

# 開水路에서 不等流 및 汚染擴散에 대한 數值解析

## Numerical Analysis of Pollutant Diffusion with Unsteady Flows in Open Channels

金 鎮 興\* , 呂 運 光\*

### 1. 序論

산업화에 따른 환경문제는 그 심각성을 더해가고 있다. 水質汚染도 예외는 아니며 河川, 地下水, 海洋에 이르기까지 깨끗한 물을 유지, 공급하는 것이 최근 관심의 초점이 되고 있다. 河川汚染의 경우 上流에 위치한 汚染源으로부터 멀어질수록 濃度變化가 일어난다. 이러한 下流地點의 濃度分布는 流量, 流下時間, 流下延長, 斷面積 등 흐름에 관계되는 要素들과 混合 및 擴散에 관계되는 要素들에 주로 영향을 받는다.

일반적으로 개수로 흐름은 저류방정식을 이용한 水文學的인 방법과, 連續方程式과 運動方程式을 직접해석하는 水理學的인 방법이 있으나 최근 電子計算機의 급속한 발전과 더불어 水理學的 방법을 이용한 解析이 많이 개발되고 있다. 이러한 數值解析 방법에는 有限差分法, 有限要素法, 特性曲線法 등 여러기법이 사용되고 있으나 각자의 편리성 및 요구되는 정확도 그리고 계산시간에 따라 상호 보완적이다. 이 중 有限差分法은 陽解法과 陰解法으로 구분되어 지는데, 前者는 수치기법이 간단한 반면에 거리와 시간간격에 따르는 安定性이 문제가 되며 後者는 비록 수치기법이 다소 복잡할지라도 거리와 시간간격을 보다 자유롭게 선택할 수 있는 장점이 있다.

本 研究에서는 陰解法을 사용한 有限差分法으로 흐름모델을 구성하였고, 擴散모델은 스칼라移送方程式(scalar transport equation)을 特性曲線法에 의하여 汚染의 擴散현상을 해석하였다.

### 2. 支配方程式

흐름모델의 해석은 連續方程式과 Navier-Stokes式을 3次元으로 해석하는 것이 마땅하나, 流路延長이 매우 긴 河川의 경우 3차원으로 해석한다는 것은 경제적이지

못하고 계산의 복잡성에 비하여 解의 正確度가 현저히 나아진다는 보장도 없다. 따라서 斷面에 걸쳐 積分된 1次元으로 단순화된 모델을 사용하는 것이 바람직하며 이에 는 아래와 같은 Saint-Venant式이 代表的이다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} = -gA \frac{\partial h}{\partial x} + gA(S_0 - S_f) \quad (2)$$

여기서  $A(x, t)$ 는 有效斷面積으로서 水深  $h(x, t)$ 로 표시할 수 있고,  $Q(x, t)$ 는 流量이며,  $g$ 는 重力加速度이다. 또한  $q$ 는 支流에서 들어오는 단위면적당유량이며, 식 (2)의 좌변은 관성력항을 표시하고, 우변은 壓力, 重力 및 마찰력을 각각 나타낸다. 한편 移送方程式은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial a}{\partial t} + U \frac{\partial a}{\partial x} = D_0 \frac{\partial^2 a}{\partial x^2} \quad (3)$$

여기서  $a$ 는 농도이고,  $U$ 는 유속이며  $D_0$ 는 擴散係數이다.

### 3. 數値解析方法

흐름모델은 陰解法중 Preissman의 4절점 가중평균치에 의하여 差分化시키고 連續方程式과 運動方程式을 연립하여 풀었으며, 비선형항에 대한것은 Newton-Raphson 방법에 의하여 해석하였다. 移送方程式은 흐름모델에서 얻은 流動場의 값을 이용하여 Two-Point Higher Order 方法의 特性曲線法을 사용하여 各地點의 濃度分布를 구하였다.

### 4. 適用

本 數値模型의 타당성을 검토하기 위해서 梯型 斷面을 선택하였다. 단면 형태는 梯型으로서 바닥폭은 7m, 水路바닥경사는 1/1000, 側面경사는 1:0.8, Manning의 粗度係數는 0.016, 계산 시간 간격은 100초, 단면간격은 300m로 하였다. 上流 流量의 변화는 Fig. 1과 같고, 下流 水門에 의한 流出 流量은  $Q=20*(Y-Y_0)**2$ 을 사용하였다. 계산결과 Fig. 2는 시간에 따른 수심의 변화를 나타낸다. Fig. 3은 유량이 일정하게 흐를 때 초기 汚染分布가 2시간이 지난후 擴散정도를 나타낸 결과이며 Fig. 4는 Fig. 1의 流量變化를 이용하여 汚染 擴散 分布의 변화를 表示한 것이다. 여기서 두 경우 모두 확산계수는 0.5, 10, 15, 20m<sup>2</sup>/sec의 4가지를 적용하였다.

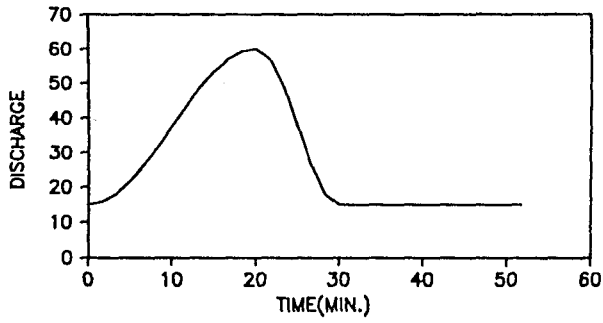


Fig.1 상류지점에서의 유량 변화

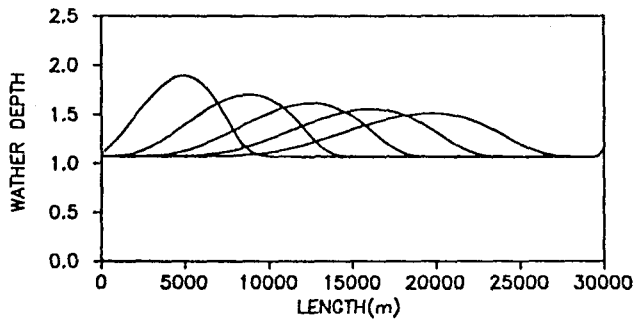


Fig.2 각 단면에서의 수심의 시간적 변화

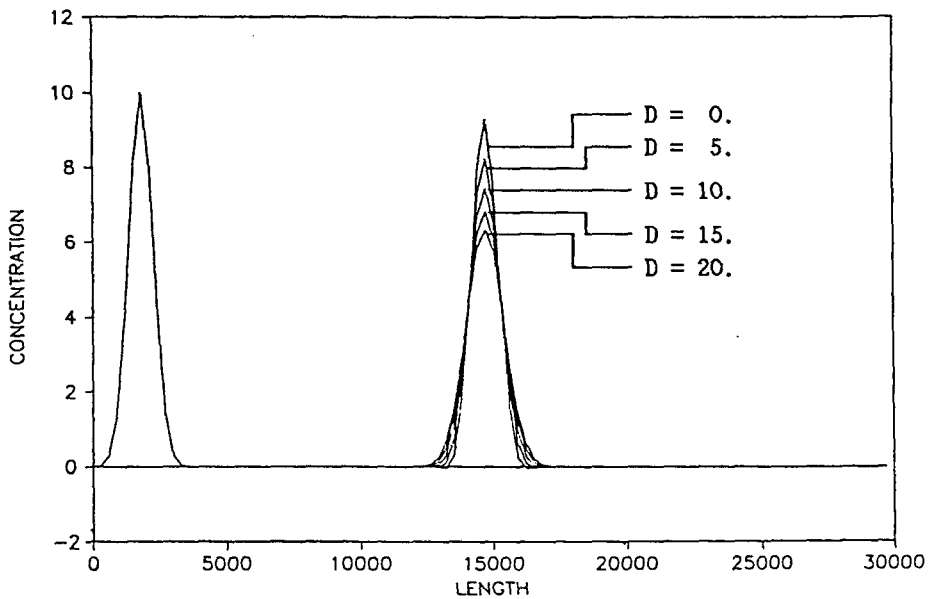


Fig.3 일정유량에 따른 농도변화 (t = 2 hr)

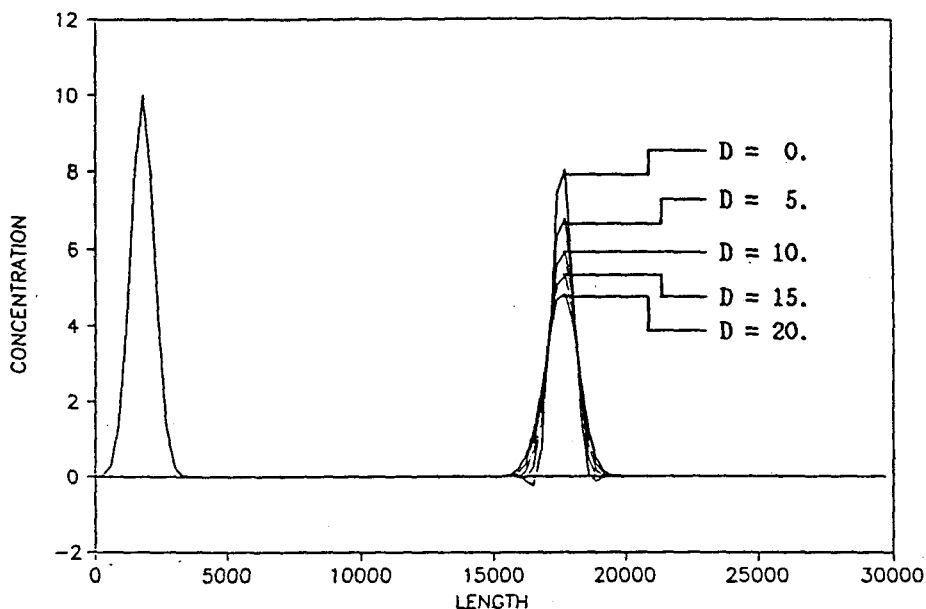


Fig.4 유량의 변화에 의한 농도변화(t = 2 hr)

### 5. 參考文獻

- Abbott, M. B. Computational Hydraulics, Pitman Publisher, 1979.
- Amein, M. and H.L. Chu. "Implicit Numerical Modeling of Unsteady Flows," ASCE Journal of the Hydraulics Division 101(HY6), pp.717-731, June 1975.
- Amein, M. and C. S. Fang, "Implicit Flood Routing in Natural Chennels," ASCE Journal of the Hydraulics Division 96(HY12), 2481-2499.
- Fischer, H. B., E. J. List, R. C. Koh, J. Imberger, N. H. Brooks, Mixing in Inland and Coastal Waters, Academic Press, 1979.
- Holly, F. M., Jr., and Preissmann, A., "Accurate Calculation of Transport in Two Dimensions", ASCE Journal of the Hydraulics Division 103(HY11), pp.1259-1277, November 1977.
- Liggett, J. A. "Basic Equations of Unsteady Flow," Chapter 2 in Unsteady Flow in Open Channels, ed. by K. Mahood and V. Yevjevitch, Water Res. Press, 1975.
- Preissmann, A. "Propagation des Intumescences dans les Canaux et Rivières," First Congress of the Calculation Society of France, Grenoble, pp.432-442, 1961.
- 김진홍 여운광, "홍수추적을 위한 비선형부동류방정식의 해석", 공학기술연구소논문집, 명지대학교, 제5집, pp.17-34, 1990.