

# 하천내 현장실험을 통한 오염물의 확산 특성

## Dispersion characteristics of pollutant by a field tracer experiment in river

김기철\*, 정성희\*\*, 이정렬\*\*\*, 서경석\*\*\*\*

Ki Chul Kim, Sung Hee Jung, Jung Lyul Lee, Kyung Suk Suh

### 요 지

본 연구에서는 하천에 유입된 오염물질의 거동 및 확산 특성을 파악하기 위하여 하천에서 추적자를 이용한 현장실험을 실시하였으며, 실험구간은 경상북도 경주시 에 위치한 하천으로 총 길이 2km, 평균폭 25m로 이루어진 대종천이다. 현장실험에서의 추적자 실험결과를 수치모형과 비교하기 위해 2차원 수심적분 모형인 RMA2, RMA4를 이용하였다. 2차원 동수역학적인 모형인 RMA2를 사용하여 흐름장을 모의한 후 계산결과를 2차원 수질모형인 RMA4에 입력하여 농도자료를 모의하였으며 상·하류단의 경계조건은 현장 실험시 실측한 상류단의 유량과 하류단의 수위를 적용하였다. 실측한 자료를 경계조건으로 모형에 적용하여 시간에 따른 농도값을 계산하였으며, 그 계산값을 추적자의 농도 관측값과 비교하였다. 계산결과는 서로 잘 일치하였다.

**핵심용어** : 추적자실험, RMA2, RMA4

### 1. 서 론

하천이나 강에 유해한 물질이 유입된다면 어느 정도 확산되는지에 따라 그 물질의 전파된 범위와 농도가 달라지는 것을 알 수 있을 것이다. 그 오염물질의 거동은 연직 혼합 작용과 횡방향 및 종방향의 퍼짐 현상으로 설명할 수 있다. 횡방향과 종방향의 퍼짐은 확산과 분산작용을 나타내며, 연직혼합 작용은 주변 물과의 섞임 현상을 의미한다. 강에서 오염물질의 농도는 시간이 갈수록 작아지게 되며, 이러한 물질의 거동을 예측하기 위해서는 대상에 적합한 계수와 그에 따른 이동시간을 추정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 하천에 유입된 오염물질의 분산에 많은 영향을 미치는 확산계수를 산정하고 확산계수를 산정하기 위하여 실제 하천에서 추적자를 이용한 현장 실험을 수행하였다. 또한 실험결과를 이용하여 확산계수의 변화에 따른 오염물 농도분포의 변화 양상을 분석하였다.

\* 한국원자력연구원 환경안전연구부 · E-mail : [ki-chul@kaeri.re.kr](mailto:ki-chul@kaeri.re.kr)

\*\* 한국원자력연구원 동위원소이용기술개발부 선임연구원 · E-mail : [shjung3@kaeri.re.kr](mailto:shjung3@kaeri.re.kr)

\*\*\* 정희원 · 성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : [jlllee@skku.edu](mailto:jlllee@skku.edu)

\*\*\*\*정희원 · 한국원자력연구원 환경안전연구부 책임연구원 · E-mail : [kssuh@kaeri.re.kr](mailto:kssuh@kaeri.re.kr)

## 2. 현장실험 및 수치모사

본 연구에서는 보다 정확한 확산 범위와 이동시간을 산출하기 위해서 경상북도 경주시 양북면에 위치한 지방2급 소하천인 대중천에서 실험을 하였으며 모델링은 경주시 봉길면 구길교 지점부터 하류로 약 2km구간에 대해 모델링을 수행하였다. 모델은 하천의 흐름과 오염물질의 확산을 파악하기 위하여 RMA2, RMA4 프로그램을 사용하였으며, 지배방정식은 식 (1)~(4)와 같다(King and Norton, 1978).

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

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[ E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \quad (2)$$

$$+ gh \left[ \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{gun^2}{(1.486h^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{1/2}$$

$$\zeta V_a^2 \cos \psi - 2hv\omega \sin \Phi = 0$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[ E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] \quad (3)$$

$$+ gh \left[ \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{gvn^2}{(1.486h^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{1/2}$$

$$\zeta V_a^2 \sin \psi - 2hv\omega \sin \Phi = 0$$

$$h \left[ \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial c}{\partial y} - \sigma + kc + \frac{R(c)}{h} \right] = 0 \quad (4)$$

여기서,  $u, v$ 는 직교 좌표계에서의 수심 적분한 수평흐름 속도,  $x, y, t$ 는 직교 좌표계 및 시간,  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $E$ 는 와점성계수,  $a$ 는 하상고,  $h$ 는 수심,  $g$ 는 중력가속도,  $n$ 은 Manning 조도계수,  $\zeta$ 는 바람에 의한 전단 계수,  $V_a$ 는 풍속,  $\psi$ 는 풍향,  $\Phi$ 는 위도,  $\omega$ 는 지구의 회전 각속도,  $c$ 는 농도,  $D_x$ 는 종 방향 확산계수,  $D_y$ 는 횡 방향 확산계수,  $\sigma$ 는 source,  $k$ 는 decay,  $R(c)$ 는 강수량을 나타낸다. 하천의 오염물질의 확산에 많은 영향을 미치는 확산계수는 추적자 농도의 측정 결과를 바탕으로 실험구간의 중·형 확산계수를 식 (5)과 같이 모멘트 방법(Fischer, 1979)을 이용하여 계수의 값을 산정하였다.

$$\frac{d\sigma_x^2}{dt} = 2E_x \quad (5)$$

여기서,  $\sigma_x$ 는 거리에 따른 농도 분포의 분산이며  $E_x$ 는 종확산계수이다. 이 식에서 자연하천에 오염물질이 유입된 후 경과 시간이 증가함에 따라 오염물질의 분산정도는 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 자연하천에서 확산 실험시 측정상의 어려움 때문에 거리-농도 분포 곡선 대신 시간-농도 분포곡선을 구한다. 만약 난류확산이 유속에 비해 충분히 작다면 식 (6)을 이용하여 시간-농도 분포의 분산  $\sigma_t^2$ 으로 변환 시킬 수 있다(Godfrey와 Frederik, 1970).

$$\sigma_x^2 = U\sigma_t^2 \quad (6)$$

여기서,  $U$ 는 평균유속이고  $\sigma_t$ 는 시간-농도 분포의 분산이다. 식 (5)를 식 (6)에 대입하면 식 (7)

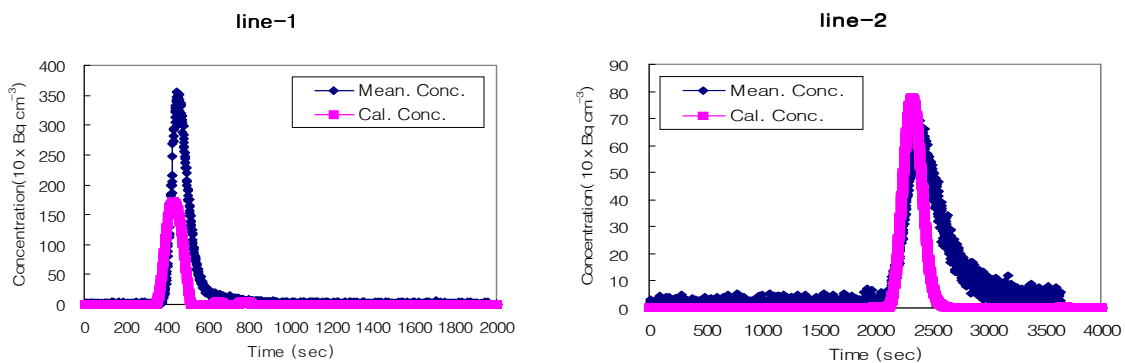
과 같은 식을 유도하여 종확산계수를 구할 수 있다.

$$E_x = \frac{1}{2} U^2 \frac{d\sigma_t^2}{dt} \quad (7)$$

식 (7)을 이용하여 산정된 계수 값과 농도 값의 분포를 표 1 및 그림 1과 같이 나타내었다.

**표 1. moment method법에 의해 산정된 확산계수**

$D_x$	$D_y$
0.6	0.012



**그림 1. 관측 농도값과 계산 농도값 비교**

### 3. 결 론

실험을 통하여 관측한 추적자 농도값과 수치모델의 계산 농도값의 비교결과 첫 번째 지점인 line 1에서는 계산값의 농도가 관측값의 농도보다 작게 나타났다. 이는 injection 지점과 line1의 지점간의 거리가 짧고 유속의 흐름이 비교적 빨라 하천에서의 추적자 농도가 완전 혼합을 하지 못함으로서 나타나는 현상으로 보인다. 그러나 line2 구간에서는 충분한 거리로 인하여 완전 혼합이 이루어져 관측값과 계산값의 농도가 비교적 일치하는 것을 알 수 있다. 이 같은 현장 관측 및 분석 자료는 하천 흐름 해석 및 오염물 이동 연구에 있어 확산계수 산정시 기초자료로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

### 감 사 의 글

본 연구는 교육과학기술부에서 시행하는 원자력기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

1. Godfrey RG and Frederick BJ(1970). Stream dispersion at selected sites, United State Geol, Sur. prof, pp. 443-451.
2. Fischer HB and Imberger J(1979). Mixing in inland and coastal water, Academic Press.
3. King IP and Norton WR(1978). Recent application of RMA is finite element modes for two-dimensional hydrodynamics model and water quality, In Finite Element in Water Resources, Brebbia C.A, et al Pentech Press, pp. 281-299.