

# 펨토초 레이저 가공기술로 제작된 미세유체 디바이스의

## $\mu$ -PIV 연구

### $\mu$ -PIV Studies on $\mu$ -fluidic Devices Fabricated by a Femtosecond Laser Micromachining

최대식<sup>\*\*\*</sup>, 박미라<sup>\*</sup>, 박명일<sup>\*</sup>, 조동현<sup>\*\*</sup>, 정세채<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>한국표준과학연구원 레이저 계측 그룹, <sup>\*\*</sup>고려대 물리학과

scjeoung@kriss.re.kr

오래 전부터 유체의 유동현상을 규명하기 위해 수많은 노력을 기울여 왔다. 특히 다양한 대상의 정확한 양 측정과 진단을 목적으로 유체유동 측정기술이 발전되어 왔으며 20세기에 들어와서 기계적인 센서를 삽입하지 않고 유동장의 여러 정보를 들여다보는 유동의 가시화 방법이 개발되었다. 이 가시화 방법 중에 오늘날에도 많이 사용되고 있으며 정량적이면서 측정 센서가 단순한 빛이기 때문에 전혀 유동장에 교란을 주지 않는 광학적 유동측정 기술을 적용하는 기술이 레이저 도플러 유속계 (LDV: Laser Doppler Velocimetry)와 입자 영상 유속계 (PIV: Particle Image Velocimetry)가 1990년대부터 개발되고 있는 방법이다. LDV는 시간 및 공간 분해능이 우수하여 정확도와 측정 점의 정의에 매우 유리하며 또한 유속의 크기와 유동벡터의 방향을 초당 수백회 평균하여 측정이 가능하므로 난류의 세기등 시간 평균적으로는 크기가 0인 양 측정에 매우 긴요하게 사용된다. LDV는 점유속을 정확하게 측정할 수 있지만 2차원 즉 한번에 수백 내지 수천 개의 지점을 동시에 측정할 수 없고 비교적 깨끗한 기체와 액체를 대상으로 하는 단점을 가지고 있다. 이것을 보완하기 위해서 PIV가 개발되어왔다. PIV는 2차원의 유속 벡터와 이를 통해 유동의 해석을 실시간으로 2차원적인 해석이 가능하다. 유체역학상의 측정 변수가 유동장의 성분인 속도 벡터가 가장 중요하기 때문에 PIV는 LDV에 비해서 우위에 있다고 할 수 있다.

최근 매우 적은 양의 미세 유체를 제어하고 이송할 수 있는 유동체 디바이스 개발 분야는 다양한 응용 분야로부터 관심을 일으키고 있다. 특히 미세 이송기에서 추진이나 동력, 마이크로 공기 전달 운반기구, 잉크젯 프린터 헤드, 생물 화학분석 장치, BT 및 ET등 첨단 연구 분야에서의 핵심부품 대용량화, 다기능화, 초소형화, 미세 유체 chip 및 분석기술등 다양한 분야의 미래 신기술의 사업에 중요한 기반이 될 것이다. 따라서 이러한 미소 유체에 대한 기본적인 물리량 즉 유체 속도 및 가속도의 공간 분포 온도 분포 유체의 농도 등을 충분한 시간 공간적 분해능에서 측정할 수 있는 방법인  $\mu$ -PIV에 대한 측정기술 확보는 매우 의미 있는 일이다<sup>(1-3)</sup>. 그림 1에서는  $\mu$ -PIV 측정 원리를 그림 2에서는 본 연구에서의 실험장치 개략도를 각각 보여주고 있다.

본 연구에서는 고 출력 Ti:Sapphire 펨토초 레이저를 광원으로 하여 갈바노-미러 주사 장치와 소프트웨어를 사용하여 상용 슬라이드글라스 위에 미세 구조물을 가공하였다. 가공된 글라스 웨이퍼를 직접 접합법을 이용하여 Packaging하여 미세 유동체 이송장치를 개발하였다. 마이크로 채널 측정 깊이 및 체의 압력변화에 따른 속도장 변화를  $\mu$ -PIV법을 응용하여 연구하였다. 마이크로 채널 장치에 주사기

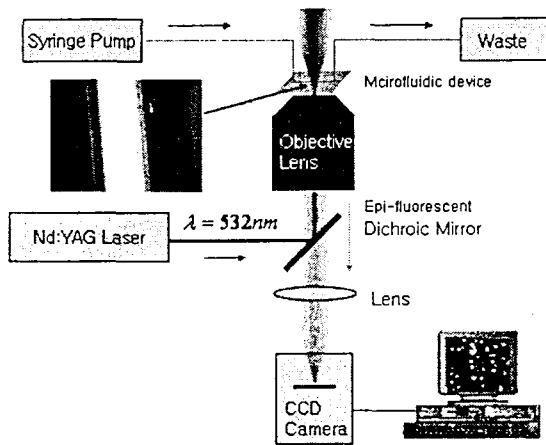


그림 1 마이크로-PIV 측정 원리

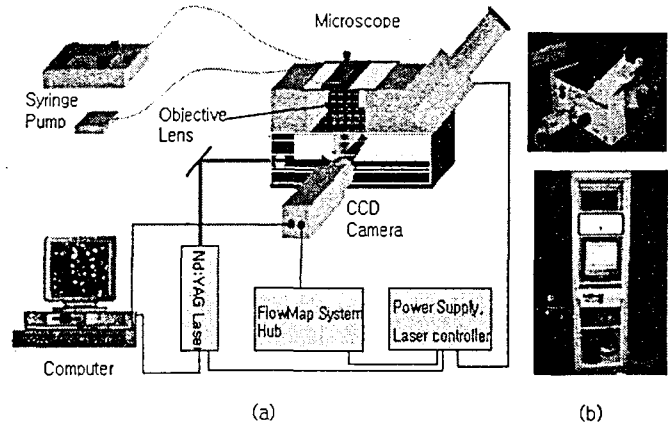


그림 2 실험장치 개략도

펌프를 사용하여 유체를 흘려준다. 여기서 유체는 일반적인 물을 사용하고 마이크로 채널 내 유체의 흐름을 알기 위해 사용한 매질인 입자는 지름이  $1\ \mu\text{m}$ 인 polystyrene bead에 형광물질인 색소를 착색한다. 2대의 펄스형 레이저를 사용하여 두 개의 광이 수-수만  $\mu\text{s}$ 의 시간차로 대물 렌즈로 입사하여 디바이스 채널속 유체내에 있는 입자에 집속되며 중심 파장이 약 570 nm인 강한 형광신호가 비간섭적으로 산란되어 나온다. 신호광은 다시 대물 렌즈를 통하여 수집되며 Dichroic mirror를 사용하여 신호 광만을 분리하여 CCD 카메라에 집속할 수 있는 렌즈를 사용하여 CCD 카메라와 정확히 정렬하여 영상의 선명도를 최적화 한다. CCD카메라에 동일한 공간에서 검출된 2장의 사진을 이용하여 Cross-correlation 기법을 이용하여 2차원 속도 장을 구한다. Cross-correlation은 2장의 동일한 위치에 영상을 각각 레이저 펄스광으로 기록되기 때문에 처음과 마지막 입자를 알 수 있으므로 신호 대 잡음비가 크다. Interrogation 영역내에 입자의 미세한 움직임도 속도 벡터로 표시할 수 있다.

본 연구에서 사용한 마이크로 채널 모양은 광 축 방향으로 역삼각형을 구성한다. 마이크로 채널 내 속도장은 주사기 펌프압력증가에 따른 선형적으로 증가하며 채널 중심에서 속도가 가장 크며 모서리로 갈수록 감소하는 일반적으로 모세관 내에서의 뉴튼 유체의 속도 분포는  $V=2 V_{avg}[1-(r/R)^2]$ 와 같이 거의 포물선형태로 나타난다. 마이크로 채널의 Reynold 수는 1을 넘지 않는다. 즉 유체의 흐름이 흐트러지지 않고 일정하게 흐르는 층류이다. 채널의 측정 깊이에 따라 속도 크기가 달라지며 표면에서 속도가 가장 낮다. 이러한 연구 결과는 유체의 흐름 속도장이 채널의 모양 및 측정 깊이에 따라 매우 강하게 의존하고 있음을 의미한다.

참고문헌

1. J. G. Santiago, S. T. Wereley, C. D. Meinhart, D. J. Beebe and R. J. Adrian, "A particle image velocimetry system for microfluidics", Exp. Fluids 25, 316-319 (1998).
2. C. D. Meinhart, S. T. Wereley and J. G. Santiago, " PIV measurements of a microchannel flow," Exp. Fluids 27, 414-419 (1999).
3. C. D. Meinhart, S. T. Wereley and M. H. B. Gray. " Volume illumination for two-dimensional particle image velocimetry," Meas. Sci. Technol. 11, 809-814 (2000).

T  
D