

마이크로 채널 내 동일 평면 전극에 교류인가로 인한 유동특성 연구

허형석^{*1}, 강상모², 서용권³

A STUDY ON CHARACTERISTICS OF AC ELECTRO-OSMOTIC FLOWS IN THE MICROCHANNEL WITH COPLANAR ELECTRODES

H.S. Heo^{*1}, S.M. Kang² and Y.K. Suh³

This paper presents numerical results of fluid flows and mixing in a microfluidic device for AC electroosmotic flow (AC-EOF) with coplanar electrodes on top and bottom walls. Differently from previous EOF a channel which attached a couple of coplanar electrodes can be utilized to mix a target liquid with a reagent. In this study we propose a method of controlling fluid flows and mixing enhancement. To obtain the flow and mixing characteristics, numerical computations are performed by using a commercial code, CFX10. It was found that the flow near the coplanar electrodes is of 3-D complex flows and vortices between the other electrodes, and as a consequence the AC-electroosmotic flow on the electrodes plays an important role in mixing the liquid.

Key Words: 교류 전기 삼투(AC Electro-Osmosis), 동평면 전극(Coplanar electrodes)

1. 서 론

교류 전기삼투 유동은 기존의 전기 삼투 유동에서 나타나는 단점을 보완하여 개발된 유체 구동 방법이다.

전기 삼투 유동은 채널의 입·출구에 일정한 전압을 인가하여 그에 따른 전기장이 채널 내에 있는 전해질을 이동하는 방법이다. 이 때 고전압을 인가할 경우 채널 입·출구에 기포가 발생하고 이 기포는 압력구배에 의한 채널 내 유동을 방해한다. 그리고 인가된 고전압은 전기화학 반응과 pH변화를 일으키는 주된 요인이 된다. 이러한 이유 때문에 마이크로 채널 내에서 유체를 이동시키는 방법으로 제안된 것이 교류 전기 삼투 유동이다.

교류 전기 삼투 유동은 채널 내 바닥에 한 쌍의 전극을 일정한 간격으로 떨어지게 두고 일정한 교류 전압을 인가하면 전해질이 마주보는 전극의 선단에서 떨어지는 전극의 선단으로 전해질이 흘러가고 채널상부에는 반대방향의 유동이 발생되는 현상이다. 저 전압을 사용하기 때문에 기포가 발생되지

않고 전기화학 반응 및 pH변화에 대한 염려는 하지 않아도 된다.

기존의 연구로 Green 등[1]은 마이크로 채널 내 한 쌍의 바닥 전극사이에 일정한 간격(25 μ m)을 두고 양 전극에 여러 주파수 대역을 인가하여 그에 따른 전극위의 유동을 연구하였다. Wu 등[2]은 Green 연구 그룹과 비슷한 전극을 형성하여 마이크로 입자와 박테리아 등을 전극위에서 추적 또는 포획하는 방법을 제한하였다. 이와 같이 기존의 연구들도 교류 전기삼투현상에 대해서 아직 기초적인 수준이다.

본 연구는 마이크로 채널 내 압력구배에 의한 유동에서 채널 바닥 및 상단에 각각 한 쌍의 전극을 배치하여 그 전극에 교류를 인가하였을 경우에 대한 유동 특성과 서로 다른 농도의 유체를 흘러 보냈을 경우에 대한 혼합효과에 대해서 연구하고자 한다.

2. 유동 모델 및 수치해석 기법

2.1 유동 모델

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 해석모델의 형상이다.

1,2,3 정회원, 동아대학교 기계공학부

* corresponding author E-mail : hseo@donga.ac.kr

x, y, z 는 각각 채널의 길이, 폭, 높이 방향의 좌표이다. 채널 길이는 x -방향으로 입으로 설정된다. 전극은 채널 상단과 하단의 동일 평면상에 각각 한 쌍씩 배치되어 있다.

2.2 수치해석 방법

Fig. 1에서 보여준 해석 모델에 대하여 입출구 조건은 주기조건으로 반복되는 전극의 수를 줄였고 압력에 의한 유동 조건이며 전극이 있는 벽면을 제외한 다른 벽면은 no-slip조건이다. 특히 전극 벽면은 교류전극에 의한 영향으로 Fig. 2와 같은 속도 경계조건을 사용하였다. Y1은 채널상단에 있는 전극의 속도조건이고 Y2는 채널하단에 있는 전극의 속도조건이다. 이것은 전극의 양 끝단에 y -방향으로 가장 강한 유속이 발생하고 채널 벽면에서 아주 약한 유속이 발생하는 이론을 바탕으로 가정한 것이다[1]. 격자수는 23만개의 격자를 형성하였다.

본 연구에서 작동 유체는 물을 사용하였으며 밀도는 1000kg/m^3 , 동점성계수는 $10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ 의 물성치를 정의하였다.

한편, 본 해석을 위하여 보편적인 신뢰성이 입증되어 있는 상용코드(CFX 10)를 사용하였다.

2.3 혼합지수와 평균농도

본 연구에서는 농도가 다른 두 유체의 혼합 정도를 나타낼 수 있는 혼합지수를 다음과 같은 방법으로 구하였다. 격자선의 교점인 노드에는 계산 결과로 얻어진 농도 값이 정의되어 있다. 이 노드 정보와 요소 정보, 농도 값을 이용하여 아래와 같이 혼합지수 D 를 구할 수 있다.

$$f_i = v_i / \bar{v} \tag{1}$$

$$\bar{c} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I f_i \bar{c}_i \tag{2}$$

$$D = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \left(\frac{\bar{c}_i - \bar{c}}{\bar{c}} \right)^2} f_i \tag{3}$$

여기서 v_i 는 i -번째 요소의 체적, \bar{v} 는 전체 요소의 평균 체적, \bar{c}_i 는 해당 요소의 대표 농도로서 8개 노드의 평균, f_i 는 요소에 대한 체적 가중치이다.

3. 결과 및 검토

Fig. 3는 Fig. 1의 모델에 대한 $x=150\mu\text{m}, 250\mu\text{m}, 350\mu\text{m}$ 평면에 대한 속도장을 나타낸 것이다. Fig. 3(a)는 $x=150\mu\text{m}$ 평면인데 채널 상단 벽면에 한 쌍의 와류가 생겨나 있는 것을 볼 수 있다. Fig. 3(b)는 $x=350\mu\text{m}$ 평면의 속도장이며 상하부에 두

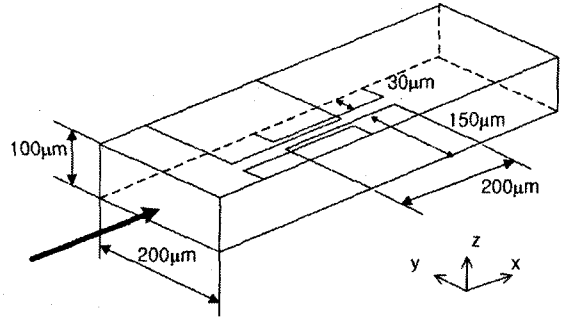


Fig. 1 Perspective view of the flow domain

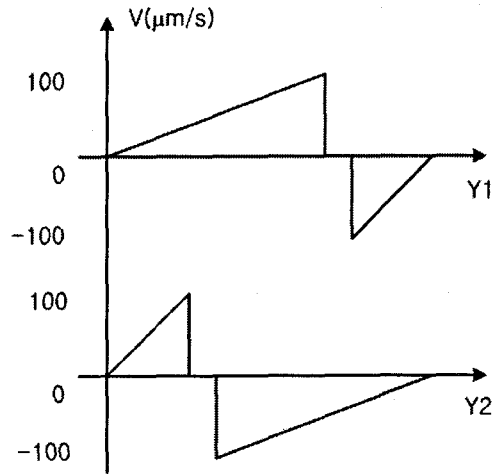


Fig. 2 Velocity conditions at the coplanar electrodes of top and bottom walls

쌍의 와류가 생겨나 있고 Fig. 3(c)는 $x=350\mu\text{m}$ 평면에서는 오직 채널 바닥에만 한 쌍의 와류가 생겨나 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 와류들은 채널입구에서 들어오는 유체를 y 축 방향 또는 x 축 방향으로 이동시키는 역할을 하게 된다.

Fig. 4는 채널 출구에서의 염료 거동을 살펴 본 수치해석 결과이다. Fig. 4(a)에서 입구에서 서로 다른 농도(좌측:0, 우측:1)를 반으로 나눈 염료는 시간이 지남에 따라 상하부 벽면 전극의 영향으로 2차 유동이 발생하게 된다. 상부에 있는 유체는 채널의 좌측 벽면으로 이동하고 하부에 있는 유체는 채널의 우측벽면으로 이동하게 된다. $T=20(\text{s})$ 에는 유체가 시계 방향으로 1회전한 결과를 볼 수 있다. 이와 같이 거동한 유체는 서로 다른 농도의 염료가 접촉하게 되는 면적이 넓어지게 되어 이에 따라 혼합효과가 높아진다.

Fig. 5는 Fig. 4의 결과를 바탕으로 시간경과에 따른 혼합지수를 나타낸 것이다. 처음에 혼합지수가 1인 것은 서로 다

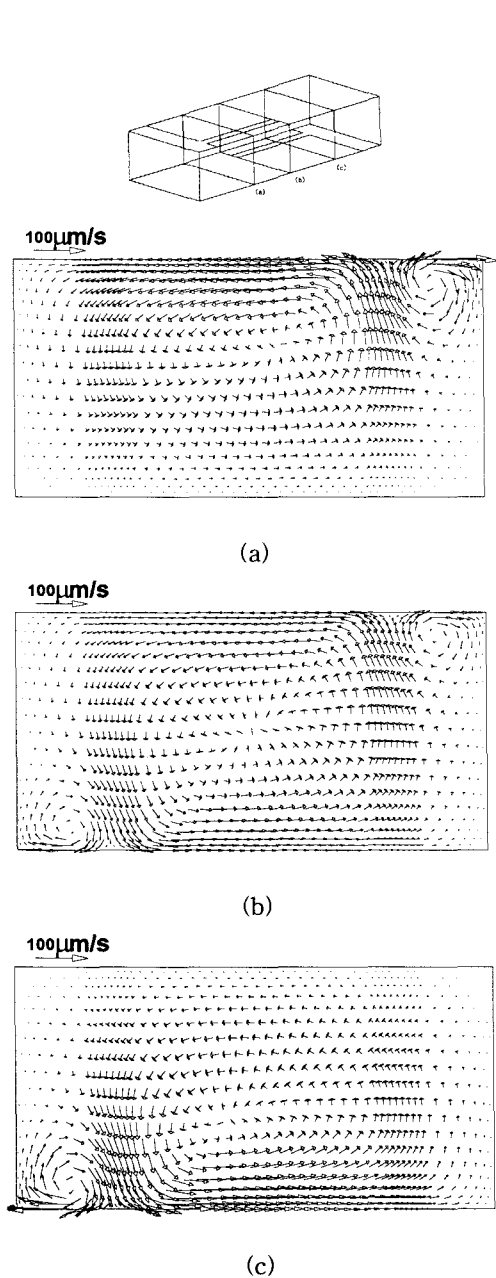


Fig. 3 Sectional view of velocity vector fields:(a) $z=150\mu\text{m}$, (b) $z=250\mu\text{m}$, (c) $z=350\mu\text{m}$

른 농도의 유체가 혼합이 되지 않을 때의 지수이다. 시간이 경과되면서 혼합지수가 낮아지는 것은 혼합효과의 결과이며 낮은 수록 더 좋은 혼합효과를 나타낸다. 20초일 때 혼합지수는 0.48이. 이것으로 혼합효과에 대해서 정량적인 데이터를 확보할 수가 있다.

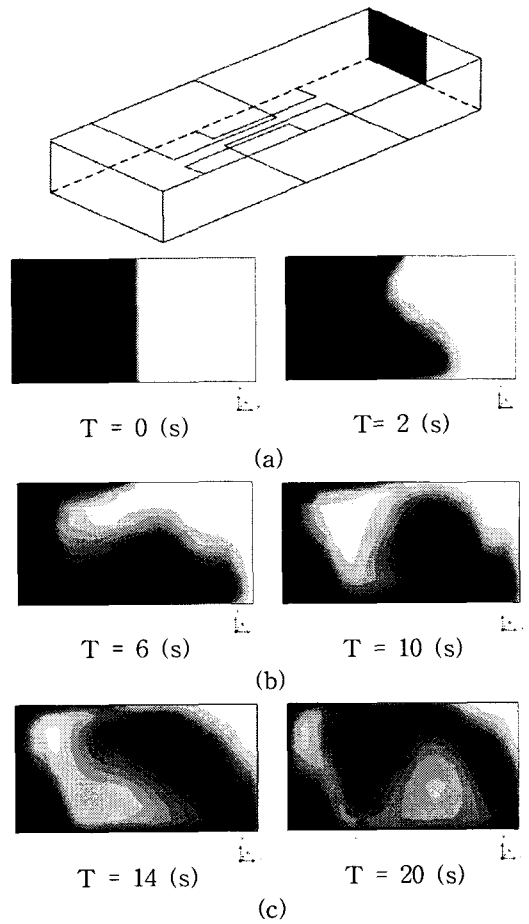


Fig. 4 Dye deformation respect to time step

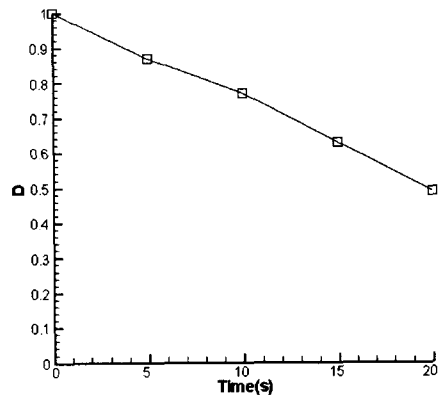


Fig. 5 Mixing index with respect to time for numerical results



4. 결 론

본 연구에서는 마이크로 채널 내 상하부 벽면에 전극을 형성하여 교류를 인가한 후 그에 따른 전극벽면의 유속변화에 따른 유동변화를 분석하고 서로 다른 농도의 유체의 혼합효과를 분석하였으며 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 채널 상하부 동일 평면상의 한 쌍 전극에 교류를 인가하면 전극 선단에서 채널벽면으로 유동이 발생하고 동시에 한 쌍의 와류가 번갈아 가며 발생된다.

(2) 채널 상하부 발생한 와류가 채널 내 서로 다른 농도의 유체를 혼합할 수 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Green, N.G., Ramos, A., Gonzalez, A., Morgan, H. and Castellanos, A., 2002, "Fluid Flow Induced by Nonuniform AC Electric Fields in Electrolytes on Microelectrodes. III. Observation of Streamlines and Numerical simulation," *Phys. Rev. E, Vol. 66*, p. L25~L30.
- [2] Wu, J., Ben, Y., Battigelli, D. and Chang, H.C., 2005a, "Long-range AC Electroosmotic Trapping and Detection of Bioparticles," *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 44, p. 2815~2822.