

오염물질 확산모형의 불확실성

Uncertainty Analysis of the Pollutant Dispersion Model

조홍연*, 채장원*, 정신탉**

1. 서론

연안지역의 개발 및 이용으로 오염물질의 발생량이 증가하게 될 뿐 아니라, 발생된 오염물질은 인근 하천 및 해역에 의한 방류 등으로 연안해역의 환경을 오염시키고 있다(통상산업부 등, 1996). 연안에서 발생하는 오염물질의 하천유입, 해양방류 및 해상투기 또는 오염물질 유출사고가 연안환경에 미치는 장·단기적인 영향을 파악하기 위해서는 대상해역의 흐름을 고려한 오염물질의 이송·확산을 적절하게 예측하여야 한다(National Research Council, 1994). 오염물질 확산예측모형은 모의항목에 따라 염도 및 온배수확산모형, 유류유출모형, 토사확산모형, 수질모형 등으로 세분화되고 있으며, 기본 골격은 운송방정식으로 표현된다(Spaulding, 1989; Spaulding et al., 1992, 1993). 각 모형의 주요한 차이점은 모의항목의 특성을 반영하는 항목으로 구성되는 반응항 및 용출·소멸항이다. 오염물질의 이송 및 확산에 영향을 미치는 주요 인자는 대상해역의 해수유동, 오염물질의 성분 및 혼합·확산특성(확산계수) 등이 있으나, 연안지역의 개발에 따른 오염물 확산예측모델링은 모형의 보정 및 검증과정, 오염물질의 특성 파악이 미흡한 상태로 수행되고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 실험자료(Diserens and Delo, 1989)를 이용하여 보정·검증된 오염물질 확산예측모형을 이용하여, 가덕도 신항만 개발사업으로 인하여 발생이 예상되는 오염물질을 처리하지 않고 방류할 경우 대상해역의 오염물 확산양상을 모의하였으며, 모의 해역에서의 입력조건 변화에 따른 오염물 확산양상의 변화를 분석하였다. 또한, 오염물질 예측모형과 관련된 주요입력자료 및 모형의 불확실성을 분석하였다.

2. 모형의 구성 및 적용

2.1 오염물 확산 모형의 개요

오염물 확산모형의 지배방정식은 평면 2차원의 경우 다음과 같이 표현할 수 있다(Fischer et al, 1979; Fischer, 1989).

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = D + R + L$$

여기서, c = 오염물질의 농도; u, v = 각각 x, y 방향의 수심평균 유속; D = 오염물질의 확산항(분자확산 + 난류확산 + 전단류에 의한 분산), R = 오염물질의 반응항(모의항목의 특성을 고려하여 구성되는 항목), L = 오염물질의 용출·소멸(Source/Sink) 항(외부오염원, 입자성물질의 침강, 저면용출 등)이다.

오염물질 확산모형은 ADI 기법으로 차분하였으며, 오염물질의 확산항, 반응항, 용출·소멸항은 양해법으로 처리하였다(조홍연, 1994). 또한, 임의의 비보존성 수질항목인 COD는 1차감소항목으로 가정하고, 입자성 물질인 SS는 침전항만을 고려하였다. 모형의 외해경계조건은 Free-Flux(Zero-Gradient) 조건, 육지경계조건은 No-Flux 조건을 부여하였으며, 오염물질 유입지점은 유입지점(사고지점, 배출지점)에 해당하는 격자에서의 완전혼합조건을 사용하여 지정하였다.

* 한국해양연구소 연안공학연구부

** 원광대학교 토목환경공학과

2.2 해수유동모형과 오염물 확산모형의 결합

연안에서 해수순환에 의한 오염물 확산을 예측하기 위해서는 대상 해역의 흐름을 해석하는 부모형(submodel)과의 결합이 필요하다. 단기 오염물질 확산예측 모형의 경우 흐름해석모형과 오염물질 확산 예측모형을 일체화하는 경우도 있으나, 본 연구에서는 운송방정식을 주 모형으로 하고, 관련 모형은 부모형으로 정의한다. 따라서, 관련 부모형과는 적절한 결합과정이 필요하다. 부모형인 흐름모형의 결과를 오염물 확산모형에서 수리학적 입력자료로 이용하기 위한 시간규모는 모의하고자하는 오염물질 확산예측의 시간규모를 고려하여 결정하는 것이 효율적이다. 본 연구에서는 조석주기별 오염물질의 최대 확산 범위의 예측에 중점을 둔 단기간의 오염물질 확산예측 모형으로, 1/24 조석주기 간격의 유동장 결과를 모형의 입력자료로 이용하였다(격자간격 = 160m).

2.3 오염물질 예측모형의 입력자료

모형의 주요 입력자료는 수위, 유속, 오염물질의 반응매개변수 및 외부환경변수, 확산매개변수, 오염물질의 유입량 및 유입지점 등에 대한 정보가 필요하다. 본 연구에서 사용한 모형의 수행조건은 다음과 같다.

오염물질 COD 항목의 분해계수 : 0.1 day^{-1}
가덕도 해역의 오염물질 배출지점 : 가덕도 최남단
오염물질 배출량(COD) 및 농도 : 390,000 Ton/day, 155 mg/l
대상해역의 기본농도 : 2.2 mg/l

2.4 방류구 주변해역의 확산 양상

그림 1, 2는 가덕도 남단에서 오염물질을 방류할 경우, 창·낙조시의 오염물 확산범위를 예측한 결과이다. 모형의 결과는 흐름모형이 4조석주기동안 일정하다고 가정하여 준정상(Quasi-Steady)상태에 도달한 경우에 해당한다. 흐름모형의 입력자료는 대조기에 해당하는 값으로 1/24 조석주기(약 31분)에 대하여 선형보간한 값으로 시시각각 변하는 흐름조건하에서 수행하였으며, 확산효과는 공간평균에 의한 방법으로 고려하였다.

3. 흐름모형에 대한 민감도 분석

흐름모형에 대한 민감도분석은 흐름모형과 오염물 확산예측모형의 장·단기적인 모형으로의 확장에 따른 적정 시간규모를 결정하기 위한 작업으로 흐름모형의 결과가 1/24 조석주기로 주어진 경우, 1/6 조석주기, 1/2 조석주기, 잔차류에 대하여 오염물 확산양상을 분석하였다.

4. 모형의 불확실성 분석

모형의 불확실성을 분석하는 방법으로는 민감도분석, 1차오차분석법, Monte Carlo 모의기법 등이 있다(Brown and Barnwell, 1987). 모형의 불확실성 분석에 관한 연구는 초기의 민감도 분석 단계에서 보다 확장된 방법(통계적 기법) 등으로 다양하게 적용되고 있다(Beck, 1983; Gardner and O'Neill, 1983). 본 연구에서는 민감도분석 및 1차오차분석법에 대하여 모형의 불확실성을 분석하였다. 모형에서 불확실성 분석 대상으로 선정한 매개변수는 오염물질의 분해계수 및 오염물질의 성분(입자성, 용존성의 비율)이다.

5. 결론 및 향후 연구과제

연안해역으로의 오염물질 방출에 따른 확산을 정확하게 예측하기 위해서는 조석변화에 따른 단기 오염물 확산문제와 병행하여 장기적인 오염물질의 이동경로를 추적하는 모형의 적용이 필요하다고 사료된다. 또한, 모형의 혼합거동을 결정하는 인자는 흐름이 주요인자이나 정량적인 분석을 위해서는 오염물질의 분해계수, 성분 등 오염물질의 특성을 고려하여 모형을 수행하는 것이 모형결과의 불확실성을 저감하는 방안으로 판단되며, 모형의 입력자료는 대상 해역에서의 측정값 및 실험치를 이용하는 것이 타당한 것으로 사료된다. 향후 오염물질 예측모형의 반응 및 용출·소멸과 관련된 모형 매개변수를 다양한 조건에서의 측정하고, 모형 입력자료로 적절하게 활용하는 과정이 요구된다.

참고문헌

- 통상산업부, 환경부, 건설교통부, 과학기술처, 경찰청, 수산청, 해운항만청, 기상청, 1996. 해양오염방지 5개년 계획 (1996~2000), 행정간행물, 관계부처 합동.
- 조흥연, 1994. 직표변환에 의한 2차원 수질모형의 개발 및 적용, 공학박사 학위논문. 서울대학교 토목공학과.
- Beck, M.B., 1983. Uncertainty, System Identification, and the Prediction of Water Quality, in Uncertainty and Forecasting of Water Quality (edited by M.B.Beck and G.van Straten), Springer - Verlag.
- Brown, L.C. and Barnwell, T.O., 1987. The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E - UNCAS, EPA/600/3-87/007, Sec.6 Uncertainty Analysis with QUAL2E, U.S. Environmental Protection Agency
- Diserens, A.P. and Delo, E.A., 1989. Dispersal of Dredged Material : Application of Short Term Model for Cohesive Sediments, Hydraulic Research, Report SR 210, Wallingford.
- Fischer, H.B.(Editor), 1981. Transport Models for Inland and Coastal Waters, Proceedings of a Symposium on Predictive Ability, Academic Press.
- Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J. and Brooks, N.H., 1979. Mixing in Inland and Coastal Waters, Academic Press.
- Gardner, R.H. and O'Neill, R.V., 1983. Parameter Uncertainty and Model Predictions : A Review of Monte Carlo Results, in Uncertainty and Forecasting of Water Quality (edited by M.B.Beck and G.van Straten), Springer - Verlag.
- Lam, D.C.L., Murthy, C.R. and Simpson, R.B., 1984. Effluent Transport and Diffusion Models for the Coastal Zone, Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies 5, Springer - Verlag.
- List, E.J., Gartrell, G. and Winant, C.D., 1990. Diffusion and Dispersion in Coastal Waters, J. of Hydraulic Research, Vol.116, No.10, ASCE.
- National Research Council, 1994. Environmental Science in the Coastal Zone : Issue for Future Research, Commission on Geoscience, Environment, and Resources, National Academic Press.
- Palmer, H.D. and Gross, M.G.(Editor), 1979. Ocean Dumping and Marine Pollution : Geological Aspects of Waste Disposal, Dowden, Hutchinson & Ross.
- Spaulding, M.L.(Editor), 1989. Estuarine and Coastal Modeling, Proceedings of the Conference ASCE.
- Spaulding, M.L., Bedford, K., Blumberg, A., Cheng, R. and Swanson, C.(Editors), 1992. Estuarine and Coastal Modeling, Proceedings of the 2nd International Conference ASCE.
- Spaulding, M.L., Bedford, K., Blumberg, A., Cheng, R. and Swanson, C.(Editors), 1993. Estuarine and Coastal Modeling III, Proceedings of the 3rd International Conference ASCE.

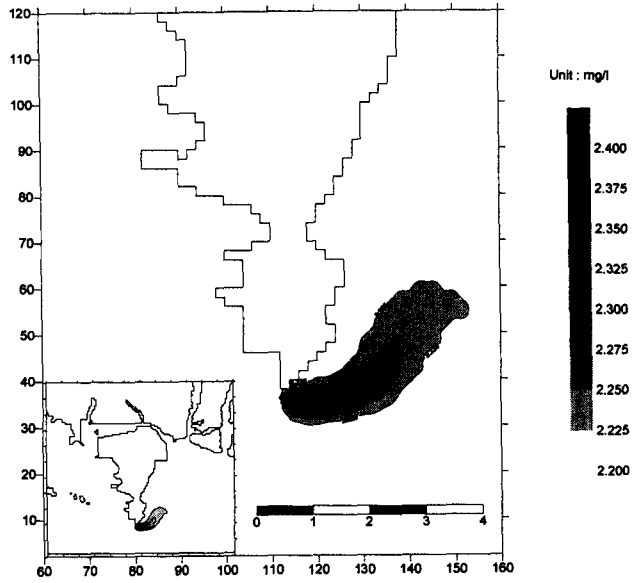


그림 1. 낙조시 COD 농도 최대확산 범위

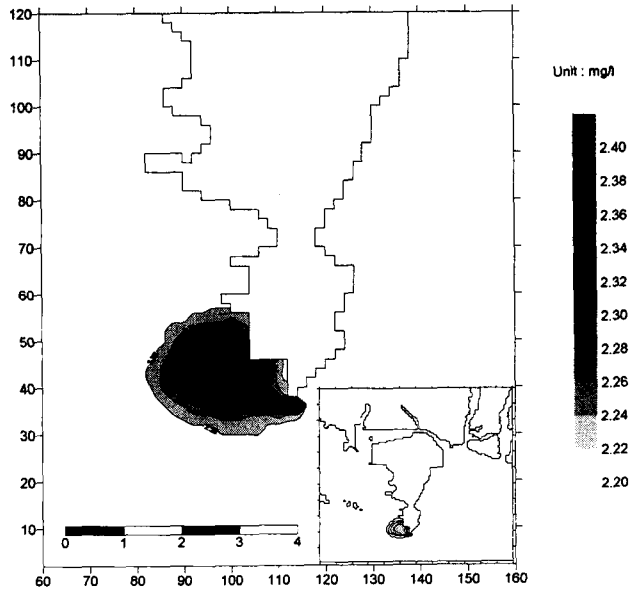


그림 2. 창조시 COD 농도 최대확산 범위