이차원 수치모형을 이용한 준설 탁도플룸의 혼합거동 연구

박재현 · 김영도*⁺ · 이만수**

인제대학교 토목도시공학부

* 인제대학교 환경공학부(낙동강유역환경연구센터)

** 현대건설(주) 해외사업본부

A Study on Mixing Behavior of Dredging Turbidity Plume Using Two-Dimensional Numerical Model

Park, Jae Hyeon · Kim, Young Do*⁺ · Lee, Man Soo**

Department of Civil and Urban Engineering, Inje University

* Department of Environmental Science and Engineering (NRERC), Inje University

** Hyundai Engineering & Construction

요 약

본 연구에서는 충남 서산에 위치한 부남호에서 준설시 발생하는 탁도플룸의 이송 및 확산과정을 2차원 수치모형인 RMA2 모형과 RMA4 모형을 이용하여 예측하였으며, 다항목수질모니터링시스템(YSI6600EDS)을 이용해 측정된 탁도분포와 비교하였다. 현장조사에서는 부남호에서 준설작업이 진행됨에 따라 인근지점에서의 연직방향 탁도 분포를 측정하였으며 표층에서 거리에 따른 수평방향 탁도 분포를 측정하였다. 부남호 전 구간에 대해서 2차원 흐름해석 모형인 RMA2 모형을 적용하였고, 실제 준설작업이 이루어지는 2호지에 대해서 RMA2 모형과 RMA4 모형을 적용하였다. 준설지점의 초기 농도값에 대한 저수지 내 각 지점에서의 거리에 따른 농도비를 현장측정 결과와 비교한 결과, 수치해석에 의한 탁도플룸의 이송확산 모의 결과는 준설작업에 대한 환경영향 범위를 예측하는 데에 적용될 수 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 준설, 탁도플룸, RMA2, RMA4, 이송확산

Abstract

The numerical simulations were performed to analyze the advection-diffusion processes of dredging-induced turbidity plume using RMA2 and RMA4 models in Bunam reservoir, Seosan, Chungnam. Field survey was also performed to measure the turbidity using the multi water quality monitoring system (YSI6600EDS). In the field survey, the vertical and horizontal distributions of the turbidity were measured during the dredging operation in Bunam reservoir. RMA2 model was used to simulate the velocity distributions in both the whole domain and the 2nd part of Bunam reservoir. RMA4 model was also used to simulate the concentration distribution in only the 2nd part of Bunam reservoir, where the dredging work were conducted. The comparison of the simulation results with the field data for the advection-diffusion of the turbidity plume using the concentration ratio concepts shows that the numerical model can be applied to analyze the environmental impact of dredging works.

Keywords : dredging, turbidity plume, RMA2, RMA4, advection-diffusion

1. 서론

연안이나 하천, 호소 등에서 다양한 형태의 공사 시 준설작업으로 인해 많은 양의 부유토사가 발생되며 이러한 부유토사의 이송 및 확산은 주변수체의 환경 변화를 초래한다. 국내에서는 이와 같은 부유탁수가 주변수체에 미치는 영향을 최소화하고 준설효율을 최대화하기

위한 기초연구가 미비한 실정이다(Park et al., 2011). 부유토사는 준설작업 시 커터헤드(cutter head)가 바닥면에 닿는 순간부터 작동을 멈출 때까지 계속하여 발생하며, 이러한 과정들이 반복되면서 많은 양의 탁도플룸이 형성된다(Chae et al., 2009). 이렇게 발생한 탁도플룸은 수체흐름에 따라 이송 및 확산되며, 부유토사에는 퇴적토로부터 발생하는 유독성 오염물질을 포함할 수도 있으

⁺ To whom correspondence should be addressed.
ydkim@inje.ac.kr

므로 인근 생태계에 악영향을 유발할 수도 있다. 따라서 준설작업에 있어 탁도플룸의 이송 및 확산의 범위를 사전에 예측하고 현장 여건에 알맞게 최적의 방지 대책을 수립하기 위해서는 수치해석에 대한 현장에서의 검증 연구가 필요하다(Kim et al., 2009). 또한 준설효율과 환경측면을 동시에 고려한 준설사업을 진행하기 위해서는 기계장비들의 노후와 운영체제의 미흡함으로 인하여 발생하는 어려움을 최적 준설공정 적용 및 장비운영 효율화를 통해 해결하기 위한 노력이 필요하다. 그러나 준설이 진행되고 있는 연안지역과 하천준설에 있어서 이와 같은 고효율 친환경 준설작업을 수행하기란 쉽지 않다(Chae et al., 2009). 준설효율과 환경영향을 고려한 최적의 준설작업을 수행하기 위해서는 준설시 그 주변의 유동장 특성을 파악하여 부유사의 확산정도를 정확히 예측하고, 이를 해결할 수 있는 연구가 선행되어야 한다(Park et al., 2011). 또한 상수원 수질관리를 위해 유기오염물질의 제거 및 처리에 있어서 환경영향을 최소화하는 준설방법에 관한 기술개발의 필요성이 제기되고 있다(Jung, 2006).

부남호는 지난 1995년 8월 서산B지구 간척농지 개발 사업에 의해 인공 담수호로 조성된 후 오염이 조속되어 농업용수 수질 기준에도 초과되어 수질개선이 지속적으로 요구되어 왔다. 이에 충청남도는 수질개선을 통한 농업용수 확보와 태안기업도시에 필요한 성토재 공급을 위해 부남호 준설을 시행한 바 있다. 본 연구에서 현장 조사를 수행한 부남호에서의 시험준설은 준설사업 시행 인가조건에 따른 저니토 고화시험 및 준설공법을 검증하기 위해 시행되었다. 저니토를 고형화하여 재활용할 계획으로 검증절차를 이행하였고, 펌프흡입식 준설공법의 적정성을 분석하고 수질을 개선시키고자 하였다. Fig. 1은 부남호 시험준설 대상구역을 나타낸 것이다(HU, 2005).

Fig. 1. Bunam Reservoir Experimental Dredging Zone (HU, 2005)

부남호 시험준설 지역은 Fig. 1에 나타낸 구간 중에 2호지에 해당하며 평균압송거리는 500 m이다. 시험준설 물량은 150,000 m³로서 조립토가 90,000 m³이고 세립토가 60,000 m³이다. 시험준설에 사용된 준설선은 2,000 HP급 조립준설선이며, 준설기간은 2008년 2월부터 6월

까지이다. 정체성 수역인 부남호는 1~5호지로 구성되어 있으며 갑문과 유사한 형태의 구조물로 연결되어 있다. 각 호지내 면적은 1호지가 860,000 m², 2호지가 4,081,000 m², 3호지가 3,986,000 m², 4호지가 4,580,000 m², 5호지가 1,095,000 m²이고 유입유량은 각 호지별로 년 평균 1.4 CMS, 0.86 CMS, 0.33 CMS, 0.31 CMS, 0.63 CMS이다. 본 연구에서는 흐름이 크지 않은 호소 수역에서의 부유사의 이송 및 확산을 2차원 수치모형인 RMA2 모형과 RMA4 모형을 이용하여 모의하고, 이를 현장 조사결과와 비교 및 분석함으로써 준설에 따른 탁도플룸의 영향범위를 예측하고, 사용된 수치모형의 적용성을 검토하고자 하였다.

2. 연구방법

준설 중에 저니토 미세입자의 현탁에 의한 탁도의 증가와 준설시 입자에 부착된 영양염이나 악성 화학 물질의 방출로 인해 수질 악화를 동반하게 된다. 이러한 골채채취 과정에서 야기되는 부유물질에 의한 탁도의 증가는 수중의 빛 투과를 감소시켜, 부유성 및 부착조류의 생육을 저해함으로써 1차 생산자의 감소로 먹이사슬이 파괴된다. 이는 수생생물, 저서무척추동물 뿐만 아니라 어류의 현존량 감소와 다양한 종의 구성에 직간접적으로 영향을 미치게 된다(National, 2005). 이처럼 준설토는 물보다 무겁기 때문에 해저바닥으로 바로 침전되나, 가벼운 점토질이나 실트와 같은 미세입자 퇴적물은 이송·확산과정으로 환경적 영향을 미치게 된다(Kim et al., 2009).

본 연구는 크게 수치모형에 의한 흐름 및 확산 해석 연구와 실제 준설현장에서의 탁도 조사 연구로 나눌 수 있으며, 전체적인 연구수행에 따른 흐름도는 Fig. 2와 같다. 현장 조사에서는 다항목수질모니터링시스템(YSI6600EDS)과 현장용 GPS를 이용하여 위치에 따른 탁도분포를 측정하였다(Fig. 3 참조). Fig. 4는 현장조사시 촬영한 사진으로서 준설선과 부유토사 발생현황 및 탁도측정 모습을 나타낸 것이다. 탁도 측정은 준설선을 중심으로 부유토사가 발생하여 퍼져 나가는 방향을 따라가며 커터헤드의 영향을 고려하기 위해 연직방향으로 측정하였으며, 수표면에서의 퍼짐 정도를 분석하기 위해 거리에 따른 표층에서의 탁도 측정을 수행하였다. 채집된 시료의 부유물농도(SS)에 대한 분석방법은 수질오염공정시험법에 따라 미리 무게를 단 유리섬유 거름종이(GF/C)를 여과기에 부착하여 일정량의 시료를 여과 후 건조하여 무게를 달아 여과전후의 유리섬유 거름종이의 무게차를 산출하여 SS의 농도를 구하였다.

Fig. 2. Procedures for Field Experiment and Numerical Simulation

Fig. 3. Multi Water Quality Monitoring System (YSI6600EDS)

(a) Dredger

(b) Turbidity Plume

(c) Turbidity Measurement

Fig. 4. Field Experiment for Dredging Turbidity Plume

3. 수치모형 개요

준설시 발생하는 부유토사의 환경영향 예측에 관한 연구사례를 살펴보면 다음과 같다. Bohlen (1978)은 준설 플룸의 혼합거동 예측에 관한 연구로서 준설 탁도플룸에 관한 간단한 수학적해를 제안하였고, Kuo et al. (1985)과 Kuo and Hayes(1991)에 의해 여러 준설 공중에 따른 수리적인 해석해를 바탕으로 한 탁도플룸에 관한 수치해석모형이 개발된 바 있다. 국내에서는 Kang et al. (2004)이 준설선 인근에서 발생하는 탁도플룸의 근역혼합거동을 D-CORMIX를 이용하여 해석하였고, Jung et

al. (2004)은 이와 같은 부유사의 확산거동에 관한 예측시스템을 개발하였다. 또한 Kang et al. (2006)은 전방추적법에 의한 이송모의와 유한차분법에 의한 확산모의를 연계한 모형을 이용하여 준설플룸의 3차원적인 거동을 모의한 바 있으며, Cho et al. (2002)은 도시하천의 하상 퇴적도 준설에 따른 수질변화를 예측하기 위해 유한차분법을 이용한 수치모형을 개발하였고, Kim et al. (2009)은 입자추적모형에 비하여 계산효율이 높은 퍼프모형을 개발하여 준설플룸의 혼합거동을 모의하는 방안을 제시하였다. 이와 같은 연구들은 준설시 발생하는 탁도플룸의 환경영향을 평가하기 위한 혼합거동 예측에

관한 것으로서 실제 준설 현장에서의 현장 조사 연구를 통해 검증된 사례는 매우 적다.

본 연구에서는 부남호 저수지 내에서의 흐름 해석을 위해서 RMA2 모형을 사용하였고, 공사 중 발생하는 부유토사의 혼합거동 해석을 위해서 RMA4 모형을 사용하였다. RMA2 모형은 미공병단에서 1973년에 처음 개발

된 이래로, 섬을 포함한 하천 수로구간의 흐름, 교각 부근의 흐름, 유수단면 확대 및 축소부를 포함한 하천구간의 흐름 등, 하천, 저수지, 하구의 수리동역학적 해석에 널리 쓰여 왔다. 모형의 지배방정식은 Navier-Stokes 방정식과 연속방정식을 수심방향으로 적분한 2차원 천수 방정식으로서 식 (1)~(3)과 같다(EMRL, 2002).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gun^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \Psi - 2h\omega v \sin \phi = 0 \quad (2)$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_x \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{gvn^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \sin \Psi + 2h\omega u \sin \phi = 0 \quad (3)$$

여기서, h 는 수심, u, v 는 x, y 방향의 유속, ρ 는 밀도, g 는 중력가속도, a 는 하상표고, n 는 Manning의 조도계수, ω 는 지구자전각속도, E_{xx}, E_{yy} 는 x, y 방향 평면의 법선 와점성계수, E_{xy}, E_{yx} 는 x, y 방향 평면의 접선 와점성계수, ζ 는 바람응력계수, V_a 는 풍속, Ψ 는 풍향, ϕ 는 위도이다. RMA2 모형은 이전 시간단계의 해석 결과를 사용하여 연속적인 모의가 가능한 재시작 기능이 있고, 젖음(wetting)과 마름(drying)과정, 지구전향력(coriolis force), 바람 응력을 고려할 수 있다. 와점성계수, Manning 계수, 온도 등 모형매개변수의 부여방법이 다양하게 제공되며, 수공구조물을 고려할 수 있고, 임의 단면에 대한 통과유량을 계산하여 수량 보존여부를 검사할 수 있다. 수렴조건 설정 등과 같은 수치해석을 위한 사용자 입력을 가능하며, 경계조건을 다양하게 부여할 수 있다. 또한 RMA2 모형은 수치해석기법으로 가중잔차 Galerkin 방법을 사용하는 유한요소모형이다. 요소는 1차원 선 요소 혹은 삼각형이나 사변형 요소를 사용할 수 있으며, 포물선형 곡선이 한 변으로 사용될 수 있다. 형상함수는 유속에 대해서는 2차함수이며, 수위에 대해서는 1차함수이다. 공간적분방법으로는 Gauss적분법이 사용되며, 시간미분항은 비선형 유한차분 근사법이 사용된다. 수치기법은 완전음해법으로써, 각 시간 단계에서의 비선형 연립방정식을 Newton-Raphson 반복계산법을 사용하여 해를 구한다(EMRL, 2002).

RMA4 모형은 오염물질의 이송확산을 해석하는 모형으로서 Norton et al. (1973)에 의해 처음 개발되어 WES의 여러 연구자들에 의해 많은 개선이 이루어져왔다(Thomas and McAnally, 1991). RMA4 모형은 주어진 격자의 속도장을 정의하기 위하여 RMA2의 수리동역학적

인 해를 사용한다. 사용자가 지정한 격자점 입력이 필요한데, 이 격자점 입력은 질량 또는 농도로 정의되며 각 오염물질의 소멸율에 의해서도 정의된다. RMA4 모형의 계산결과는 SMS 모형의 후처리기능을 사용하여 여러 형태로 출력되어 검토할 수 있다(SNU, 2004). RMA4 모형은 비압축성 유체에서 보존성물질의 3차원 이송확산 방정식을 수심적분하여 식 (4)와 이차원 이송확산방정식을 지배방정식으로 사용한다(EMRL, 2002).

$$h \left(\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \sigma + kC \right) = 0 \quad (4)$$

여기서, C 는 물질의 농도, D_x 와 D_y 는 각각 x 와 y 방향의 종분산계수, σ 는 물질의 질량 공급원, k 는 생·화학적 반응에 의한 물질의 소멸율을 나타낸다. RMA4 모형도 RMA2 모형과 마찬가지로 수치기법으로 Galerkin 방법을 사용한다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 5는 부남호 준설현장과 준설선 부근을 중심으로 탁도분포를 측정한 지점을 나타낸 것으로 청색 화살표는 유속 방향을 나타낸 것이다. Fig. 6은 측정된 연직분포 탁도 값을 나타낸 것으로 지점별로 수심이 다르지만, 커터헤드와 가까이 있는 지점일수록 높은 탁도분포를 나타내었다. 이는 커터헤드와 가까이 있는 S3, S10와 멀리 떨어져있는 S4를 비교하면 쉽게 알 수 있다.

Fig. 5. Measuring Sites for Vertical Turbidity Distribution

Fig. 6. Vertical Turbidity Distribution at Measuring Sites

Fig. 6. Vertical Turbidity Distribution at Measuring Sites (continued)

또한 2차원 수치해석 결과와의 비교를 위해 표층 탁도 분포는 준설선을 중심으로 우에서 좌로 이동하며 측정하였다(Fig. 7 참조). 표층 탁도 분포 역시 준설선의

커터헤드와 가까울수록 높은 탁도 분포를 나타내었으나, 흐름방향에 반대인 1, 2 지점은 준설선에서 가까워도 탁도가 낮은 것을 확인할 수 있었다(Fig. 8 참조).

Fig. 7. Measuring Sites for Horizontal Turbidity Distribution

Fig. 8. Horizontal Turbidity Distribution at Measuring Sites

2차원 흐름모형인 RMA2 모형과 이송확산모형인 RMA4 모형을 부남호에 적용하여 준설 공사 중 발생 가능한 부유토사 확산거동에 대해 분석하였다. 부남호 전체 구간과 준설구간이 이루어지는 2호지 구간을 대상영역으로 설정하였다. 흐름 해석을 위한 상·하류 경계조건은 부남호 배수갑문 지점에서 측정된 2006년의 실측 수위 및 유량 값을 이용하였다. 유역면적이 큰 1호지의 경우 전체 유입유량의 40%이상을 차지하고 있으며, 유입유량은 강우량이 많은 6월과 7월에 집중되는 경향을 나타내고 있다. 부남호는 현재 EL. -2.0 m의 수위로 관리되고 있으며, 강우유출 및 농업용수 이용 등으로 인해 최소 EL. -2.3 m에서부터 최대 EL. -1.4 m의 수위범위를 나타내고 있다. 2차원 흐름을 예측하는 RMA2 모형의 주요 매개변수는 Manning의 조도계수와 와점성계수(eddy viscosity)이다. Manning 계수는 지형, 하상 구성물

질의 종류, 식생, 흐름조건 등에 따라 상이한 값을 가지게 되는데, 본 연구에서는 Manning의 조도계수로 0.025를 사용하였으며, 와점성계수를 등방성이라 가정하고 2,000 Ns/m을 사용하였다. 이송확산모형인 RMA4 모형의 주요 매개변수로는 확산계수가 있다. 본 연구에서는 x, y 방향 확산계수를 동일하게 $1 \text{ m}^2/\text{s}$ 를 사용하였다. 그림 9는 부남호 전체 구간의 2차원 유한요소망을 도시한 것이다. 수치모의를 위한 유한요소는 삼각형 요소 2,573개, 사각형 요소 1,978개이며, 절점의 수는 11,486개이다. Fig. 9 ~ Fig. 13은 각각 수심분포도, 수위분포도, 유속분포도, 유속벡터도를 나타내고 있다. 부남호 전체 구간에 대한 흐름해석을 수행하여, 이 결과를 이용하여 준설작업이 이루어지고 있는 2호지의 상·하류 경계조건을 설정하였다.

Fig. 9. Finite Element Mesh (Bunam Reservoir)

Fig. 10. Water Depth Distribution (Bunam Reservoir)

Fig. 11. Water Elevation Distribution (Bunam Reservoir)

Fig. 12. Velocity Distribution
(Bunam Reservoir)

Fig. 13. Velocity Vector
(Bunam Reservoir)

Fig. 14는 준설작업이 시행되고 있는 부남호 2호지의 유한요소망이다. 모의에 필요한 매개변수 값들은 앞에서 설명한바와 같이 같은 값을 적용하였고, 유한요소는 삼각형 요소 2,440개, 절점의 수는 5039개이다. Fig. 14 ~

Fig. 18은 각각 부남호 2호지의 수심분포도, 수위분포도, 유속분포도, 유속벡터도를 나타낸 것이며, Fig. 19는 준설이 이루어지는 부분에서의 유속벡터도를 확대한 것이다.

Fig. 14. Finite Element Mesh
(Bunam Reservoir 2nd Region)

Fig. 15. Water Depth Distribution
(Bunam Reservoir 2nd Region)

Fig. 16. Water Elevation Distribution
(Bunam Reservoir 2nd Region)

Fig. 17. Velocity Distribution
(Bunam Reservoir 2nd Region)

Fig. 18. Velocity Vector
(Bunam Reservoir 2nd Region)

Fig. 19. Velocity Vector
(Dredging Region)

2차원 이송확산모형인 RMA4를 이용하여 준설 시 발생하는 부유토사의 혼합거동 모의를 수행하였다. Fig. 20에 도시된 바와 같이 준설이 이루어지는 지점을 따라 현장조사시 준설선 인접지점에서 측정한 탁도를 초기농도로 설정하고, 부남호 2호지 내에서의 부유사 거동을 모의한 결과를 시간에 따라 (a)~(d)에 도시하였다. 시간

이 지남에 따라 넓게 퍼지는 것을 볼 수 있으며 물의 흐름에 의한 이송보다는 쌍방향으로 퍼지는 확산이 일어나는 것을 확인할 수 있다. 준설 시 발생하는 부유토사의 농도분포는 준설지점의 초기 농도값에 대한 저수지 내 각 지점에서의 거리에 따른 농도비(%)를 이용하여 나타내었다.

Fig. 20. Mixing Behaviour of Turbidity Plume

Fig. 21은 준설지점으로부터 거리에 따른 부유토사의 농도비를 현장측정 결과와 수치해석 결과를 비교한 것이다. 현장측정결과에서는 준설선으로부터 거리가 멀어질수록 급격하게 농도가 낮아지는 경향을 확인할 수 있

으며, 수치해석 결과가 이와 같은 현장측정 결과와 같은 경향을 나타내고 있으므로, 준설 영향의 예측에 이와 같은 2차원 수치모형이 적용성이 높다고 판단된다.

Fig. 21. Comparison of Simulation Result with Field Data

5. 결 론

본 연구에서는 2차원 수치해석 모형을 이용하여 준설 시 발생하는 부유토사의 이송 및 확산과정에 따른 환경 영향 범위를 예측하고자 하였다. 또한 수치해석 결과와의 비교 및 검토를 위해 준설이 진행 중인 부남호에서 현장조사를 수행하였다. 준설선 부근을 중심으로 이루어진 현장조사 결과, 연직방향 탁도분포는 준설선의 커터헤드와 가까이 있는 지점일수록 높은 탁도분포를 나타내었다. 또한 표층 탁도 분포를 준설선을 중심으로 위에서 좌로 이동하며 측정하였는데 표층 탁도 분포 역시 준설선의 커터헤드와 가까이 있을수록 높은 탁도 분포를 나타내었으며 준설선으로부터 멀어질수록 탁도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

2차원 흐름모형인 RMA2를 이용하여 수심분포, 수위분포, 유속분포, 유속벡터를 분석하고 2차원 이송확산모형인 RMA4를 이용하여 준설 시 발생하는 부유토사의 혼합거동 모의를 수행하였다. 수치해석 결과 정체수역인 부남호는 부유토사가 물 흐름에 의한 이송보다는 확산에 의한 영향을 받는 것으로 분석되었다. 준설지점의 초기 농도 값에 대한 저수지 내 각 지점에서의 거리에 따른 농도비를 현장측정 결과와 비교한 결과, 현장측정결과와 수치해석결과 모두 준설선에서 거리가 멀어질수록 급격히 농도가 낮아지는 경향을 나타내었다. 수치해석 결과가 허용할 수 있는 오차범위안에서 현장측정값과 유사한 경향을 나타내고 있으므로 이와 같은 2차원 수치모형에 의한 이송확산 모의 결과는 준설 탁도플룸의 환경영향을 예측하는 데에 적용될 수 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(C106A1000007-06A0600000711)에 의해 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

References

- Bohlen, WF (1978). Factors governing the distribution of dredge resuspended sediment, *Proc. of 16th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, pp. 2001-2019.
- Chae, DS, Park, JH, Kim, YD, Kim MH, and Lee, MS (2009). Analysis of dredging efficiency for operation of dredging cutter head, *J. of the Korean Geoenvironmental Society*, 10(5), pp. 5-9.
- Cho, HJ, Lee, BH, Kim, JS, and Lee, KB (2002). Prediction of water quality variation caused by dredging urban river-bed, *J. of Korea Water Resources Association*, 35(2), pp. 137-148.
- EMRL (2002). *SMS Surface Water Modeling System Tutorial Version 8.0*. Brigham Young University, pp. 1-20.
- Hanseou University (HU) (2005). *A Report of Water Quality Improvement Project in Bunam Reservoir*.
- Jung, TS, Kim, TS, and Kang, SW (2004). A prediction system of SS induced by dredging, *J. of the Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 16(1), pp. 47-55.
- Jung, YJ (2006). Survey on the contaminated sediments on lake Paldang, *J. of Wetlands Research*, 6(4), pp. 49-58.
- Kang, SW, Kang, IN, and Lee, JL (2006). 3-D dispersive transport model for turbidity plume induced by dredging operation, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 26(5B), pp. 557-562.
- Kang, SW, Kim, SI, Kang, IN, and Jung, TS (2004). A numerical simulation for initial dispersion of dredged material, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(1B), pp. 63-68.
- Kim, YD, Park, JH, and Lee, MS (2009). Simulation of mixing behavior for dredging plume using puff model, *J. of Korea Water Resources Association*, 42(10), pp. 891-896.
- Kuo, AY and Hayes, DF (1991). Model for turbidity plume induced by bucket dredge. *J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 117(6), pp. 610-623.
- Kuo, AY, Welch, CS, and Lukens, RJ (1985). Dredging induced turbidity plume model. *J. of Waterways, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 111(3), pp. 476-494.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2005). *A study on Effect of River Ecological System for Riverbed Disturbance. (Aggregate Extraction)*
- Norton, WR, IP, and Orlob, GT (1973). *A finite Element Model for Lower Granite Reservoir*. Water Resources Engineers, Inc., Walnut, California.
- Park, JH, Kim, YD, Chae, DS, and Lee, MS (2011). An experimental study on hydraulic characteristics around cutter-head for dredging, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 31(6B), pp. 491-497.
- Seoul National University (SNU) (2004). *Analysis and Modeling of River Flow and Bed Elevation Change*, 21st Century Frontier R&D Program, Sustainable Water Resources Research Center, Ministry of Science

and Technology, pp. 266-281.

Thomas, WA, and McAnally, WH, Jr (1991). *User's Manual for the Generalized Computer Program System: Open-channel Flow and Sedimentation TABS-2*, US Army Engineer Waterways Experiment

Station, Vicksburg, Mississippi.

- 논문접수일 : 2012년 12월 02일
- 심사의뢰일 : 2012년 12월 05일
- 심사완료일 : 2013년 02월 10일