

첨단 유동가시화 기법들과 Blue Ocean 전략

이상준*

Advanced Flow Visualization Technologies and Blue Ocean Strategy

Sang Joon Lee*

Abstract Recently, the next-generation advanced flow visualization techniques such as holographic PIV, dynamic PIV, echo-PIV, micro/nano-PIV, and X-ray PIV have been introduced. These advanced measurement techniques have a big potential as the core technology for analyzing outmost thermo-fluid flows in future. They would be indispensable in solving complicated thermo-fluid flow problems not only in industrial fields such as automotive, space, electronics, aero- and hydro-dynamics, steel, and information engineering, but also in the research fields of medical science, bio-medical engineering, environmental and energy technology etc. Especially, NT (Nano Technology) and BT (Bio Technology) strongly demand these advanced measurement techniques, because it is impossible for conventional measurement methods to observe the nano- and bio-fluidic flow phenomena. In this article, the basic principle of these high-tech flow visualization techniques and their practical applications which cannot be resolved by conventional methods, such as blood flows in a micro-tube, in vivo analysis of micro-circulation, and flow around a living body are introduced as a blue ocean strategy.

Key Words : Flow visualization (유동가시화기법), PIV(입자영상유속계), Bio-fluid flows(생체유체유동), Micro-fluid flows(미세유체유동)

1. 서 론

최근 IT, BT, NT 기술 및 관련 연구가 활발해짐에 따라 이러한 유동가시화 기술도 새로운 전환점을 맞고 있다. 디텍터(detector) 및 레이저 기술의 발달로 복잡한 난류전단유동을 빠른 속도로 연속적으로 측정할 수 있는 dynamic PIV, 3차원 속도성분의 공간분포를 한꺼번에 측정할 수 있는 holographic PIV, 인체를 비롯한 생체 내부 유동을 측정할 수 있는 echo PIV 및 X-ray PIV 기법, 광학 현미경 및 X선 현미경을 사용하여 micro/nano 스케일의 유동을 가시화할 수 있는 micro/nano PIV 기법 등이 그것이다. 본 논문에서는 이러한 첨단 유동가시화 기법의 원리 및 적용연구를 소개하고 향후 이들 가시화기법들을 이용하여 BT, NT 등 새로운 산업을 주도 하기위한 blue ocean 전략에 대해서 논의하고자 한다.

2. 첨단 유동가시화 기법 및 적용연구

2.1 Holographic PIV 기법을 이용한 미세유동 연구

홀로그래픽 PIV(HPIV)기법은 진정한 의미의 3차원 속도장 측정기법이다⁽¹⁾. 그러나 현재 광학기술과 디지털 영상기록장치의 한계로 인해, 측정 가능한 3차원 공간의 크기에는 제한이 따른다. 따라서 디지털 방식의 HPIV 기법은 지금까지 밝히기 힘들었던 미세유동 분야의 3차원 속도장 측정에 유용하다. Fig. 1은 미세 튜브 내부의 3차원 속도장 측정에 사용된 디지털 HPTV 시스템의 개략도이다. 현미경을 이용함에 따라 대물렌즈의 배율과 NA값에 따라 깊이 방향으로의 측정 영역이 정해지게 되며, 적절한 대물렌즈의 선택을 통해 100 μm 직경의 미세 튜브내부 유동을 측정하였다. 향후 본 시스템을 이용하여 지금까지 밝히기 힘들었던 다양한 형상의 미세구조 내부의 3차원 마이크로 스케일 유동의 3차원 속도장 측정에 이용할 수 있을 것이다.

*포항공과대학교 기계공학과, sjlee@postech.ac.kr

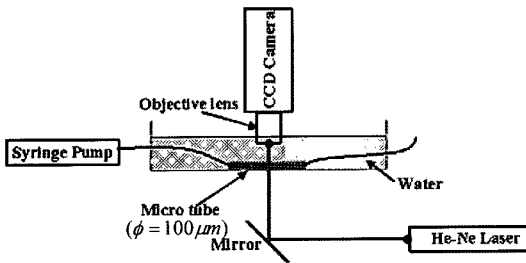


Fig. 1. Schematic diagram of digital HPTV system for measuring 3D flow inside a micro tube.

2.2 혈액유동의 Dynamic PIV 측정

태아 혈관내부 유동특성을 규명하기 위하여 micro-PIV 실험장치에 고속의 CMOS camera를 적용한 dynamic PIV 기법을 이용하여 혈액유동을 가시화하였다. 본 연구에서는 혈액 속의 적혈구를 추적입자로 사용하여 *in-vivo*로 혈관 내부 혈류유동의 속도장을 정량적으로 측정하였으며, Fig. 2와 같은 결과를 얻었다. 그리고 dynamic PIV 측정기법의 장점인 높은 시간분해능을 이용하여 측정된 속도장 결과를 FFT 분석하여 동맥과 같은 큰 혈관에서의 혈류의 맥동성(pulsatility)에 대한 정량적 정보를 획득할 수 있었다. 이와 같은 혈액 유동에의 micro or dynamic PIV 기법의 적용은 향후 순환기 질환의 진단 및 예방을 위한 혈류역학 분야 연구에 크게 이바지 할 것이다.

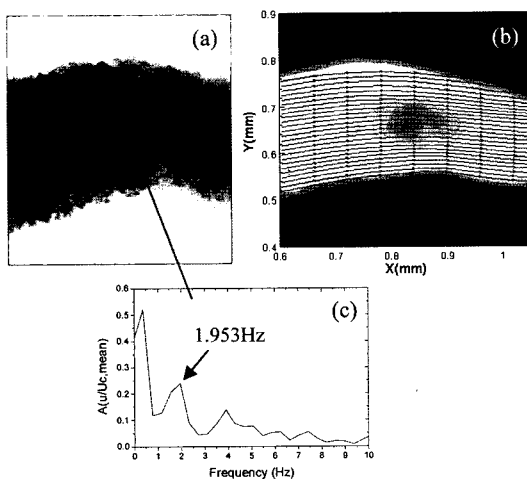


Fig. 2. Red blood cells in an artery (a), mean velocity field (b) power spectrum density (c) for analyzing pulsatile blood flow in a chicken embryo.

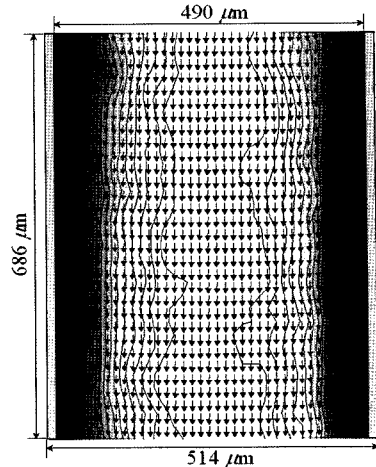


Fig. 3. Streamwise mean velocity field of whole blood flow in an opaque microchannel.

2.3 가속기 X선 PIV 기법

간섭성(coherence)이 우수한 방사광 가속기 X선을 광원으로 한 X선 PIV 기법은 불투명한 유체 유동 및 불투명한 물체 내부 유동에 PIV 속도장 측정기법을 적용할 수 있다는 장점이 있다. 뿐만 아니라 X선의 짧은 파장(수Å~수십 nm)을 이용하여 나노 스케일의 해상도를 가진 영상을 획득할 수도 있다. 가속기 X선 PIV 기법의 구성은 X선 영상기법을 기본으로 하여 PIV 기법을 수행할 수 있도록 PIV용 CCD 카메라와 셔터 장치, 그리고 이를 동기시키는 동기장치로 이루어 진다. Fig. 3은 가속기 X선 PIV 기법을 이용하여 불투명한 채널 내부를 흘러가는 불투명한 유체인 혈액유동을 정량적으로 측정된 결과이다. 본 연구는 포항가속기 7B2 빔라인에서 수행되었으며, 위상대비(phase contrast)와 같은 X선 영상기법을 통해 혈액유동의 패턴을 가시화할 수 있었다. 이러한 패턴 영상에 PIV 알고리즘을 적용하여 Fig. 3과 같은 정량적인 속도장 결과를 얻을 수 있었다⁽²⁾. 향후, 가속기 X선 PIV 기법은 다양한 생체 유동 및 나노 스케일 유동을 정량적으로 가시화하는데 이바지할 것이다.

2.4 임상용 X선 PIV 기법

임상용 X선 PIV 기법은 의료용이나 비파괴 검사용으로 널리 쓰이는 X선관을 광원으로 하는 X선 PIV 시스템이다(Fig. 4). 본 시스템은 고해상도의 X선 카메라와 초점면적이 작은 임상용 X선관으로 구성되었

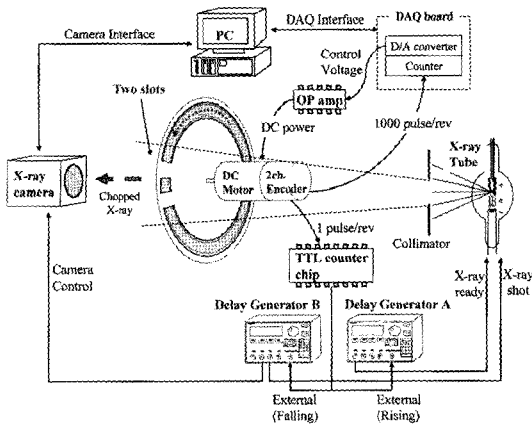


Fig. 4. Schematic diagram of Medical X-ray PIV system.

으며, PIV실험에 필수적인 X선 2중 노출을 위해 틈새(slot)가 있는 납판으로 된 회전디스크 방식의 새로운 X선 노출제어장치를 개발하였다. 그리고 통상적인 X선관을 PIV기법에 적용하기 위한 동기화 기법도 새롭게 개발되었다.

이 임상용 X선 PIV 시스템을 불투명한 원형 관 내부의 유동에 적용하여, 유동가시화 가능성과 유용성을 확인하였다. 향후 시스템 하드웨어의 성능개선과 함께 보다 적합한 추적입자를 개발하게 되면, 산업체 열유동 문제 뿐만 아니라 의료용, 비파괴검사 등 다양한 분야에 적용할 수 있을 것으로 기대되어진다.

3. 결 론

앞서 설명한 첨단 유동가시화기법들은 기존의 열유동 현상 뿐만 아니라 다양한 BT, NT 연구분야에서 발생하는 비가시 영역의 유동 현상까지 관찰할 수 있는 단계까지 이르렀다. 따라서 blue ocean 전략으로 이들 첨단 유동가시화 기법들을 기존의 방식으로는 측정이 불가능하였던 분야나 국가 성장동력과 연결된 연구 분야에 적용하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

후 기

포항방사광가속기에서의 실험은 과학기술처와 포항공대의 지원을 받았습니다. 본 연구는 과학재단의 2단계 국가지정연구실 사업(M1060000276-0610000-27610), 특정기초연구(R01-2004-000-10500-0)와 Systems Biodynamics NCRC 연구센터의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Kim, S. and Lee, S. J., 2006, "Effect of Particle Concentration on Digital Holographic PIV Measurement", Proc. 11th Asian Congress of Fluid Mech., May 22-25, 2006, Kuala Lumpur, Malaysia.
- 2) Lee, S. J., and Kim, G. B., 2005, "Synchrotron Microimaging Technique For Measuring the Velocity Field of Real Blood Flows," J. Appl. Phys., Vol. 97, pp. 064701.