

## Grab 준설 부유퇴적물의 초기확산 거동 Initial Dispersion of Resuspended Sediment by Grab Dredging

강시환<sup>1</sup> · 송원오<sup>1</sup> · 김상익<sup>1</sup> · 강인남<sup>1</sup> · 한성대<sup>2</sup>

See Whan Kang<sup>1</sup>, Won Oh Song<sup>1</sup>, Sang Ik Kim<sup>1</sup>, In Nam Kang<sup>1</sup> and Sung Dae Han<sup>2</sup>

### 1. 서 론

항만 준설 공사로 인하여 재부유된 퇴적물은 주변수에 따라 이송되고 확산되어 주위 경관을 해치고, 인근 어장이나 해안 생태계에도 영향을 미치게 된다(IADC/CEDA, 2000). 이러한 이유로 준설사업의 계획단계에서 고려해야하는 기술정보 판단자료는 부유사의 확산 범위와 거리별 농도 분포이다. 그러나 준설 작업 현장에서 발생하는 부유퇴적물의 확산거동은 주변수의 유속과 밀도성층, 준설토사특성, 준설 방법 등 여러 요인으로 인한 불확실성이 산재해 있어서 정확한 예측이 매우 어렵다(Dearnaley *et al.*, 1999). 이러한 문제는 세계도처에서 시행되고 있는 준설작업에 공히 선결되어야 할 과제이기 때문에 미 육군 공병단 등, 선진국을 중심으로 예측모형에 대한 연구가 수행되고 있으며, 일부 모형은 현장 테스트를 거쳐 실제로 활용되고 있다(Chase, D., 1994; Johnson *et al.*, 1999; Johnson *et al.*, 2000). 그러나, 국내에서는 이러한 문제에 대한 연구가 아직도 체계적으로 시도된 바가 없지만, 수리역학적 관점에서 볼 때 기본 메카니즘이 유사한 해양 방류하수 플룸의 이송·확산에 관한 연구가 최근에 강 등(2000), 김 등(2000a)에 의해 수행된 바 있다. Zhang, *et al.*(1999), 김 등(2000b)에 의하면 해양방류된 플룸의 초기확산 거동이 원역 이송·확산에 크게 영향을 미침을 민감도분석을 통해서 밝힌바 있다. 따라서 준설로 인해 재부유된 퇴적물의 원역 이송·확산을 보다 정확히 예측하기 위해서는 부유토사 발생원 인근에

서의 초기 근역확산에 대한 거동 특성을 보다 구체적으로 해석하고 파악할 필요가 있다. 본 연구에서는 군산항 준설 현장에서 관측된 부유 퇴적물의 발생량과 거리별 농도분포 자료(해양수산부, 2003)를 토대로 D-CORMIX모형(Doneker and Jirka, 1997)의 입력자료를 구성하여 준설현장 인근에서 부유사 플룸의 초기 확산거동을 모의계산하여 현장 관측자료와 비교하였다.

### 2. D-CORMIX모형의 Grab 준설 현장 적용

D-CORMIX(Dredge-CORMIX) 모형은 준설토의 해양 투기로 발생하는 고농도 방류 플룸의 거동을 해석하기 위해 미국 Cornell 대학과 환경청(USEPA)에 의해 공동으로 연구개발 되었으며, 기존의 CORMIX 모형에 부유퇴적물 입자의 침전 메카니즘을 추가하여 확장한 모형이다. D-CORMIX 모형은 연속적인 준설토 방류로 인한 부유퇴적물의 침강속도를 고려한 음부력(negative buoyancy)을 지닌 부유퇴적물 플룸의 거동해석이 가능하며, CORMIX의 입력자료와 같은 user-interface를 사용한다. D-CORMIX모형은 CORMIX 모형처럼 부력제트 유체의 길이축척 이론을 근간으로 Jet-Plume의 유체역학적 분류 알고리즘을 사용하게 되며 CORMIX1모형에서는 해저면에서 부력을 가지는 제트의 흐름을 고려하는 것에 비해 D-CORMIX는 수표면에서 음부력을 갖는 제트-플룸의 거동을 해석하게 된다. 그러므로 D-CORMIX 에 의해 모의

1 한국해양연구원 연안항만공학연구본부(Coastal and Harbor Engineering Research Center, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Seoul 426-744, Korea)

2 경남대학교 공과대학 토목환경공학부

된 플룸의 거동은 CORMIX1모형의 "mirror image"로 변형시켜 나타나는데, 즉, 해저면을 수표면으로 바꾸어서 음부력의 플룸이 해저면으로 가라앉는 양상을 모의하게 된다. Fig. 1은 이 모형에서 사용하고 있는 부력제트 흐름에 대한 알고리즘의 한 예로서 수표면에서 방출될 경우 근역에서 플룸의 거동형태를 보여주고 있다(CORMIX, 2003).

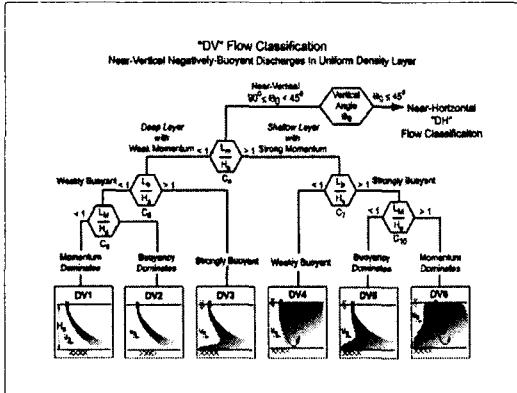


Fig. 1. The D-CORMIX flow classification scheme for negatively buoyant near-surface discharge into uniform density layers.  
(<http://www.cormix.info/dcormixmodel>)

Grab준설의 경우에는 바닥면에 Grab이 떨어질 때의 충격에 의해 일차적으로 발생하게 되고, 퇴적물을 끌어올리는 동안 유실되며, 바지선으로 적재하고 적재한 후에 다시 씻겨져 내려오는 과정을 반복하게 된다. 따라서, 부유퇴적물의 초기 발생은 전수심에 걸쳐 수직적으로 거의 등분포의 농도를 가지는 부유사기둥으로 간주할 수 있다(Kuo & Hayes, 1991). Fig. 2에 나타난 것과 같이 부유오탁물의 전 수심에 걸친 수직적 분포형태를 본 모형에서는 수표면에 수직한 방향으로 부유토사를 방류하는 형태로 가정하였다. 실제 해역에서는 흐름의 세기와 방향이 시각별로 변하지만, 준설작업에 의해 발생된 부유 퇴적물의 상당부분이 비교적 짧은 시간, 짧은 거리에서 가라앉게 되고, 일부 가벼운 미세입자 퇴적물들이 주변 유속에 의해 원역으로 이송되어진다. 준설토사는 5개 종류의 퇴적물 입자크기로 분류하여 Stokes의 침강속도 식을 이용하며, 준설현장조건에 따라 모형입력은 2개의 서로 다른 해역조건에 대해 각기 다른 주변유속, 바닥경사, Darcy 마찰계수가 사용되며, 주변수 성층화 조건은 3개의 서로 다른 해수 밀도분포를 고려할 수 있다(Doneker and Jirka, 1997). 준설작업

시 부유사 플룸의 형태 및 거리에 따른 농도 변화를 모의하기 위한 D-CORMIX 모형의 작업순서도를 Fig. 3에 나타내었다.

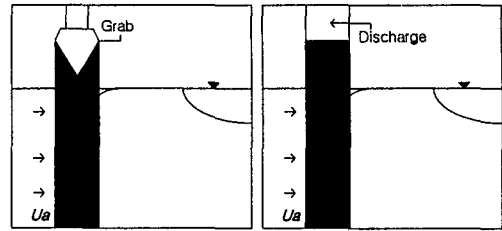


Fig. 2. D-CORMIX model application for grab dredging.

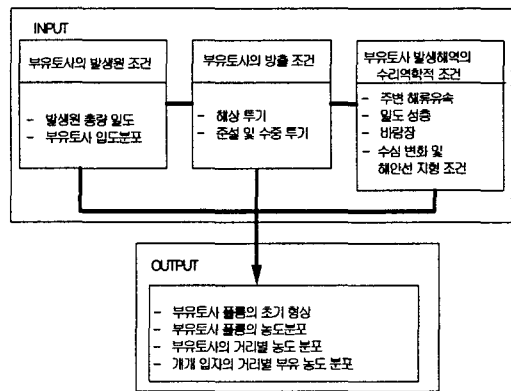


Fig. 3. Flowchart of D-CORMIX model simulation.

### 3. 군산항 준설현장의 모형 모의조건

D-CORMIX모형의 준설현장 적용과 예측모의를 위하여 2002년 8월 17일 군산항에서 해상 13호 Grab준설선의 준설 작업시의 관측자료를 토대로 입력 자료를 구성하였다. 군산외항의 준설현장 및 부유사의 입도분석을 위한 채수지점을 Fig. 4에 나타내었고, 준설선의 위치 및 관측선의 연속적인 이동에 따른 측선의 위치를 평면직교좌표로 변환하여 Fig. 5에 나타내었다. VM ADCP 시스템 (Vessel-Mounted ADCP Monitoring System)이 현장 관측에 사용되었으며 기기를 계류한 관측선이 연속적으로 이동하면서 2회에 걸쳐 현장관측이 반복되었다. 관측시각은 낙조 말기로서 주변수 유속이 비교적 작은 10~30cm/sec이고, 발생원에서의 부유사 발생량은 10~17kg/sec이었다(해양수산부, 2003). 준설지점에 인접한 약 20m 떨어진 단면

Line1과 150m 떨어진 단면 Line2에서 관측된 부유사의 단면농도분포는 Fig. 6과 Fig. 7에 있다. 2회 관측중 첫 번째인 Case 1에서 관측된 플룸의 최고 농도는 Line 1에서는 333mg/l, Line 2에서는 105mg/l였으며, Case 2의 경우에도 Line 1에서는 200mg/l, Line 2에서는 73mg/l였다. 관측된 최고농도는 Fig. 4에 나타난 주변정점에서 관측된 배경농도값 50mg/l가 포함된 것이다. 모형 모의를 위한 입력 자료는 Table 1에 나타나 있는바와 같이 해승 13호의 준설작업 현장의 관측결과에서 얻은 부유사 발생량과 주변 유속, 그리고 준설토사의 입도 구성 분포를 사용하였다.

해저지형에 대한 입력조건은 해안선에서의 경사를 30°로 하고, 경사가 변하는 지점의 거리를 17m, 이 후의 바닥 경사를 0°로 두어 준설지역에서의 수심이 10m를 유지하도록 하였다. 바닥마찰계수와 풍속은 각각 0.03, 2m/sec로 하였고, 수심이 10m 내외이고 조류가 강해서 수괴의 밀도 성층화로 인한 영향은 고려하지 않았다. 발생원의 유입형태는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 수면에 수직 한 방향으로 유입이 되도록 하였다.

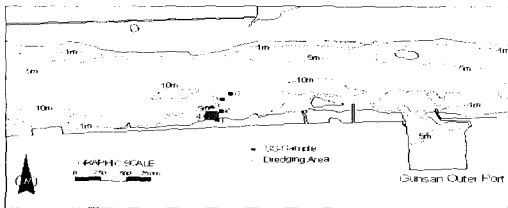


Fig. 4. Suspended Sediment sampling locations and bathymetry of Gungsan outer port.

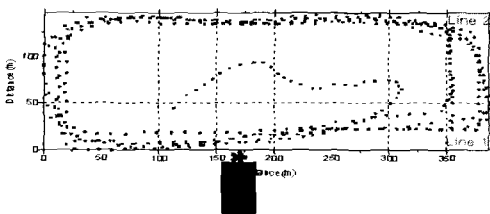


Fig. 5. Monitoring locations of Sediment plume in Gungsan dredging site.

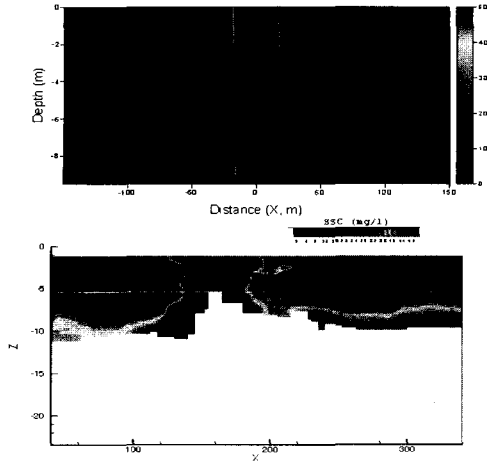
Table 1. Input parameters for model simulation

관측번호 (case)	주변수 유속(cm/s)	발생량 (kg/sec)	준설토사 입도분포 (%)			
			sand	coarse silt	fine silt	clay
1	30	17.67	76	6	10	8
2	20	9.62				

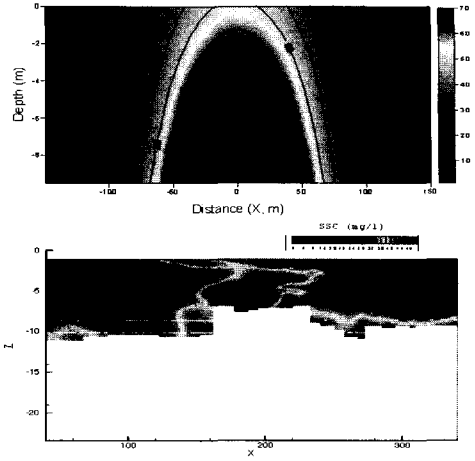
#### 4. 현장 관측결과와의 비교

Fig. 6과 Fig. 7에서는 모형 모의를 통해 계산된 부유사 플룸의 폭과 중심선 농도를 바탕으로 플룸의 Gaussian 분포를 가정하여 Fig. 5의 Line 1과 Line2 단면에서 관측한 플룸의 형태와 비교할 수 있도록 하였다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 모의된 부유사 플룸의 형상은 관측치와 비슷한 경향을 보이지만 Fig. 7에서는 관측된 플룸의 단면상 형상이 좌측으로 넓게 퍼져있고 이는 횡방향 유속의 영향을 크게 받은 결과로 볼 수 있다. Grab 준설작업시 오탉물의 거동은 불연속적이기 때문에 Fig. 7에서와 같이 준설인접지점의 플룸의 형태가 긴 수심에 걸쳐 분포하지 않고 바닥면에서의 부유사 농도가 상대적으로 높음을 알 수 있다.

Fig 8에서는 준설지점으로부터 거리에 따른 부유사 플룸의 계산된 중심선 농도를 Line 1과 Line 2 단면에서 관측된 최고 농도와 비교하였다. 여기서 관측된 최고농도값에 대해서 근산외항 주변해역에서 관측된 배경농도 50mg/l를 뺀 값을 모의된 계산값과 비교하였다. 모형의 계산결과는 준설지점에서 20m 떨어진 Line 1과 약 150m 떨어진 Line 2 단면에서 관측된 값들과 비교적 잘 일치되고 있음을 나타내고 있다. 본 결과에 의하면 Grab 준설과정에서 재부유된 퇴적물의 발생원으로부터 비교적 가까운 거리인 150m 지점에서의 중심선(최대) 농도가 대략 초기 발생원 농도의 10~15% 정도에 이르는 것을 볼 때, 일반적으로 원역모형에서 계산적자 간격을 줄이는데 한계를 가지는 부유 퇴적물의 이송·확산모형에 초기발생농도값을 사용하는다는 문제가 있다고 본다. D-CORMIX 모형에서 산정된 준설부유사의 초기 근역에서의 농도분포값을 사용하는 것이 보다 타당하다고 할 수 있다.

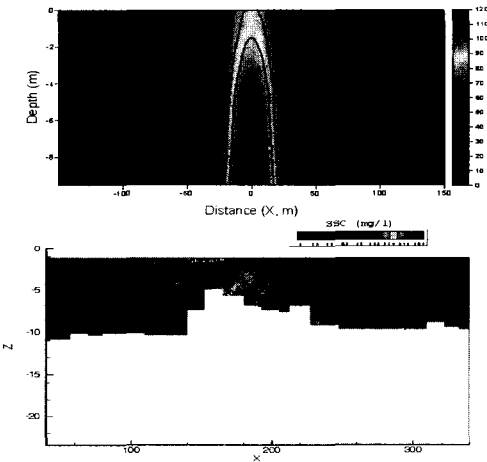


a. Sectional configuration of sediment plume at dredging site (Line 1).

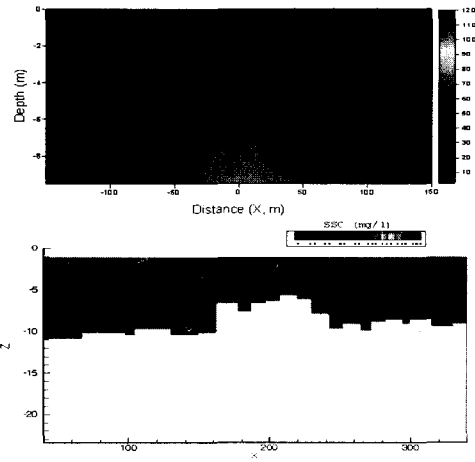


b. Sectional configuration of sediment plume at 150m from dredging site (Line 2).

**Fig. 6.** Comparison of simulated and observed sediment plumes for case 1 (top : model simulation, bottom : observation).

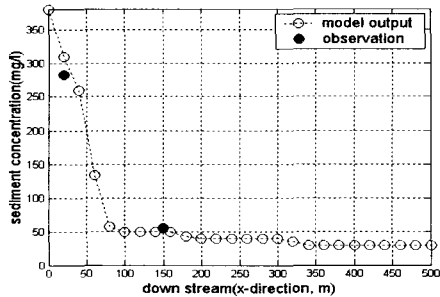


a. Sectional configuration of sediment plume at dredging site (Line 1).

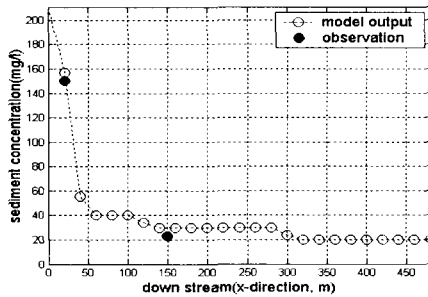


b. Sectional configuration of sediment plume at 150m from dredging site (Line 2).

**Fig. 7.** Comparison of simulated and observed sediment plumes for case 2 (top : model simulation, bottom : observation).



a. case 1



b. case 2

**Fig. 8.** Comparison of D-CORMIX prediction with observed sediment concentrations.

## 5. 결론 및 제언

본 연구에서는 D-CORMIX모형의 항만 공사시 Grab 준설 현장 적용성과 모의 계산된 결과를 관측치와 비교, 검토하였다. 기존에 사용되었던 부유사의 이송-확산 모형은 비교적 큰 격자와 긴 시간에 대한 모의를 함으로써 초기 근역에서 부유사 플룸의 시-공간적인 변동이 심한 거동에 대한 해석을 전혀 할 수 없었다. 본 연구에서는 이러한 부유사 발생 초기 근역에서 부유사 플룸의 농도분포특성을 파악하는데 중점을 두었으며, 모의 결과는 비록 제한적인 현장관측결과이긴 하였으나 비교적 관측치와 잘 일치하는 경향을 보였다. 향후 연구에서는 다양한 여러 준설현장 조건하에서 관측된 자료를 획득하여 보다 심층적인 해석과 모형 검증이 이루어져야 할 것이다.

## 후 기

본 논문은 해양수산부의 R & D 사업 “부유토사 발생량 평가 및 오타방지막 효율에 관한 연구용역”의 연구지원에 의해 수행된 연구결과의 일부입니다.

## 참고문헌

- 강시환, 유승협, 오병철, 박광순, 2000. 마산창원 하수종말처리장의 해양방류 처리수에 대한 초기-근역 회석연구(II). 한국해양환경공학회지, 3(1), 35-44.
- 김영도, 서일원, 강시환, 오병철, 2000a. 3차원 원역모형의 부력 경계조건에 의한 선행플룸의 근역거동 해석. 대한토목학회 학술발표회 논문집(III), 333-336.
- 김영도, 강시환, 서일원, 오병철, 2000b. 초기혼합 특성을 고려한 입자추적 모형에 의한 수중방류 하수장의 거동 예측. 한국해안,해양공학회 발표논문집, 11권, 126-132.
- 해양수산부, 2003. 부유토사 발생량 평가 및 오타방지막 효율에 관한 연구용역(III).
- Albert Y.Kuo, and D. F. Hayes., 1991. Model for turbidity plume induced by bucket dredge. J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 117(6), 610-623.
- Chase, D., 1994. DROPMIX User's Manual. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station,

- Vicksburg, MS.
- CORMIX, 2003. Home Page, <http://www.cormix.info/dcormixmodel>
- Dearnaley, M.P., Stevenson, J.R. and J. Spearman, 1999. Environmental aspects of aggregate dredging. Report SR 548, HR Wallingford.
- Doneker, R.L., and Jirka, G.H., 1997. D-CORMIX continuous dredge disposal mixing zone water quality model laboratory and field data validation study. Oregon Graduate Institute, 36.
- IADC/CEDA, 2000. Effects, Ecology and Economy. Environmental Aspects of Dredging, Vol 6.
- Johnson, B.H., and Parchure, T.M., 1999. Estimating dredging sediment resuspension sources. DOER Technical Notes Collection (TN DOER-E6), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Johnson, B.H., Anderson, E., Isaji, T., and Clarke, D.G., 2000. Description of the SSFATE numerical modeling system. Doer Technical Notes Collection(TN DOER-E10), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. [www.wes.army.mil/el/dots/doer](http://www.wes.army.mil/el/dots/doer).
- Zhang, X.Y. and Adams, E.E., 1999. Prediction of near field plume characteristics using far field circulation model. J. Hydraul. Eng., 125(3), 233-241.