

## 하천에서 1차원 오염물질 거동 해석을 위한 정체시간분포의 양해적 해석해

### An explicit solution of residence time distribution for analyzing one-dimensional solute transport in streams

김병욱\*, 권시윤\*\*, 서일원\*\*\*

Byunguk Kim, Siyoon Kwon, Il Won Seo

#### 요 지

자연하천에서 오염물질의 혼합 거동은 비균일한 지형학적 요인으로 인해 매우 복잡한 특성을 나타낸다. 일반적으로 오염물질 거동 모델링에서는 수체에서의 혼합을 Fick의 법칙에 따라 유속에 의한 이송과 난류에 의한 확산으로 계산하고, 국부적인 정체현상 등에 의한 non-Fickian 혼합을 야기하는 하천의 특성을 기하학적 지형 형상으로 구현하여 실제 현상에 근접한 혼합 거동을 재현한다. 하지만 계산의 효율성을 위하여 모델링의 차원을 낮추는 경우, 하천의 지형을 경계조건으로 고려할 수 없게 된다. 특히, 1차원 모델링의 경우 하천의 비균일성을 무시하고 1개의 유선으로 간주하며, 이 경우 non-Fickian 물질이동 해석을 위한 추가적인 현상학적 해석이 필요하다.

지난 50년간, non-Fickian 물질이동 해석을 위한 다양한 현상학적 모형이 제시되어 왔다. 하천을 흐름영역과 정체영역으로 구분하고 두 개의 영역 사이의 물질교환 속도를 모델링하거나, Random walk 개념으로 물질이 이동하는 경우와 이동하지 않는 경우를 확률론적으로 모델링하거나, 물질이 정체되었을 때 다시 빠져나오는 시간을 모델링하는 경우가 그 예이다. 본 연구에서는 선행연구에서 제시한 음함수 형태의 현상학적 모형을 기반으로, 수치적 반복계산 없이 상류 경계에서 임의의 형태의 농도곡선(shape-free breakthrough curve)을 갖는 오염물질운(cloud)이 일정 거리를 유하하며 발생하는 변화를 예측할 수 있는 해를 제시한다. 본 연구의 방법론은 추적법(routing procedure)을 활용한 Fickian 혼합 해석, 전달함수(transfer function) 형태의 정체시간 분포 해석, 그리고 라플라스 도메인에서의 해석해 유도를 포함한다. 본 연구에서 제시된 해는 2020년 경상북도 김천시에 위치한 감천의 4.5 km 구간에서 수행한 추적자 실험의 현장 자료를 통해 정확도를 검증하여 타당성을 입증하였다.

**핵심용어** : 하천 혼합, 오염물질 혼합해석, 추적법, 시간-농도곡선 예측, 정체시간분포, 해석해

#### 감사의 글

본 연구는 환경부 미세플라스틱 측정 및 위해성 평가 기술개발사업(2021003110003)의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

\* 정회원 · 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 박사과정 · E-mail : [kim.byunguk@snu.ac.kr](mailto:kim.byunguk@snu.ac.kr)

\*\* 정회원 · 서울대학교 건설환경종합연구소 박사후연구원 · E-mail : [ksy92@snu.ac.kr](mailto:ksy92@snu.ac.kr)

\*\*\* 정회원 · 서울대학교 건설환경공학부 명예교수 · E-mail : [seoilwon@snu.ac.kr](mailto:seoilwon@snu.ac.kr)