

마이크로 PIV 기법을 이용한 미세채널 내부 electro-osmotic 유동 해석

김 양 민* · 이 상 준†

Analysis of Electro-osmotic Flow in a Micro Channel Using a Micro PIV

Yang-Min Kim · Sang-Joon Lee

Abstract

Electro-osmotic flow in a PDMS microchannel of $66\mu\text{m} \times 200\mu\text{m} \times 3\text{cm}$ has been investigated using a micro PIV system. The field of view was $1056\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ and instantaneous velocity fields were obtained using two-frame cross-correlation method with 64×64 pixels² interrogation window. In this study, we focused on the effect of applied electric field on the variation of internal flow with varying the electric field and seeding particles. The electro-osmotic flow shows a flat velocity profile and the mean velocity is proportional to the applied electric field.

Key Words : Micro-PIV (마이크로 입자영상유속계), Electro-osmotic Flow (전기상투 유동), EDL (전기적 이중층)

1. 서 론

생명, 의료 분석에 관한 관심의 증대와 MEMS 기술의 발전이 맞물려, lab-on-a-chip (LOC) 에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. LOC 은 마이크로채널을 통해 용액과 시료를 운반한다. 구동 방법으로는 압력을 이용한 방법과 전기장을 걸어서 electro-osmosis 현상을 이용하는 방법이 있다. electro-osmosis 를 이용한 방법은 micropump 와 같은 부차적인 구조물을 설치할 필요 없이 단순히 전기장만 걸어주면 되므로 chip 을 보다 소형화할 수 있는 장점이 있다. 또한 채널 내부에서 속도가 폭 방향으로 거의 균일한 유동형태를 가지므로, 원하는 시료를 동일선상에서 운송할 수 있는 이점을 지닌다[1].

Electro-osmotic 유동은 표면에 전하를 띤 채널 내부에 유체를 채우고 거기에 전기장을 걸어주게 되면 전기장과 평행한 방향으로 유체가 이송되는 현상이다. 채널 표면이 전하를 띤면, 유체에 존재하는 반이온 (counterions)을 끌어당겨서 electro-

osmotic potential 이 형성되는데 이와 같이 이온이 재배치되는 영역을 electric double layer (EDL)이라 한다. 여기에 전기장을 걸어주게 되면 EDL 이 전기장에 의해 힘을 받아 움직이게 되고, 전체 유체는 momentum transfer 에 의해 전기장이 가해진 방향으로 움직인다. EDL 의 두께는 Debye length 에 의해 결정되는데, 10mM 용액에서 대략 3nm 의 두께를 가지며 농도가 증가하면 그 크기는 더 작아진다. EDL 의 두께는 마이크로 채널 크기에 비해 매우 작다.

EDL 은 다시 Stern layer 와 diffuse layer 로 구성되어 있다. Stern layer 는 벽근처에 반이온들이 강하게 잡혀있는 얇은 층으로 이온들이 움직이지 않기 때문에 유체층이라 보기 어려운 층이다. 반면 diffuse layer 구간은 이온들의 움직임이 존재하게 된다. Stern layer 와 diffuse layer 의 경계부분에서 생성되는 전위를 zeta potential, ζ 라 부르는데 이것이 electro-osmotic 유동의 속도를 결정하는 역할을 한다. Helmholtz-Smoluchowski 식에 의하면 electro-osmotic 유동의 속도는 zeta potential (ζ), electric permittivity (ϵ), 전기장 (E)에 비례하고, electric viscosity (μ)에 반비례 한다.

LOC 의 성능을 개선하고 LOC 내부에서의 유체 수송을 원활히 하기 위해서는 마이크로 채널 내부에서의 electro-osmotic 유동 특성을 정량적으

† 포항공과대학교 기계공학과 교수

E-mail : sjlee@postech.ac.kr

* 포항공과대학교 기계공학과 대학원

로 측정하고 분석할 필요가 있다.

본 연구에서는 electro-osmotic 유동의 유동구조를 가시화하고, 전기장의 세기와 추적입자들을 변화시키면서 LOC 내부 유동특성 변화를 해석하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

Fig.1 은 본 연구에 사용되어진 실험장치 구성으로, 레이저 빔을 채널의 아래쪽에서 위로 꺾어올려 시험부를 직접 조명하고, 렌즈 앞에 emission filter 를 설치하여 입자의 형광 영상을 획득하였다. 이미지를 확대하기 위해 long distance microscope 를 사용하였다. 본 실험에서는 입자의 형광 영상을 얻기 위해서 직경 약 $3\mu\text{m}$ 인 붉은색 형광 폴리머 구형입자를 사용하였다. 이 입자들은 542nm 파장의 빛에 여기하고, 612nm 파장에서 형광 빛을 방출한다. 입자를 여기시키기 위해 Nd:YAG 레이저(532nm)를 사용하였으며, 570nm cutoff filter 를 사용하여 형광 영상만을 획득하였다. 또한 미세입자로부터 형광된 빛의 광량은 산란광에 비해 상대적으로 매우 적기 때문에 해상도가 $1280 \times 1024 \text{ pixels}^2$ 인 12bit ICCD 카메라를 사용하여 영상을 획득하였다.

사용한 마이크로채널은 SU-8 (photoresist)로 채널 형상을 만든 후, 그 위에 PDMS (poly-dimethylsiloxane) 를 부어 제작하였다. 채널 높이는 $66\mu\text{m}$, 폭은 $200\mu\text{m}$, 길이는 3cm 이다. 유체가 흐르게 됨에 따라 형성되는 압력차를 무시할 정도로 줄이기 위하여, 입구와 출구 상부에 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 크기의 충분히 큰 저장부를 만들었다. 마이크로 채널은 실험하기 전에 plasma cleaner 를 이용하여 표면 산화 처리 하여 마이크로 채널 내부가 음전하를 띠도록 하였다. 측정구간은 $1056\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ 이며 vector 의 공간분해능은 $53\mu\text{m} \times 53\mu\text{m}$ 이었다. 속도장은 상호 상관 PIV 방식으로 구하였는데, 50% overlapping 으로 계산되어졌다. 50 장의 순간 속도장을 얻고 앙상블 통계 처리하여 평균속도장을 구하였다.

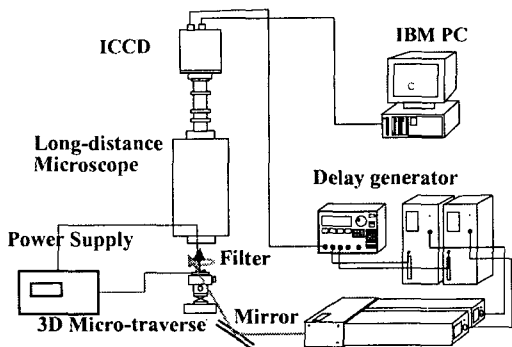


Fig. 1 Schematic diagram of micro PIV system and experimental apparatus

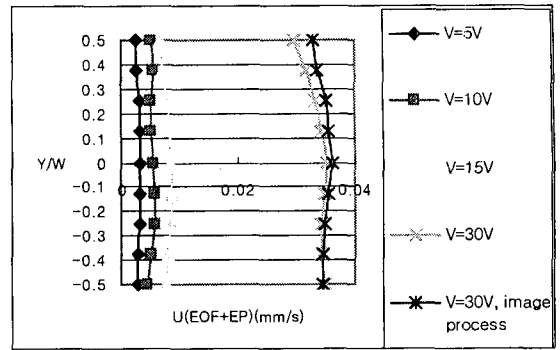


Fig. 2 Velocity profiles vs applied electric voltage

작동유체는 DI(de-ionized) water 를 사용한 250 mM Tris 용액을 사용하였으며, 5, 10, 15, 30V 로 전압을 변화시키면서 마이크로 PIV 기법을 이용해 LOC 내부 속도장 변화를 측정하였다. (Fig. 2)

3. 결과 및 토의

본 실험에서 electro-osmosis 현상에 의해 형성된 유동은 압력 차에 의해 형성되는 포물선 형태의 속도분포와는 달리, 균일한 속도 분포를 가진다. 또한 Helmholtz 식에서와 같이 걸어준 전기장의 세기에 비례하여 평균유속이 증가하는 경향을 보였다. 10V/cm 의 전기장을 걸어준 경우 0.03mm/s 정도의 속도를 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다

참 고 문 헌

- 1) M.J. Kim, A. Beskok, K.D. Khim, 2002, "Electro-osmosis-driven micro-channel flows: A comparative study of microscopic particle image velocimetry measurements and numerical simulations", Experiments in Fluids, Vol. 33, pp. 170~180