불연속 지형조건에 대한 Saint-Venant 방정식의 정해법

Exact solver of Saint-Venant system with discontinuous geometry

정재영*, 황진환**

Jaeyoung Jung, Hwang Jin Hwan

요 지

Saint-Venant 방정식은 수평규모가 수심규모보다 큰 천수흐름을 기술하는 수리동역학 모형으로 지난 수십년간 공학적 분야에서 널리 이용되어 왔다. 최근에도 기후변화에 따른 도시 홍수의 위기 증대로 홍수위기관리의 관심이 높아짐에 따라 홍수파(flood wave), 도시침수(urban inundation), 돌발홍수(flash flood) 등의 신속한 예측을 위한 Saint-Venant 방정식의 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 도시와 같은 인공구조물이 즐비한 상황에서 천수흐름을 해석하는 고전적인 수치해법들은 다양한 불연속 지형들의 존재로 인하여 불안정하며 지배방정식의 정해로 수치해가 잘 수렴하지 않는 문제가 있다. 지난 수년간 이를 해결하기 위해 불연속한 지형을 안정적으로 해결할 수 있는 수치기법의 연구가 진행되어 왔으나, 정해로의 수렴성, 정확성에 관하여 연구가 부족한 실정이다. 본 연구는 수치해법의 주요 구조를 구성하는 Saint-Venant 방정식의 불연속한 지형조건에 대한 리만 문제의 정해를 연구하였다. 쌍곡선형 시스템의 특징을 고려하여 요소파들(elementary waves)의 공식을 유도하였는데, 질량과 에너지의 보존법칙에 위배되지 않으며 운동량이송부의 비선형성과 지형의 불연속에 의한 비엄격성을 고려할 수 있는 조건을 제시하였다. 또한, 유도된 요소파들을 바탕으로 L-M & R-M 커브이론(Han et al. 2014)을 사용할 수 있는 조건과 당위성을 증명하였고, 이를 바탕으로 Saint-Venant 방정식의 정해법을 구성하였다. 리만문제의 다양한 초기조건들을 바탕으로 모든 경우의 정해 구조를 조사하였고, 이를 통해 불연속 지형에 대한 Saint-Venant 지배방정식의 정해가 다수해를 갖을 수 있음을 보였으며, 이를 근사할 수 있는 수치기법의 전략을 소개하였다.

핵심용어 : Saint-Venant 방정식, 불연속, 리만문제, 정해

감사의 글

이 성과는 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 2020R1A2B5B01002249). 이에 감사드립니다.

* 학생・서울대학교 공과대학 건설환경공학부 박사과정・E-mail : jlowc@snu.ac.kr

** 정회원・서울대학교 공과대학 건설환경공학부 교수・E-mail : jinhwang@snu.ac.kr