

유체 마이크로 렌즈를 이용한 마이크로 PIV 측정

Micro PIV Measurement using Micro Liquid Lens

*# 박철우¹, 정성룡², 당동명², 최진호², 김규만¹

*# C. W. Park(chwoopark@knu.ac.kr)¹, S. R. Jeong², T. D. Dang², J. H. Choi², G. M. Kim¹

¹ 경북대학교 기계공학부, ² 경북대학교 대학원 기계공학과

Key words : Micro liquid lens, Micro-PIV, Micro channel, Laser light sheet

1. 서론

최근 들면서 BT(bio technology), NT(nano technology)와 같은 주요 기술분야에 대한 관심이 높아짐에 따라 Bio-MEMS와 같은 학제간 기술 활용 연구가 많이 이루어지고 있다. Bio-MEMS는 초소형기계 가공기술을 생명공학 분야로 응용한 첨단 기술로서, 생체분자의 적용 매커니즘과 혈관 내부유동의 해석 및 제어, Lab-On-a-chip(LOC), DNA 칩, 세포의 점착력 해석 등 다양한 연구 분야에 적용 및 활용이 이루어지고 있다.

이들은 특히 바이오 분야 중에서는 마이크로 및 나노스케일 시스템을 이용한 생체내 진단기, 약물전달 시스템, Lab-On-a-Chip(LOC) 등이 활발히 개발되고 있으며, 이러한 마이크로 시스템에 활용된 핵심기술은 미세유체기기(microfluidics), 마이크로 전자시스템 (microelectrics), 마이크로광학(microoptics) 및 초미세가공(miromachining)등이며, 이들을 활용하여 유체를 제어하는 연구들이 이루어져 오고 있다.^{1,2}

본 연구에서는 마이크로 시스템을 활용한 중요한 응용기술의 하나로 유체 가압을 활용한 마이크로 유체렌즈(micro liquid lens)를 활용한 연구를 수행하였는데, 이러한 미세광학 시스템은 의학용 내시경, 텔레커뮤니케이션, 광학 데이터 저장장치(optical data storage), 광 스위치(optical switch) 및 광학 스캐너 등을 비롯한 다양한 광학부품 관련 분야에 광범위하게 응용될 수 있는 연구 분야이다.³

일반적으로 광학 렌즈는 제작 시에 주로 고체의 형태로 많이 만들어지기 때문에 일정한 형상을 지니게 되고, 각 렌즈의 특성에 따라 고정된 초점(focus) 거리를 가진 상태로 제작되어 활용되게 된다. 이러한 이유로, 실험 조건의 변화 및 렌즈 초점거리의 변화와 같은 경계조건이 변화될시에는 그에 해당하는 초점 거리를 가진 렌즈를 추가 구입하여야 하는 불편함이 발생되게 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 경계조건 변화에 다소 유연하게 활용될 수 있는 초점거리의 가변이 가능한 유체가압을 활용할 수 있는 마이크로 유체렌즈를 제작하고 이를 활용하여 마이크로 채널 내부를 흐르는 유동의 속도장 측정의 조명 장치로의 활용 가능성을 평가하여 보았다. 속도계측 방법으로는 유체역학 분야에서 널리 활용되고 있는 입자영상유속계(PIV)를 활용하여 실험을 수행하였다.

그러나 현재 활용되고 있는 micro-PIV 계측 방법은 추적입자의 일반 산란광을 활용하지 않고 레이저 조명장치의 제한으로 미세 채널 내부 전체의 제적조명을 통한 형광 계측을 활용하고 있으므로 S/N비가 매우 낮은 단점을 가지고 있다. 그러나 본 연구에서 제작된 마이크로 스케일의 유체렌즈를 활용할 경우는 매우 얇은 (수백 마이크로 order) 레이저 단면 조명이 가능하므로 추적입자의 산란광을 직접 이미징 할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 일반적인 PIV 측정기법을 마이크로 스케일로 활용할 수 있도록 초점 가변형 유체렌즈를 통하여 레이저 시트를 만든 후, 마이크로 채널 내부의 속도장을 측정하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1 은 본 연구의 속도장 측정을 위해서 제작된 가변형 마이크로 유체렌즈 및 유체가 구동될 마이크로 채널의 모습을 보여주고 있다. 실험에 사용된 마이크로 채널은 PDMS를 이용하여 제작되었으며 마이크로 채널의 형상은 사각이며, 크기는 폭 500 μm \times 높이 300 μm 로 설계되었다. 마이크로 유체렌즈는 본 연구 및 기타 활용을 위하여 유체가압을 통한 초점거리 가변형으로 제작되었지만 본 실험에서는 한 초점거리에 대한 단면 조명이 가능하도록 반원 실린더 형을 가진 유체렌즈로 제작하여 실험을 수행하였다.

마이크로 유체렌즈의 제작방법은 먼저, SU-8 몰드 마스터를 만들고 PDMS를 SU-8 몰드에 부어 65°C에서 1시간 동안 굽는다. 그리고 나서 굳어진 PDMS를 몰드와 분리시켜서 마이크로 유체렌즈의 전체적인 모양을 본뜬다. 이때 몰드 마스터와 채널 사이의 표면저항이 너무 커서 분리 시에 채널이 손상될 수 있기 때문에 마스터와 채널 사이에 LOR이라는 물질을 첨가해서 표면 저항을 낮춘 뒤에 두 부분을 분리해야 한다. 마스터와 채널이 분리된 후에 남아있는 LOR를 리무버를 이용해서 녹이면, 비로소 깨끗한 채널을 얻을 수 있다. 그리고 유체의 통로가 될 수 있는 구멍을 채널 양쪽에 뚫어준 뒤에 PDMS 필름을 제작한다.

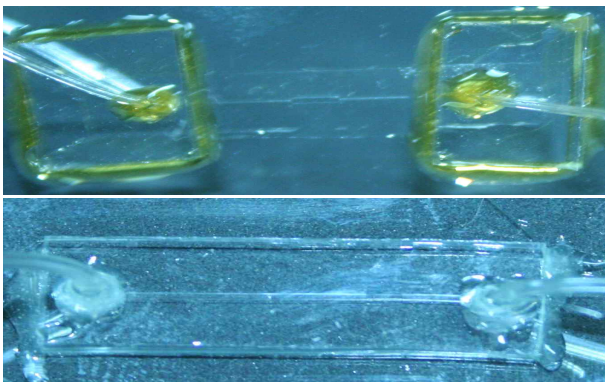


Fig. 1 Variable micro liquid cylindrical lens(upper) and micro channel(lower)

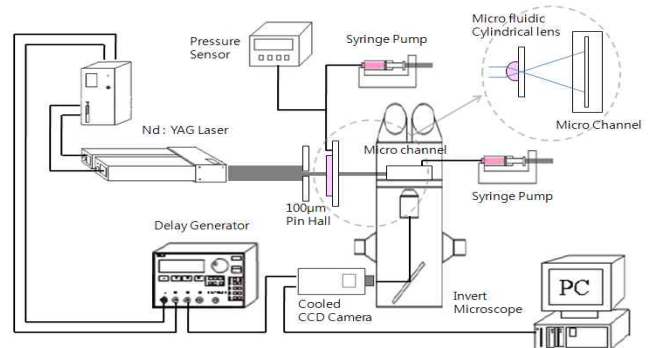


Fig. 2 Micro-PIV system and experimental set-up

필름을 제작할 때는 spin coating 방법으로 아주 얇게 만들어서 원하는 두께의 필름을 만들 수 있도록 하였다. 이후, 필름을 굳히기 위해 오븐에 넣어 가열한 뒤에 몰드에서 떼어내면 렌즈와 채널을 가진 렌즈모듈이 완성되고, 이 렌즈의 형상은 유체를 흘렸을 때 반원 실린더형의 모양을 가지게 된다.

Fig. 2 는 본 연구의 속도장 계측을 위한 micro-PIV 시스템의 개략도를 보여주고 있다. 레이저는 520nm의 파장을 가진 펄스형 Nd:YAG laser 를 사용하였고, 추적입자는 직경 1 μm 의 원형 latex microsphere suspension 입자를 이용하였다. 이 구형 입자는 약 589nm에서 1.59의 굴절율을 가지며, 밀도가 1.05g/cm³ 이다. 이미징을 위한 현미경은 inverted-type의 현미경을 설치하고 20배의 대물렌즈를 사용하였으며, 입자 영상 취득을 위하여 입자의 산란광이 약하기 때문에 1376 × 1040 pixel의 공간해상도를 가진 12bit cooled CCD camera를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

본 실험에서 유체렌즈 가압을 위한 작동유체로는 증류수 형태인 de-ionized water를 사용하였고, 속도장 계측을 위한 마이크로 채널 내부 공급 유동의 유량은 $Q = 0.028 \mu\text{L/s}$, 와 $0.056 \mu\text{L/s}$ 로 두가지의 경우로 설정하여 속도장을 계측하였다. 속도장 측정 영역(field of view)은 전체크기가 $862 \mu\text{m} \times 875 \mu\text{m}$ 이고, 측정된 단면은 중앙부 근접 영역인 채널의 바닥으로 부터 $100 \mu\text{m}$ 위쪽을 측정하였다. 측정된 속도장의 공간분해능은 $64 \times 32 \text{ pixels}$ 이고, 속도장은 상호상관(cross-correlation)을 이용한 PIV 방식으로 50% overlapping 하여 속도벡터 추출을 계산하였다. 또한 유동 물리량의 계측을 위하여 연속적인 순간 속도장을 취득하여 통계 분석 처리하였으며 이들의 평균속도장 분포를 구하였다.

Fig. 3은 마이크로 채널 내부를 흐르는 유동의 추적입자의 산란광 영상과 PIV 계산에 의한 평균속도장 분포를 보여주고 있다. 평균속도장은 유동이 완전 발달된 영역에서 측정된 순간 속도장을 평균하여 구하였다. 유속의 분포는 채널 벽면으로 갈수록 0에 가까운 no-slip 조건을 만족하고 있으며, 중심부로 이동할수록 증가되는 속도분포는 포물선을 그리며 증가하게 된다. 이 평균 유동은 본 연구에서 실험한 층류(laminar) 유동의 형상을 잘 나타내 주었다.

4. 결론

본 연구에서는 일반적으로 micro-PIV 속도장 계측시스템이 체적 조명을 활용하여 형광 영상의 취득을 통한 속도장 계측을 수행하는 방법에 비해 본 연구에서는 마이크로 레벨에서도 추적 입자의 직접적인 산란광 취득을 위하여 마이크로 유체렌즈를 제작하여 활용하여 기존의 micro-PIV 방식에 비해 보다 깨끗하고 SN비가 높은 입자 영상을 취득하여 효과적으로 속도장을 구할 수 있었다. 그러나 렌즈의 비균일도의 존재와 같은 문제점을 추후 보완하고 보다 미세한 시스템의 제작을 통하여 마이크로 스케일의 레이저 직접 단면 조명시스템의 최적화 연구를 수행할 계획이다.

후기

이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.(KRF-2008-313-D00146)

참고문헌

1. Adrian, R. J., "Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics," Annu. Rev. Fluid Mechanics, 23, 261-304, 1991.

2. Park, C. W., Lee, S. J. and Shin, S., "Micro-PIV measurements of in vitro blood flow in a micro-channel," Int. J. Vas. Biomed. Eng., 1, 30-33, 2003.
 3. Lee, J. S., Park, J. G. and Kim, G. M., "Fabrication of a Micro fluidic Lens having variable focal length," Academic collection of learned paper in fall symposium in 2005 by Korean society for precision engineering, pp.1, 2005.

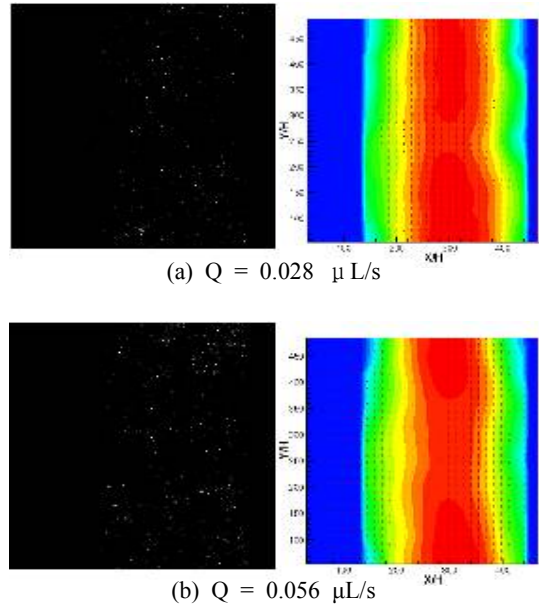


Fig. 3 Scattered particle image and mean velocity distribution at flow rate of $Q = 0.028 \mu\text{L/s}$ and $0.056 \mu\text{L/s}$