

하천 합류점을 통한 오염물질 유입에 관한 연구

최 계운*, 김 건홍**, 안 상진***

1. 서론

문화수준이 향상되고 산업생산 활동이 활발함에 따라 상수도의 용량 증대와 양질의 상수도 공급에 관한 요구가 증대되고 있는 실정이나 하천 유지 관리의 소홀과 각종 폐수 및 가정 하수의 지속적인 하천 유출로 말미암아 하천수원의 수질이 점차 저하되고 있는 실정이다. 물론 취수된 물은 정수시설을 통하여 침전 및 여과과정을 거친후 보급되지만 원수 수질상태에 따라 특별한 장치가 요구될때도 있으며, 잔류약품에 의한 피해도 예상된다. 따라서 가능한한 양질의 취수원을 확보하는 것은 상수도 보급에 있어 매우 귀중한 일이다. 또한 취수원의 선정 여하에 따라서 수도 시설 전반의 배열이 결정되게 되며 지점의 위치와 표고등은 건설비, 유지비 등에 직접 관계가 되므로 종합적인 여건을 감안하여 계획되어야 한다. 특별히 취수원 선정시는 가능한 한 깨끗하여 장래에도 오염될 우려가 적은 곳을 택하는 것이 요구되는데 장래 오염 정도의 예측은 실용적으로 1차원 수질 모델을 이용하여 주로 실시된다. 대부분의 하천은 실제적으로 나뭇가지 모양의 형태로 이루어져 있고 부정류의 특성을 가지고 있으나 기존 수질 예측 모델의 대부분은 정류상태의 수리가정 또는 각각의 상류부 지류의 수질을 예측한후 하류부의 본류를 예측하는 등의 가정에 근거하여 계산하고있다 (1,3,4,5,6). 따라서 합류점에 가까운 지점에서 조차 타 지류를 통한 오염물질의 유입에 관하여는 검토가 되지 않는 실정이다. 그러나 합류점에 가까운 곳에서는 하천의 유량및하천의 특성에 따

* 최 계 운 : 수자원연구소 상하수도연구실 책임연구원 ** 김 건 홍 : 인하대학교 토목공학과 교수 *** 안 상 진 : 충북대학교 토목공학과 교수

라 다른 지류에 의한 영향을 받는 경우가 종종 있게 된다. 따라서 취수원의 장래 오염정도를 추정할 때에는 타 지류에 의한 영향을 검토하는 것이 필요하다.

2. 기본방정식

1차원 수질 모델을 위한 기본 방정식은 두 단면간의 연속방정식 및 운동 또는 에너지 방정식으로 표현된다. 동일 하천내에서의 두단면 사이의 연속방정식, 운동방정식 및 Mass transport 방정식은 아래와 같이 표현된다.

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

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

$$\frac{\partial (AC)}{\partial t} + \frac{\partial (QC)}{\partial x} = S \quad (3)$$

여기에서,

- x : 흐름 방향으로서의 거리
- t : 시간
- A : 통수 단면적
- Q : 유량
- q : 단위 길이당 측방향 유입유량
- h : 수심
- S₀ : 하상경사
- S_f : 마찰경사
- C : 오염물의 농도 (Concentration)
- S : Source or Sink

합류점에서의 연속방정식 및 Mass transport 방정식은 합류점 유입 및 유출량의 합계로 아래와 같이 표현된다.

$$\sum Q_i = \sum Q_o \quad (4)$$

$$\sum \frac{\partial (AC)}{\partial t} + \sum \frac{\partial (QC)}{\partial x} = \sum S \quad (5)$$

또한 합류점에서의 에너지 방정식은 상류부의 각각의 지류와 하류부의 본류간의 에너지 보존의 법칙에 의하여 아래와 같이 표현된다.

$$\frac{V_i^2}{2g} + gh_i + gZ_i = \int \frac{dv}{dt} dx + \frac{V_o^2}{2} + gh_o + gZ_o + gh_f \quad (6)$$

여기에서,

V_i : 상류부 지류의 유속

Z_i : 상류부 지류의 하상 표고

V_o : 하류부 본류의 유속

Z_o : 하류부 본류의 하상 표고

h_f : 총 손실수두

g : 중력가속도

3. 유한 차분법에 의한 수치해석

위의 기본 방정식들은 선형의 유한 차분 해석방법에 의하여 그 해를 구할수 있다. 일반적으로 유한 차분 해석에서는 Explicit 및 Implicit 방법이 사용되고 있는데 안정성 및 초기치 결정 등에 유리한 Implicit 방법을 사용하여 동일 하천내에서의 두단면 사이의 연속방정식, 운동방정식 및 Mass transport 방정식을 각각 유한 차분 방정식으로 나타내면 아래와 같다.

$$D_1 Q_i^{n+1} + E_1 h_i^{n+1} + F_1 Q_{i-1}^{n+1} + G_1 h_{i-1}^{n+1} = T_1 \quad (7)$$

$$D_2 Q_i^{n+1} + E_2 h_i^{n+1} + F_2 Q_{i-1}^{n+1} + G_2 h_{i-1}^{n+1} = T_2 \quad (8)$$

$$D_3 C_{i-1}^{n+1} + E_3 C_i^{n+1} + F_3 C_{i-1}^{n+1} = T_3 \quad (9)$$

여기에서, D_1 - D_3 , E_1 - E_3 , F_1 - F_3 , G_1 - G_3 와 T_1 - T_3 은 미지수의 계수들을 나타내며 첨자 i 는 두단면중 상류부의 단면을 첨자 $i-1$ 은 하류부의 단면을 나타낸다. 또한 첨자 $n+1$ 은 계산하고자 하는 시간의 상태를 나타낸다.

합류점에서의 연속방정식, 에너지 방정식 및 Mass transport 방정식을 각각 유한차분 방정식으로 나타내면 아래와 같다.

$$D_4 Q_{o1}^{n+1} + E_4 Q_{o2}^{n+1} + F_4 Q_{o3}^{n+1} + G_4 Q_d^{n+1} = T_4 \quad (10)$$

$$D_5 Q_{o1}^{n+1} + E_5 h_o^{n+1} + F_5 Q_d^{n+1} + G_5 h_d^{n+1} = T_5 \quad (11)$$

$$D_6 C_{o1}^{n+1} + E_6 C_{o2}^{n+1} + F_6 C_{o3}^{n+1} + G_6 C_d^{n+1} = T_6 \quad (12)$$

여기에서, D_4-D_6 , E_4-E_6 , F_4-F_6 , G_4-G_6 및 T_4-T_6 은 미지수의 계수들을 나타내며 첨자 u 는 상류부 지류를 첨자 d 는 하류부 본류를 나타낸다.

위의 6개의 유한차분 방정식은 하천 Network 해석방법에 의하여 그 해를 구할 수 있다(2).

4. 수치모형 실험

위의 유한차분 방정식을 기본으로 한 모델을 사용하여 2개의 상류부 지류와 1개의 하류부 본류를 가진 하천 Network에 적용하였다. 적용된 하천의 경사는 공히 0.003% 이었으며 Manning의 조도계수는 0.04 이었다. 하천의 길이와 폭은 각각 5,500 ft 및 100 ft 이었다. 상류부의 큰 지류의 유입량은 지류의 상단에서 500cfs에서 10,000cfs까지 변화였으며, 상류부 작은 지류의 상단에서의 유입량은 500cfs로 일정하게 유지되었다. 각각의 지류의 상단에서의 유입량은 그림 1에서와 같다.

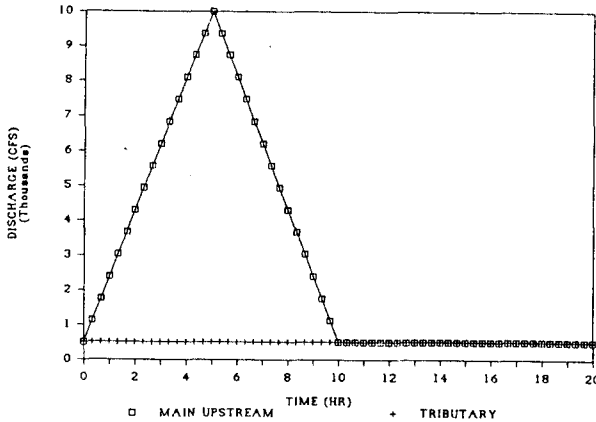


그림 1 상류부 지류 상단에서 그림 1 상류부 지류 상단에서의 유입량

Model을 사용하여 계산된 유량도는 그림 2에서와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 작은 지류의 상단에서 500cfs의 일정한 유량이 유입됨에도 불구하고 작은 지류의 하단에서는 1000cfs의 유량이 계산되었으며 또한 상당한 기간동안 흐름의 방향이 하류에서 상류로 향하고 있음이 계산되었다.

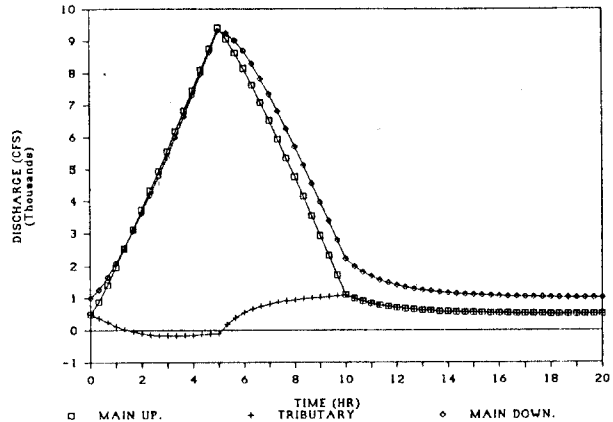


그림 2 합류점에서 계산된 유량도

5. 결론

취수원에서의 수질의 오염정도를 산출하기 위하여 수질 수치모델을 사용하는데 이때 정류상태의 가정이나 각각의 상류지류의 수질을 예측한 후 하류 본류의 수질을 예측하는 등의 가정에 의하고 있는바, 특별히 취수장이 합류점에 가까이 위치할 때에는 하천의 지형 및 상태에 따라 타 지류에 의한 오염의 영향이 있는가가 검토되어야 한다. 타 지류에 의한 영향을 검토하기 위하여는 하천 Network 계산 알고리즘을 이용함으로써 단시간에 정확한 예측을 할수 있으며, 특별히 취수장 위치를 선정할때 타 지류에 의한 영향을 고려하여 선정하여야 한다.

참고문헌

1. Bajraktarevic-Dobran, H., 1982, "Dispersion in Mountainous Natural Streams", Journal of Environmental Engineering, Vol.108, No. EE3, ASCE, pp.502-514.
2. Choi, G. W. and Molinas, A., 1990, "Channel Network Analysis using Simultaneous Solution Algorithm", Hydraulic Engineering Volume 1, Proceedings of the 1990 National

- Conference, ASCE, pp.233-238.
3. Miller, J. E. and Jennings, M. E., 1979, "Modeling Nitrogen, Oxygen, Chattahoochee River, Ga.", Journal of Environmental Engineering, Vol. 105, No. EE4, ASCE, pp.641-653.
 4. Ozturk, Y. F., 1979, "Mathematical Modeling of Dissolved Oxygen in Mixed Estuaries", Journal of Environmental Engineering, Vol. 105, No. EE5, ASCE, pp.883-903.
 5. Ozturk, Y.F., 1981, "Mathematical Modeling of Dispersion in Mixed Estuaries", Journal of Environmental Engineering, Vol.107, No. EE1, ASCE, pp.211-228.
 6. Wills, R., Anderson, D.R. and Dracup, J.A., 1975, "Steady-State Water Quality Modeling in Streams", Journal of Environmental Engineering, Vol. 101, No. EE2, ASCE, pp.245-258.
 7. 최영박, 엄원택, 1984, "상수도학", 형설출판사.