

2차원 이송-확산 방정식을 이용한 해안에서의 부유사 해석 Analysis of Suspended Load using A Two-Dimensional Advection-Diffusion Equation in Coastal Zone

강규영* · 김수진** · 조용식***
Kang, Gyu-Young · Kim, Su-Jin · Cho, Yong-Sik

Abstract

Numerical simulations on the suspended load in the Do jang fish port are carried out. Suspended load is analysed by using the two-dimensional advection-diffusion equation. To describe behaviors of a pollutant in costal zone, a split-operator method is applied to the numerical model. The advection part is fisrt solved by SOWMAC and then the diffusion part is solved by a three-level locally implicit scheme.

key words : advection, diffusion, split operator technique, SOWMAC, suspended load

1. 서 론

해안구조물 건설로 인하여 해안에서 발생하는 오염물은 해안생태계에 심각한 영향을 초래하며, 오염된 해수를 원상태로 회복시키기 위해서는 막대한 시간과 돈이 필요하다. 그러므로 해수의 흐름을 파악, 발생된 오염물의 이동경로를 예측하여 오염물 확산을 방지 및 억제 하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 이송-확산방정식을 이송항과 확산항을 분리하여 각각의 특성에 맞는 해석기법을 사용하는 연산자 분리법(split-operator method)을 도입하였다. 2차원 이송-확산 모형을 수립하기 위하여 Komatsu 등(1997)이 제안한 SOMAC(second-order wave equation)방법을 사용하여 이송항을 해석한 후, Three-level Locally Implicit 이론(Hobson 등, 1996; 이정규 등, 1997)을 이용한 2차원 확산수치기법(Lee 등, 2004)을 적용하여 확산항을 해석하였다. 수치모의를 위하여 도장항 부근의 해수유동결과 자료를 근거로 하여 북방파제 건설로 인하여 발생하는 부유사의 이송 및 확산 양상을 예측 및 평가하였다.

2. 지배방정식

오염물의 이송-확산에 대한 농도의 연직방향의 변화를 무시하면 다음과 같은 2차원 수심 적분된 물질보존 방정식으로 표현할 수 있다(Falconer, 1991).

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial CU}{\partial x} + \frac{\partial CV}{\partial y} = \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} \left[HD_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} + HD_{xy} \frac{\partial C}{\partial y} \right] + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} \left[HD_{yx} \frac{\partial C}{\partial x} + HD_{yy} \frac{\partial C}{\partial y} \right] + q_c \quad (1)$$

여기서, C 는 수심평균 물질농도, U 와 V 는 각각 x , y 방향의 수심평균 유속이고, H 는 총 수심이며, D_{xx} , D_{xy} , D_{yx} , D_{yy} 는 수심평균 분산과 난류확산 계수의 x , y 방향 성분이다. q_c 는 source와 sink, 물질의 1차 감쇠 및 생성률, 전 운동학적 수송률을 고려한 항이다. 식(1)은 이송과 확산 과정을 별개의 연속적인 과정으로 가정하여 연산자 분리법(split operator approach)을 도입하면 다음과 같은 이송항과 확산항이 표현된다.

* 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail: ksdk@hanyang.ac.kr

** 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail: greensjk@hanmail.net

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

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial CU}{\partial x} + \frac{\partial CV}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} \left[HD_x \frac{\partial C}{\partial x} + HD_y \frac{\partial C}{\partial y} \right] + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} \left[HD_x \frac{\partial C}{\partial x} + HD_y \frac{\partial C}{\partial y} \right] + q_c \quad (3)$$

본 연구에서 이송항은 Komatsu 등(1997)이 제안한 SOWMAC 방법을, 확산항은 Hobson에 의해 제안된 Three-level Locally Implicit 이론(Hobson 등, 1996; 이정규 등, 1997)을 이용한 ADI기법을 이용하여 2차원 확산수치기법으로 해석한다.

3. 수치모의

해안구조물 공사 중 발생한 부유사에 따른 확산범위와 확산면적의 변화 양상을 알아보기 위해서 실제 해역에 적용하여 수치 모의를 실시하였다. 도장항 부근에 북방파제 건설로 인하여 발생하는 부유사 이송 및 확산 양상을 예측 하였으며, 부유사의 발생량이 절반으로 산정했을 경우의 저감대책에 따른 저감효과를 모의하였다. 부유사 발생량의 산정은 식(4)과 같다. 각 공종별로 부유사 발생량은 표 1과 같으며, 각 공종별 case에 따른 공사단계는 표 2와 같다.

$$W = \frac{Q_d}{T} \times TGU \quad (4)$$

여기서, Q_d 는 매립토량 또는 사석투하량이고, T 는 총 작업시간이며, TGU 는 발생원단위(kg/m³)이다.

표 1. 공사중 부유사 발생량 산정결과

공 종		작업물량 (m ³)	일일작업시간 (hr)	부유사 발생량 (kg/day)	
				저감전	저감후
북 방 파 제	사석 및 피복석투하	9,906	8	3,851	1,925
	기초지반 개량	37,959	8	27,274	13,637

표 2. Case 분류에 따른 공사단계

분 류	공사단계
Case 1	북방파제 공사시 (사석 및 피복석)
Case 2	북방파제 공사시 (기초지반 개량)

수치모의는 공사 시 발생하는 부유사의 확산이 준평형상태(35일)가 될 때까지 수행하였다. 대상이 되는 해역인 도장항의 광역도와 상세도는 그림 1과 같으며, 상세도에서 부유사 발생위치를 나타내었다. 그림 2에서는 부유사 최대 확산범위를 저감전과 저감후로 나누어 표현하였으며, 표 3에서는 부유사 농도별 저감전과 저감후의 확산면적과 면적감소율을 나타내었다.

부유사 확산면적은 Case 1의 경우 저감후가 저감전보다 약 60%로 감소하는 효과가 나타났으며, Case 2의 경우 저감후가 저감전보다 약 30% 감소함을 확인 할 수 있다. 표 3에서는 상대농도 값이 커질수록 면적감소율이 커지고 있다. 이는 부유사량만으로 부유사의 확산범위를 예측하기는 어려우며, 수치모의를 통해 부유사량이 확산하는 경향을 예측하는 것이 해안 오염물질의 확산방지에 중요한 자료가 될 수 있음을 나타낸다.

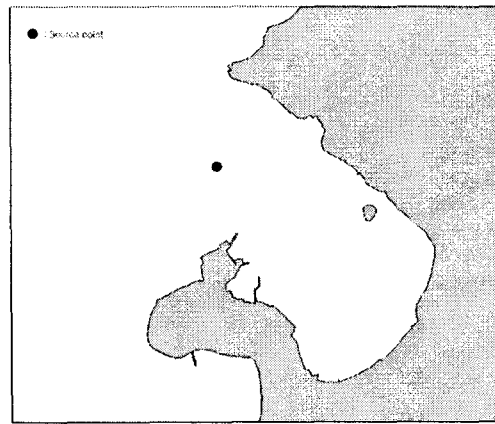
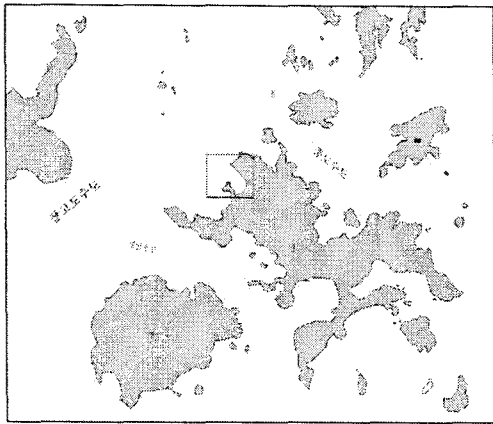
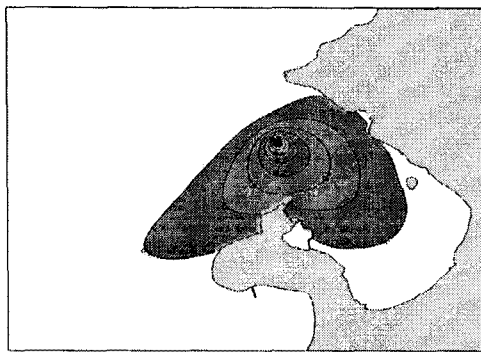
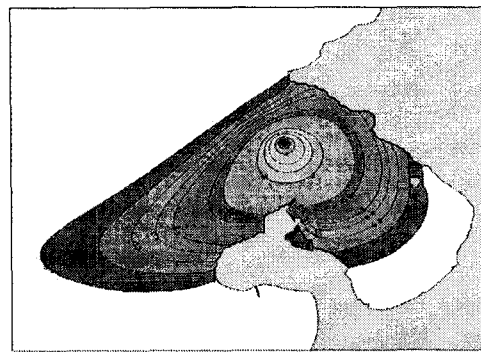


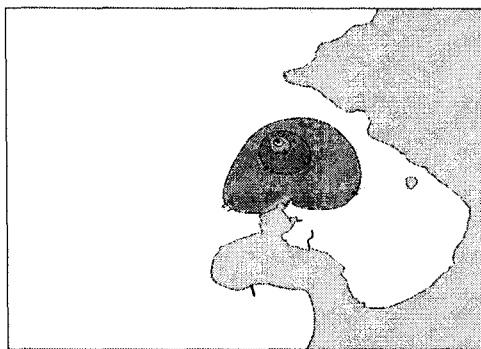
그림 1. 수치모의를 위한 광역도와 상세도



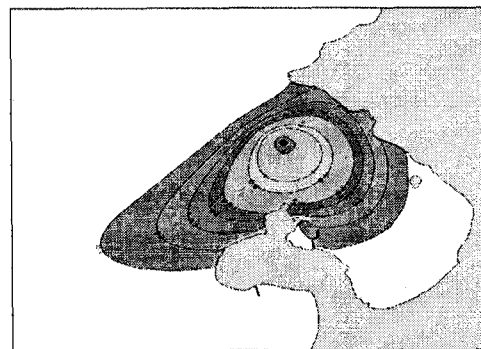
(a) Case 1 (저감전)



(b) Case 2 (저감전)



(c) Case 1 (저감후)



(d) Case 2 (저감후)

그림 2. 부유사의 확산분포 (단위: ppm)

표 3. 부유사 확산면적

분류	농도 (mg/l)	확산면적 (km ²)		면적 감소율 (%)
		저감전	저감후	
Case 1	0.1 이상	0.38	0.15	60.5%
	0.2 이상	0.15	0.03	80.0%
	0.3 이상	0.06	0.00	100.0%
	0.5 이상	0.01	0.00	100.0%
Case 2	0.1 이상	0.67	0.50	25.4%
	0.2 이상	0.50	0.34	32.0%
	0.3 이상	0.41	0.25	39.0%
	0.5 이상	0.29	0.14	51.7%

4. 결론

본 연구에서는 부유사 이송-확산 모의를 위하여 SOWMAC 방법을 사용하여 이송항을 계산하였고, Three-level Locally Implicit 기법을 사용하여 확산항을 계산하였다. 실제해역에서 수치해석을 통해 부유사의 확산면적 및 이동경로를 확인 할 수 있었으며, 부유사의 농도를 모의 할 수 있었다. 초기 부유사량의 차이에 따라 부유사의 확산면적이 달라짐을 알 수 있었다. 향후 대상지역의 해안구조물 건설로 인한 오염물 방지 대책을 수립할 경우 본 연구결과를 참고 자료로 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 해양수산부 해양한국발전프로그램(KSGP) 연구개발사업에 의해 지원되었습니다.

참고 문헌

1. 이길성, 강주환, (1987). "대류분산모형에 관한 유한차분근사의 특성." 대한토목학회논문집, 제7권, 제4호, pp. 147-157
2. 이정규, 강창구, 이종인, (1997). "연산자 분리기법에 의한 1차원 이송-확산방정식의 수치모형." 한국수자원학회논문집, Vol. 30, pp. 143-154.
3. 이정규, 김광기, (2001). "2차원 수치모형을 이용한 오염물질의 거동해석." 대한토목학회논문집, 제22권, 제 5-B호, pp. 639-648.
4. Cheng, R.T., Vicenzo, C. and Milford, S.N., (1984). "Eulerian-Lagrangian solution of convection -dispersion equation in natural coordinates." Water Resources Research, Vol. 20, No. 7, pp. 944-952.
5. Falconer, R.A., (1991). "Review of modeling flow and pollutant transport processes in hydraulic basins." Proc. of 1st Int. Conf. Water Quality Modelings in the Inland Environ, BHRA, Fluid Engineering, Bournemouth, Paper J1, pp. 322-344.
6. Hobson, J.M., Wood, N., and Mason, P.J., (1996). "A new finite-difference Diffusion Scheme." J. of Computational physics, Vol. 125, pp. 16-25.
7. Komatsu T., Ohgushi K. and Asai K., (1997). "Refined numerical scheme for advective transport in diffusion simulation." J. of Hydraulic Engineering, ASCE, 123(1), pp. 41-50.
8. Lee, Hye-Jin, Lee, Bong-Hee, and Cho, Yong-Sik., (2004). "Numerical Study for Transprot of a Pollutant in Coastal Zone." J. of Ocean Science and Technology, Vol. 1, No. 2, pp. 134-139.