

Micro-PIV Velocity Field Measurements of Flow inside a Microchannel

허정기* · 이상준*

INTRODUCTION

전세계적으로 환경오염의 증가와 사람들의 생활패턴의 변화로 인해 호흡기와 순환기 계통의 질병이 증가하고 있는 추세이며, 생활수준의 향상으로 인해 인구의 고령화가 진행되면서 보건의식이 높아지고 있는 실정이다. 이에 새로운 의료기술 및 의공제품의 수요가 급격히 증가하고 있고, 선진국에서는 이미 의공학(Bio Engineering)분야가 연구개발과 산업계에서 가장 중요한 분야 중 하나로 되었다. 우리나라에서도 향후 이 분야의 기술수요가 크게 증가할 것으로 예상된다.

의공학이란, 인간의 신체구조와 인체 내부 생리현상에 대한 기본원리를 공학적인 측면에서 파악하여 실용적인 모델화와 설계기술화를 꾀함으로써, 보다 정확하고 효과적인 진단법/진단기구, 치료법/치료기구, 인공장기와 재활기구 등의 의공제품을 개발하고자 하는, 의학과 공학이 접목된 학제간(interdisciplinary) 기술이다. 따라서 다양한 분야의 기술이 접목된 고도의 기술 집약적인 첨단 복합공학이라 할 수 있다.

인간의 호흡기나 순환계를 모델링 혹은 설계기술화하기 위해서는 인간의 신체 장기들을 단순 모델화한 micro-channel 내부유동에 대한 체계적인 연구가 필수적이다. micro-channel이나 덕트 내부 유동과 같은 미소크기의 구조물 내부의 유동은 기존의 거시적인 관점에서 사용되고 있는 유체역학 이론을 그대로 적용할 수 없기 때문에 이와 관련된 미시적 관점에서의 유체역학 이론의 정립과 함께 보다 체계적인 연구가 필요하다.

또한 이러한 micro-channel 내부 유동은 점성효과에 의해 벽면에 경계층유동과 모세관 효과를 유발하게 되는데, 경계층유동의 속도정보와 난류유동사이의 상호관계는 아직까지 정량적으로 제대로 규명되어 있지

않다. 이것은 micro-channel 내부 유동의 유동특성을 정확히 해석하기 위해서는 전체 유동장에 대한 유동정보가 필요한데, 대부분의 기존 연구에서는 점(point) 측정 방식으로 몇몇 위치에서의 국부적인 속도 값만을 얻었기 때문이다. 최근 컴퓨터와 화상처리기술의 발달로 유동의 순간 속도장을 짧은 시간 내에 구할 수 있는 PIV(Particle Imaging Velocimetry) 속도장 측정기법이 개발되어, 유체분야 연구에 획기적인 전환점을 맞고 있다. 따라서 본 연구에서는 우선 신체 장기들을 단순 모델화한 micro-channel을 MEMS(Micro-Electro-Mechanical System) 가공법으로 제작하고, micro-channel 내부 유동을 micro-PIV 속도장 측정기법을 이용하여 해석하고자 한다.

METHODS

실험장치인 micro-channel은 포항공대 MEMS 연구실의 도움을 받아 제작하였는데, Fig. 1과 같은 형상을 갖고 있다. 작동유체로는 물을 사용하였으며, 본 실험에는 너비가 400 μm 인 micro-channel을 사용하였다. Fig. 2는 Micro-PIV 속도장 측정 시스템을 나타낸 것으로 관측창(field of view)의 크기가 매우 작기 때문에 CCD 카메라 앞에 배율이 매우 큰 long-distance microscope 렌즈를 부착하고 깨끗한 입자영상을 얻기 위해서 pulsed Nd:YAG 레이저의 light intensity를 증가시키고, 영상 취득 후 background image 제거와 같은 후 처리 과정을 거쳤다. 또한 channel 폭이 μ -scale이기 때문에 유동의 tracer 입자로는 직경이 500-

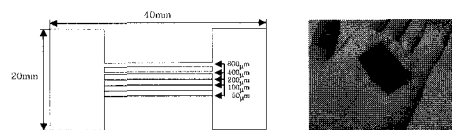


Fig 1. Micro Channel Manufactured by MEMS

* 포항공대 기계공학과

800nm 정도인 polymer micro-spheres를 사용하였다.

우선 micro-channel 윗부분을 덮을 수 있는 jig를 아크릴로 제작하고, syringe 펌프를 연결한 뒤 Nd : YAG 레이저에서 나온 레이저광을 광학장치를 통해 일정 두께의 레이저 sheet로 만든 뒤 원하는 측정단면에 조명하였다. 그리고, 펌프를 작동시켜 tracer particle을 포함한 작동유체를 채널 내부로 흘러 지나

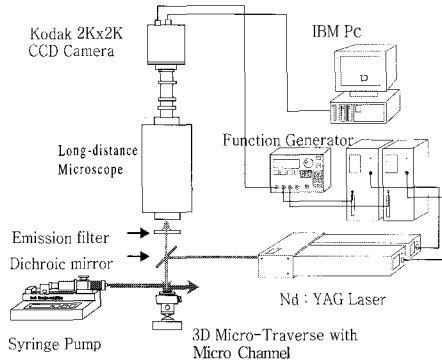


Fig. 2 Schematic Diagram of Experimental Setup

게 하고 측정단면 내부의 tracing 입자들의 궤적을 CCD 카메라로 기록한 후 화상처리기법을 이용하여 입자들의 변위 정보로부터 순간 속도장을 측정하였다. 각각의 실험조건에 따라 순간 속도장을 수 백장씩 측정하고, 이들을 통계 처리하여 얻은 평균 속도장 정보로부터 micro-channel 내부 유동의 유동구조를 해석하였다.

RESULTS AND DISCUSSION

깊이가 48 μm 이고 폭이 400 μm 인 micro channel의 inlet, middle 그리고 outlet부분에 대해 syringe pump의 유량을 5ml, 10ml로 변화시켜가면서 각각 수백장의 입자영상을 취득하였다. 측정단면(field of view)의 크기는 약 800 \times 800 μm 로 하였다. 취득한 영상을 image processing을 거쳐 hybrid PTV 기법을 이용해 150장의 순간 속도장 결과를 얻었다. 이렇게 얻어진 순간 속도장 데이터를 통계 처리하여 평균 속도장과 난류구조에 관한 유동정보들을 구하였다. Fig. 3은 CCD 카메라로 취득한 입자 영상의 raw data 와 이를 image processing 한 후의 영상을 나타낸 것이다. 후처리 과정을 거친 영상에서 개개의 입자가 보다 뚜렷이 보이는 것을 확인할 수 있다.

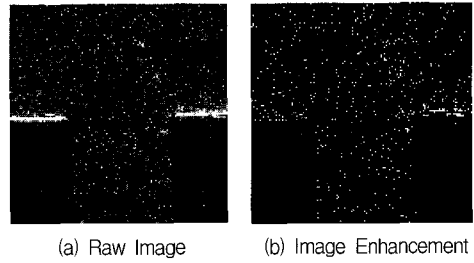


Fig. 3 Partial Images of Micro Channel Flow

Fig. 4는 유량이 $Q=5\text{ml/hr}$ 인 경우, inlet부분에서의 평균 속도장 결과를 보여주고 있다. 주유동 방향 속도 성분(U)의 평균 속도장 분포를 보면 거의 대칭구조를 나타내고 있다. 채널 입구에서는 거의 균일한 속도분포를 가지며 하류로 나아감에 따라 벽면 가까이에 형성된 경계층이 두꺼워지며, 채널 중앙 부분의 균일 속도 구간이 줄어들고 있다. 한편 폭방향(V) 속도분포를 살펴보면, 오른쪽 부분의 속도분포가 왼쪽에 비해 약간 작게 나타나는데, 이는 400 μm 채널의 오른쪽에 위치한 800 μm 채널 부분으로의 유입량이 400 μm 왼쪽에 위치한 200 μm 채널로의 유입량보다 크기 때문에 나타나는 현상으로 볼 수 있다.

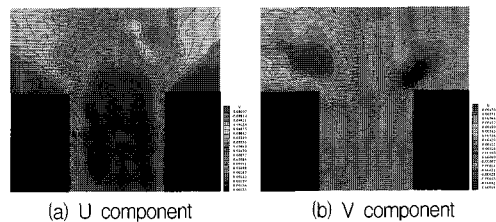


Fig. 4 Mean Velocity Fields in Micro Channel Flow

REFERENCES

- (1) H.B. Kim and S.J. Lee, "Performance Improvement of 2-Frame PTV Method Using an Adaptive Hybrid Scheme", *KSME J.*, Vol. 24(3), pp. 443-449, 2000
- (2) J.G. Santiago and R.J. Adrian, "A Particle Image Velocimetry System for Microfluidics", *Experiments in Fluids*, Vol. 25, pp. 316-319, 1998
- (3) C.D. Meinhart, S.T. Wereley and J.G. Santiago, "PIV Measurements of a Microchannel flow", *Experiments in Fluids*, Vol. 27, pp. 414-419, 1999