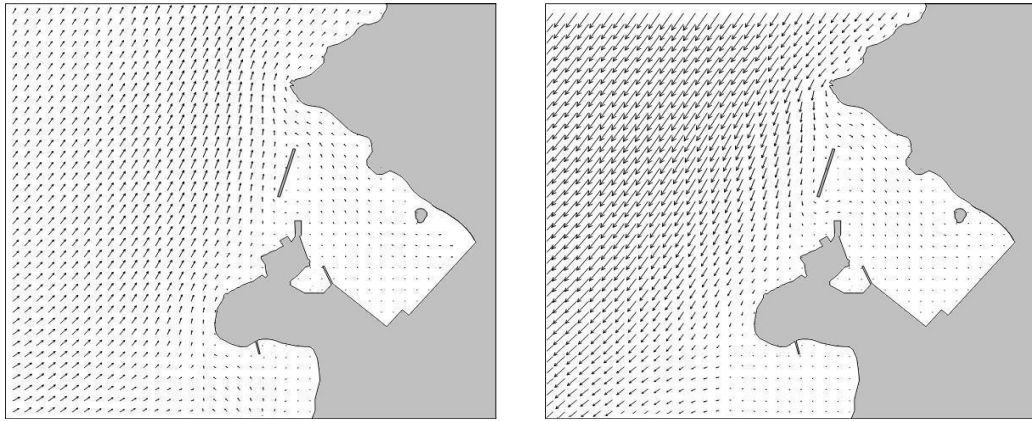


그림 2. 창조 및 낙조 유속 벡터도

해수교환율 산정을 위해 어느 특정 시간의 해수교환율은 다음과 같은 식을 사용한다.

$$\text{해수교환율} = \left[1 - \frac{\text{잔류 입자수}}{\text{초기투입 입자수}} \right] \times 100\% \quad (10)$$

물체를 기준으로 초기투입영역의 잔류 입자수 및 해수교환율은 표 1과 같다.

표 1. 초기 투입영역 내의 잔류 입자수 및 해수교환율

시간 (hr)	잔류 입자수	현재잔류 입자수/초기투입입자수 (%)	해수교환율 (%)
0	336	100.0	-
1	94	28.0	72.0
2	68	20.2	79.8
3	44	13.1	86.9
4	38	11.3	88.7
5	36	10.7	89.3
해수교환율		89.3%	

평균 대조기를 대상으로 한 돌제를 기준으로 한 해수교환율은 89.3%로 나타났으며 해수유동이 활발하게 발생하고 있음을 알 수 있다. 그림 3은 초기 1시간 후와 5시간 후의 입자분포도를 나타내고 있다.



그림 3. 1시간 후와 5시간 후의 입자 분포도

4. 결 론

비선형 천수방정식을 이용하여 도장항 일대의 해수유동을 재현하였으며 해수유동의 결과 값을 이용하여 이송-확산 방정식의 형태를 지니는 Fokker - Planck 방정식을 사용하여 해수교환 수치실험을 하였다. 평균 대조기를 대상으로 돌제를 기준으로 항내 및 항외의 해수교환율은 89.3%로 나타났으며 비교적 해수유동이 활발하게 발생하고 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청, 서울특별시 및 (주)대영엔지니어링의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Abbott, M.B., McCowan, A.D. and Warren, I.R. (1981) "Numerical modeling of free-surface flows that are two-dimensional in plan." *Transport Models for Inland and Coastal Waters*, edited by H.B. Fisher, Academic Press, pp. 222-283.
2. Cho, Y.-S. and Yoon, S.-B. (1998) "A modified leap-frog scheme for linear shallow-water equations." *Coastal Engineering Journal*, Vol. 40, No. 2, pp. 191-205.
3. Hannes Risken, (1989) "The Fokker - Planck Equation: Methods of Solutions and Applications", 2nd edition, Springer Series in Synergetics, Springer