

혼합대 흐름이 지표수 용질거동에 미치는 영향에 대한 수치해석 연구

Numerical Study on the Effect of Hyporheic Flow on Solute Transport in Surface Water

김준성*, 정성현**, 백동해***

Jun Song Kim, Sung Hyun Jung, Donghae Baek

요 지

지표수와 하상 경계층에서 발생하는 흐름 교환은 하천, 호소, 연안, 해안 등 자연계에 존재하는 수환경시스템에서 일반적으로 나타나는 수리학적 특성으로서, 흐름 교환이 발생하는 경계층 아래 하상층 영역을 혼합대(hyporheic zone)라 부른다. 수질오염사고 등에 의해 외부의 오염물질이 하천 내 유입될 경우, 혼합대 흐름에 의해 하상층으로 침투되고 지표수 대비 유속이 느린 하상 내 공극 흐름에 의해 거동함에 따라 이들의 하천 내 체류시간이 증가하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 지표수와 하상 흐름을 연계한 수치해석 방법을 적용하여 혼합대가 지표수 내 용질 체류시간에 미치는 영향을 분석하였다.

먼저 연직 2차원 Reynolds 평균 Navier-Stokes(RANS) 방정식과 Darcy 방정식을 연계하여 지표수와 하상 내 흐름을 해석하였다. 지표수 영역은 RANS 방정식을 이용하여 모의하였고, 지표수 흐름해석에서 얻어진 하상의 압력장을 경계조건으로 하여 Darcy 방정식과 함께 하상 내 흐름을 모의하였다. 여기서 하상의 형태는 자연계 하천에서 일반적으로 관찰되는 사륜하상(Ripple bed)으로 모사하였다. 이후, 지표수-하상 연계모의를 통해 얻어진 흐름 결과를 바탕으로 지표수-하상 경계층에서 용질거동을 모의하였다. 흐름 모의결과를 과거 실험자료와 비교한 결과, 지표수 영역 내 연직흐름 분포를 정확하게 재현하였고, 동시에 혼합대 흐름 구조에 큰 영향을 미치는 지표수-하상 경계층 압력 분포 역시 관측값과 유사하게 나타났다.

용질거동 해석을 통해 얻어진 용질의 체류시간을 분석한 결과, 혼합대 흐름이 고려된 경우(투수성 하상)와 고려되지 않은 경우(불투수성 하상)를 비교했을 때 전자에서 체류시간 분포의 감수곡선이 길어지고 침투농도가 감소하는 것으로 나타났다. 아울러, 지표수 영역의 유입부 경계의 평균 유속이 증가함에 따라 최대 체류시간이 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 지표수-하상 경계층에서의 압력 경사가 커져 혼합대 내 유속이 증가함에 기인하는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 혼합대, 용질거동, 지표수, 체류시간, 수치해석

감사의 글

본 연구는 한경국립대학교 건설환경연구소의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

* 정회원 · 한경국립대학교 건설환경공학부 조교수 · E-mail : jsk@hknu.ac.kr

** 정회원 · 연세대학교 공과대학 건설환경공학과 박사후연구원 · E-mail : jsungh@yonsei.ac.kr

*** 정회원 · 한국환경연구원 환경평가본부 부연구위원 · E-mail : dhbaek@kei.re.kr