

# 하이브리드 FVM/FDM 기반의 2차원 흐름 및 스칼라 이송 모형 개발

## Development of 2DH hydrodynamic and scalar transport model based on hybrid finite volume/finite difference method

황순철\*, 손상영\*\*

Sooncheol Hwang, Sangyoung Son

### 요 지

본 연구에서는 2차원 비선형 천수모형과 수심평균된 스칼라 이송모형을 해석하는 수치모형에 대해 기술하였다. 수치모형의 정확성을 보장함과 동시에 안정성을 높이기 위해 유한체적법, 플럭스 재구성 및 minmod 제한자를 사용하였다. 비선형 천수방정식의 이송항과 바닥 경사항은 계산된 수심의 양수 보존과 흐름의 정상 상태를 보장하기 위한 second order well-balanced positivity preserving central-upwind method를 이용하여 수치적으로 이산화되었다. 마찬가지로, 이송-확산 방정식 내 이송항은 동일한 2차 풍상차분법을 통해 수치적으로 풀이하였다. 격자점 경계면에서의 불연속으로 인한 수치진동을 방지하기 위해 이송항의 계산에 포함된 보존항의 차이로 인해 발생하는 스칼라의 수치확산을 최소화하기 위해 무차원의 비소산함수를 도입하였다. 또한, 확산항은 유한차분법을 이용하여 이산화하였다. 제안된 수치모형은 시간미분항의 계산을 위해 오일러 기법을 적용하여 계산된 수심 및 스칼라의 양수 보존여부와 함께 정지된 흐름의 정상 상태의 보존여부를 확인하였다. 제안된 수치모형의 해석 정확성을 평가하기 위해 1, 2차원 공간 내 다양한 흐름 조건에서의 해석해를 이용한 3개의 벤치마크 테스트를 수행하였다. 평균 제곱근 오차(Root Mean Squared Error, RMSE)를 산정하여 수치모형의 성능을 정량적으로 평가하였으며, 비소산함수를 적용함에 따라 스칼라의 수치확산이 감소하게 되었음을 확인하였다. 또한, 세 차례의 벤치마크 테스트 결과는 공통적으로 수치모형에 의해 계산된 결과값이 비소산함수를 고려함에 따라 해석해와 잘 일치함을 확인하였다.

**핵심용어** : 비선형 천수방정식, 이송-확산방정식, 스칼라 이송, 수치확산

### 감사의 글

본 연구는 2021년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2019R1A2C1089109).

\* 정회원 · 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학과 박사과정 · E-mail : [leneords@hanmail.net](mailto:leneords@hanmail.net)

\*\* 정회원 · 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 부교수 · E-mail : [sson@korea.ac.kr](mailto:sson@korea.ac.kr)