

3차원 동시 PIV, PTV를 활용한 난류가 관성 입자의 거동에 미치는 영향 분석

Analysis of the effect of turbulence on the motion of inertial particle using 3D simultaneous PIV,PTV

박형철*, 황진환**

Hyoungchul Park, Jin Hwan Hwang

요 지

바닥에서 생성되는 난류는 순간적으로 강한 모멘텀을 바닥에 전달함과 동시에 바닥에 있는 입자를 움직이게 한다. 경계층 내 난류 운동에 대한 분석은 다양한 유사 이송 문제를 이해하기 위해 필수적이며 이에 따라 많은 선행 연구들은 실험실 실험을 통해 해당 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 선행 연구에서 사용하지 못했던 진보된 실험 방법을 활용하여 바닥 경계층 내의 난류 운동에 대해 확인하고 해당 운동에 의해 관성 입자의 움직임이 어떻게 발생하는지에 대하여 물리적으로 설명하고자 한다. 다양한 흐름 조건에서 3가지의 입경 크기를 가지는 모래 입자를 가지고 실험을 수행하였으며, 실험 조건별 고해상도 유속장 및 관성 입자의 움직임은 3차원 입자 영상 유속계 (Particle Image Velocimetry; 이하 PIV)와 입자 추적 유속계 (Particle Tracking Velocimetry; 이하 PTV)를 동시에 적용하여 파악하였다.

취득된 3차원 유속장과 입자 궤적을 기반으로 실험 조건별 흐름 및 입자 거동 특성에 대해 분석하였으며, 관성 입자의 움직임을 발생시키는 3차원 난류 운동은 측정된 유속장에서 산정한 Q-criterion 값을 기반으로 도식화하였다. 측정값 내에는 난류 운동에 대한 정보와 더불어 잡음이 포함되어 있으므로 이를 제거하고자 적합 직교 분해 (Proper Orthogonal Decomposition; 이하 POD) 방법을 적용하였다. 그리고 POD로 추출한 유속장을 통해 바닥면 부근에 존재하는 헤어핀 와류 운동 혹은 와류 묶음과 같은 난류 고유 구조를 파악하였다. 해당 와류 운동들의 3차원 난류 특성을 확인하고자 비등방성 불변 지도(anisotropy invariant map)를 활용하였으며 경계층 내부에서 난류의 형태가 흐름 방향으로 늘어진 럭비공 형태임을 확인하였다. 마지막으로, 입자의 움직임을 발생시키는 난류 이벤트를 결정하고자 사방구 분석 (Quadrant analysis) 기법을 적용하였으며 흐름 조건별로 입자를 움직이게 하는 난류 이벤트는 달라짐을 확인하였다.

핵심용어 : 3차원 입자 영상 유속계, 입자 추적 유속계 난류 유동, 바닥 경계층, 레이놀즈 전단응력

감사의 글

본 연구는 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2020R1A2B5B01002249)

* 정회원 · 서울대학교 공과대학 건설종합연구소 박사후연구원 · E-mail : hyungchul1288@snu.ac.kr

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