

미세유체채널의 입자 손실을 줄이기 위한 전기적 부착 방지 기술

Wall loss reduction technique using an electrodynamic disturbance for microfluidic channel

*강동현¹, 최용환¹, 김민구^{1,2}, #김용준¹

*Dong-Hyun Kang¹, Yong-Hwan Choi¹, Min-gu Kim^{1,2}, #Yong-Jun Kim(yjk@yonsei.ac.kr)¹

¹연세대학교 기계공학부, ²효성중공업연구소

Key words : Particle adhesion, Microfluidic channel, Dielectrophoresis, Electrodynamic disturbance

1. 서론

미세유체채널 구조를 이용한 소형화된 의료 분석 시스템에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1]. 이와 같이 미세유체채널 구조를 이용한 소형화된 시스템의 경우 미세유체채널 내부에 입자가 붙어 채널을 막는 현상이 일어난다. 미세유체채널에 입자가 부착되게 되면 장치의 효율이 낮아지거나 정확도가 떨어지는 문제가 발생할 수 있으며, 고가의 샘플을 사용할 경우 경제적 손실도 발생하게 된다. 따라서, 미세유체채널 내부에 입자가 부착되는 현상을 저감시키는 기술이 필요하다. 입자부착 저감을 위한 기존 연구로는 계면활성제를 이용하는 방법 등이 있으나 시료가 계면활성제로 오염되는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 전기적 입자 부착 방지 기술을 이용하여 유체 기반의 미세채널에서 입자가 벽에 붙는 현상인 입자 손실(Particle loss)을 줄이는 기법을 제안한다.

2. 미세유체채널의 설계 및 제작

미세유체채널 내부에서 입자에 작용하는 힘은 반 데르 발스 힘(Van der Waals force)이 지배적이며 식 (1) 과 같다.

$$F_{adh} = \frac{Ad}{12h^2} \quad (1)$$

이때 F_{adh} 는 부착력, A 는 Hamaker 상수, d 는 입자의 직경, h 는 입자와 벽 사이의 거리이다 [2].

교류 전압을 가하면 입자에는 반발력이 작용하게 되며, 이 힘은 식 (2)와 같다.

$$F_{DEP} = 2\pi r^3 \epsilon_m \text{Re}(f_{CM}) \nabla(E_{rms})^2 \quad (2)$$

이때 F_{DEP} 는 반발력, r 은 입자의 반경, ϵ_p ,

ϵ_m 은 입자와 매질의 유전율, f_{CM} 은 Clausius-Mossotti factor ($f_{CM} = \frac{\epsilon_p - \epsilon_m}{\epsilon_p + 2\epsilon_m}$), E_{rms} 는

전기장의 rms 값이다 [3]. 입자에 가해지는 반발력이 부착력보다 클 때 미세유체채널에서 입자가 떨어지게 된다.

미세유체채널은 입자의 분류 등에서 많이 사용하는 구조를 택하였으며, 십자 모양으로 제작하였다. 미세유체채널 바닥에는 부착된 입자를 떨어뜨리기 위해 interdigitate (IDT) 형태의 전극(s: 60 μm , d:20 μm)을 배치하였다(Fig. 1).

실리콘 기판 위에 SU-8 을 이용하여 100 μm 두께의 구조물을 형성하여 PDMS 로 molding 하였으며, 글라스 기판 위에 Ti/Au 전극을 형성하였다. 마지막으로 글라스 기판과 PDMS mold 를 plasma 처리 후 bonding 하였다.

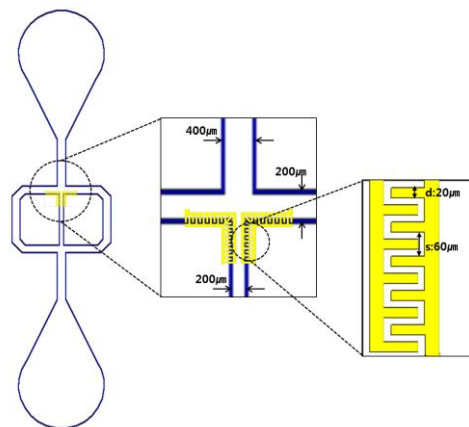


Fig. 1 전기적 방법으로 입자 손실을 줄이기 위한 미세채널의 개념도

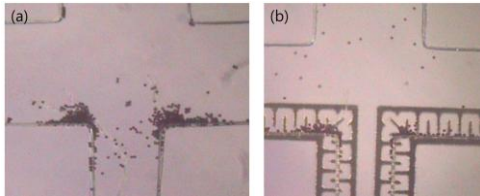


Fig. 2 교류전압 인가에 따른 미세유체채널 내부의 입자부착 (a) 0V (b) 20V

3. 미세유체채널 실험 및 결과

입자가 미세유체채널에 부착되는 정도를 측정하기 위해 Phosphated Buffered Saline (PBS) 용액에 10 μm 크기의 polystyrene bead(PSL) 입자를 섞어 실린지 펌프(KDS-410)를 이용하여 채널에 주입하였다. Function generator(Tektronix CFG 253)를 이용하여 교류전압을 인가하였으며 입자 거동을 CCD camera(SOMETECH SV35)를 이용하여 관측하였다. 입구와 출구의 입자개수를 Hemocytometer 를 이용하여 계수하였으며 비교하여 입자의 부착 정도를 나타내었다.

인가하는 교류전압을 증가하며 실험을 진행하였으며 미세유체채널 내부의 입자거동을 관찰하였다(Fig. 2).

표 1 은 유입된 입자의 농도와 미세유체채널을 통과한 입자의 농도이다. 교류전압을 인가하지 않았을 때 채널 입구와 출구에서의 입자농도는 평균 17425, 5225 particle/mL 이다. 15V 교류전압을 인가했을 때 채널 입구와 출구에서의 입자농도는 평균 127.5, 84.25 particle/mL 로 입자의 부착이 감소하였다. 20V 교류전압을 인가했을 때 채널 입구와 출구에서의 입자농도는 평균 153, 102

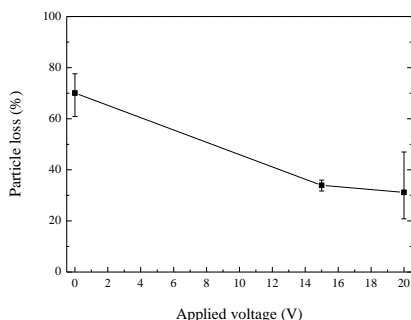


Fig. 3 교류전압 인가에 따른 미세유체채널 내부의 입자손실

표. 1 미세유체채널 입구와 출구의 입자농도 (particle/mL)

	0V	15V	20V
입구의 입자농도	17425	12750	15300
출구의 입자농도	5225	8425	10525

particle/mL 로 입자의 부착이 크게 감소하였다.

입자의 손실은 식 (3)을 통해 계산했으며, 인가 전압이 증가함에 따라 입자의 손실이 감소하는 경향을 보였다. 인가 전압이 20V 일 때 입자의 손실은 31%로 39%의 개선효과를 보였다(Fig. 3).

$$\text{Particle loss} = \left(1 - \frac{C_{Out}}{C_{In}}\right) \times 100 \quad (3)$$

(C_{Out}, C_{In} : 채널 출구와 입구에서의 입자 농도)

4. 결론

미세유체채널에서 전기적 방법을 이용한 입자 손실을 줄이는 기술을 제안하였다. 제작된 미세유체채널에서 70%의 입자가 벽면에 부착되었다. 교류전압을 인가함에 따라 입자의 손실이 감소하는 경향을 보였으며 20V 의 전압을 인가하였을 때 10 μm 크기의 입자 손실이 31%로 39% 감소하였다. 제안하는 기술이 액체기반의 미세유체시스템에 적용될 경우 성능향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

이 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업(IITA-2009-C1090-0902-0038)의 지원을 통하여 진행되었습니다.

참고문헌

1. Hywel Morgan *et al.*, "Separation of Submicron Bioparticles by Dielectrophoresis", *Biophysical Journal*, **77**, 516-525, 1998.
2. G.R. Salazar-Banda *et al.*, "Determination of the adhesion force between particles and a flat surface, using the centrifuge technique", *Powder Technology*, **173**, 107-117, 2007.
3. Michael Pycraft Hughes, "AC electrokinetics: applications for nanotechnology", *Nanotechnology*, **11**, 124-132, 2000.