

AC 전기습윤에서 액적 내부의 유동

고성희[†] · 강관형^{*}

Flow inside the Droplet in AC Electrowetting

Sung Hee Ko and Kwan Hyoung Kang

Key Words : AC Electrowetting(교류 전기습윤), Flow(유동), Droplet Oscillation(액적 진동), Electric Field(전기장)

Abstract

We found that there exists a flow inside a droplet in AC electrowetting, which is distinct from DC electrowetting. In order to investigate the origin of the flow inside the droplet, we performed an experiment and numerical simulation. It is conjecture, based on the results of the experiment and numerical simulation, the flow is caused by the so called induced-charge electroosmosis at high frequencies, and by droplet oscillation at low frequencies.

1. 서론

전기습윤에서 액적에 AC 전압이 가해지면 접촉각이 변하지 않는 접촉각 포화 현상이 지연되고 히스테리시스(hysteresis)가 적다는 등의 특성이 나타난다는 사실은 잘 알려져 있다 [1]. 우리는 이번 연구를 통해 AC 전기습윤에서 액적 내부에 상당히 빠른 유속의 유동이 존재한다는 것을 처음으로 발견하였다. 본 논문에서는 액적 내부 유동의 발생 원인과 특성에 대한 연구결과를 보고하고자 한다.

2. 실험장치

Fig. 1 은 개략적인 실험장치를 나타낸 것이다. 바닥전극으로 절연 물질인 패럴린(parylene)과 소수성 표면을 위해 Teflon AF1600 이 코팅된 ITO glass 가 사용되었다. 실험은 10^{-3} M NaCl 수용액 액적($5 \mu\text{l}$)을 이용하여 수행되었다. 액적에 전압을 가해주기 위해, 파형 발생기(Agilent 33220A 모델)와 신호 증폭기(FLC Electronics 의 A800 모델)를 이용

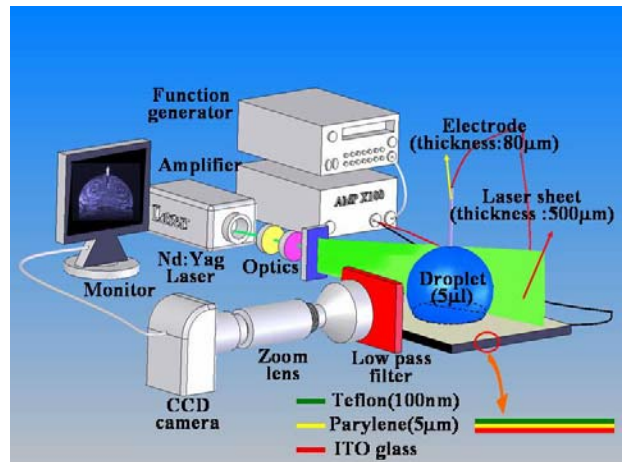


Fig. 1 Experimental set-up

하였다. 액적의 임의의 단면의 유동을 가시화하기 위해 $2 \mu\text{m}$ 크기의 폴리스틸렌 형광입자와 얇은 레이저 시트(thin laser sheet)가 이용되었다. 고속카메라(20,000 fps)를 사용하여, 1 kHz 이하의 구간에서, 액적 표면의 진동을 관찰하였다.

3. 결과 및 토의

Fig. 2 는 유동 패턴이 저주파수(1 kHz)와 고주파수(128 kHz) 구간에서 확연히 다르다는 것을 보여준다. 즉, 저주파수 구간에서는 와류(vortex)가 변

[†] 책임저자, 회원, POSTECH 기계공학과

E-mail : rhtjdgml@postech.ac.kr

TEL : (054)279-2834 FAX : (054)279-3199

^{*} POSTECH 기계공학과

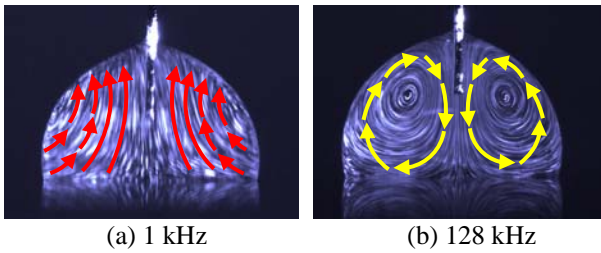


Fig. 2 Flow patterns for different frequencies($V_{rms}=80$ V)

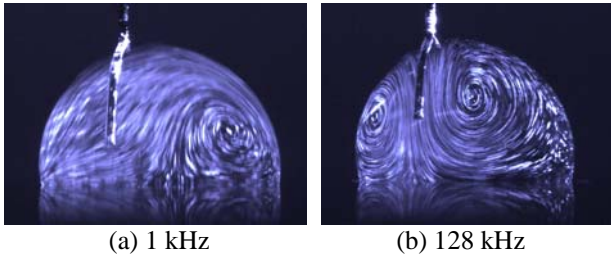


Fig. 3 Dependence of flow pattern on electrode location ($V_{rms}=80$ V)

칙적으로 위치되는 경향이 있지만, 고주파수 구간에서는 두 개의 와류가 전극 부근에서 상당히 규칙적인 모습으로 나타난다. 유동의 방향도 정반대인데, 액적의 대칭축 부근에서 저주파수 영역에서는 상향하는 유동이 나타나는 반면, 고주파수에서는 하향하는 유동이 나타난다. 또한 Fig. 3 에서 보듯이 일반적으로 유동은 전극의 위치에 상당히 영향을 받는다. 다만 저주파수 구간과는 달리, 고주파수 구간에서는 위치에 상관없이 두 개의 와류 형태가 비교적 뚜렷하게 나타난다(Figs. 2b, 3b).

일반적으로 이상(two phase) 경계면의 진동에 의해 유체에 유동이 발생한다고 알려져 있다 [2]. 그리고 유체 내부에 전기장이 존재하면 교류 전기삼투유동(AC electroosmosis)이 발생한다 [3]. Fig. 4 는 주파수에 따른 액적 표면의 진동을 고속카메라로 촬영한 것이다. 그리고 수치해석 결과(COMSOL Multiphysics™) 고주파수(128 kHz)에서는 액적 내부에 전기장이 존재하지만, 저주파수(1 kHz)에서는 액적 내부에 전기장이 없었다(Fig. 5). 이를 바탕으로 액적 내부의 유동 발생의 원인은 저주파수에서는 액적의 진동에 의해서, 고주파수에서는 액적 내부의 전기장에 의한 교류 전기삼투유동에 의해서라고 판단된다.

4. 결론

본 연구를 통해 AC 전기습윤에서 액적 내부의 유동을 발견하였다. 액적 내부의 유동패턴은 액적에 가해지는 주파수, 전극의 위치에 영향을 받았



Fig. 4 Droplet oscillation for different frequencies ($V_{rms}=120$ V)

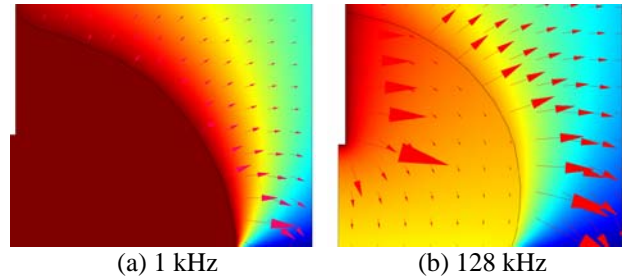


Fig. 5 Numerical simulation ($V_{rms}=80$ V)

다. 저주파수와 고주파수에서 유동의 방향이 반대가 되는데, 이는 주파수에 따라 액적 내부 유동 발생 원인이 다르기 때문이다. 유동은 각각 저주파수에서는 액적 표면의 진동에 의해, 고주파수에서는 액적 내부의 전기장과 유도 전하에 의해 발생된다고 판단된다.

참고문헌

- (1) Mugele, F. and Baret, J. C., 2005, "Electrowetting: from basics to applications," J. Phys.: Condens. Matter, Vol. 17, No. 28, pp. R705~R774.
- (2) Marmottant, P. and Hilgenfeldt, S., 2003, "Controlled vesicle deformation and lysis by single oscillating bubbles," Nature, Vol. 423, No. 6936, pp. 153~156.
- (3) Bazant, M. Z. and Squires, T. M., 2004, "Induced-charge electrokinetic phenomena: theory and microfluidic applications," Phys. Rev. Lett., Vol. 92, No. 6, pp. 066101.