

온도차를 이용한 유도형 마이크로 EHD 펌프의 제작 및 실험

윤 용규*, 김 용권
서울대학교 전기공학과

A Fabrication and Experiment of Induction-type EHD Micropump with Temperature Gradient

Yongkyu Youn, Yongkweon Kim

Department of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract

This paper represents the experimental results of electrohydrodynamic(EHD) micropump driven by traveling-wave voltage. We fabricated 60 electrodes array with $100\ \mu\text{m}$ width and $100\ \mu\text{m}$ interval on the pyrex glass. On that glass we fabricated the micro channel which had the cross section of 3mm by 0.5mm . This pump was driven by 6 phase square traveling-wave voltage. We used the corn oil for experiments and increased the temperature of fluid by resistive heater. An optical microscope with CCD camera and monitor was used for observation. The fluid velocity was large for the large driving voltage and the high temperature. This EHD pump had the fluid velocity in specific frequency (near 1Hz) which had relation to the charge relaxation time in that oil.

1 서론

정전력에 의해 구동되는 EHD (Electrohydrodynamic) 펌프의 특징으로서는 전기력이 직접유체에 작용하기 때문에 기계적 운동부가 필요없고 구조가 간단하며 수명이 길다는 것 등을 들 수가 있다.^[1,2]

EHD 펌프의 종류에는 유도형^[1,2,3,5]과 주입형^[4]이 있고, 유도형에는 두유체사이의 경계면에 전하가 축적되는 것을 이용하는 것이 있고 또, 한 종류의 유체의 상하면에 온도차를 주어서 이에 따른 전기 전도율의 공간변화로 인한 전하의 축적을 이용하는 것이 있다. 본 논문에서는 채널의 상하면에 온도차를 줌으로서 유체 내부에 전하를 유지시키고 이를 이용해 유체를 수송시키는 유도형 EHD 펌프를 초소형으로 제작하여 실험하였다.

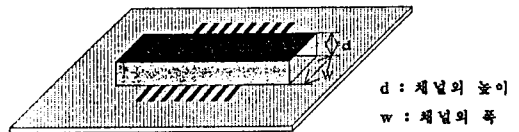


그림 1. 채널의 모식도

본 논문에서는 그림 1에서 $w=3\text{mm}$, $d=0.5\text{mm}$ 인 채널을 갖는 초소형펌프의 구동전극과 채널의 제작방법 및 주변장치와 측정방법에 대해 기술한다. 또한, 제작된 펌프를 이용하여 인가전압의 유속에 대한 영향과 진행과 인가전압의 주파수 및 채널의 아랫면의 온도에 대한 유속의 영향을 살펴본다.

2 온도차를 이용한 유도형 EHD 펌프

그림 2에서와 같이 채널의 아랫부분과 윗부분의 온도가 다른 경우에 대해 생각하자. 유체의 온도가 다르면 유체의 전기전도도가 달라지는데(대체로 유체의 온도가 높을 수록 전기 전도도가 크다), 전극에서 유체를 통해 흐르던 전하는 유체의 전기 전도도가 다르므로 유체의 내부에 축적 된다. 이렇게 축적된 전하는 오랜시간이 지나면 곧 완화될 것인데 이 전하가 완화되기 전에 인가 전압을 진행시켜주면 유체내에 존재하던 전하가 진행과 전압에 끌려가게 된다. 전하의 이동시 유체도 함께 이동하게 되는데 이에 따라 유체의 수송이 이루어진다.

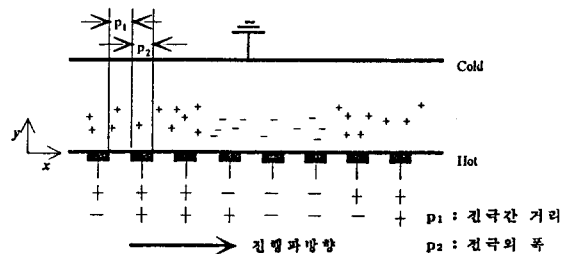


그림 2. 온도차를 이용한 EHD 펌프의 개념도

여기서 정현적인 진행파 전압을 인가하였을 경우의 채널의 입의 높이 y 에서의 x 방향으로의 유속 u_x 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.¹³⁾

$$u_x(\zeta) = \eta S \left(\frac{\epsilon k V^2}{12(1+S^2)\mu} \right) (\zeta - \zeta^3) \quad (1)$$

$$S = \frac{\omega \epsilon}{\sigma_0}$$

ζ : 채널 높이의 normalized 값 (y/d)

σ_1 : 유체의 전기전도도 차이 (채널 양단)

σ_0 : 전기 전도도의 평균값

ϵ : 유체의 유전율

μ : 유체의 점성계수

k : 진행파 전압의 파수

ω : 진행파 전압의 각속도

d : 채널의 높이

V : 정현파 전압의 최대값

여기서, 전기전도도 σ 와 점성계수 μ 는 온도에 대한 선형 함수로 보았다.

3 장치 제작 및 측정 방법

3.1 전극 및 채널 제작

그림3 (a),(b)는 각각 사용된 전극 및 채널의 평면도와 단면도를 나타낸다. 전극간 거리 $p_1 = 100\mu\text{m}$, 전극의 폭 $p_2 = 100\mu\text{m}$ 인 전극 60개를 유리기판위에 알루미늄 스퍼터링(Al Sputtering), 사진식각

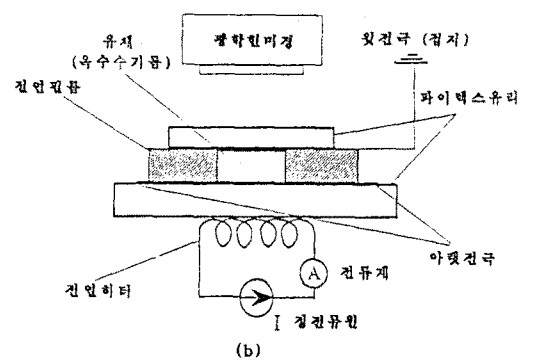
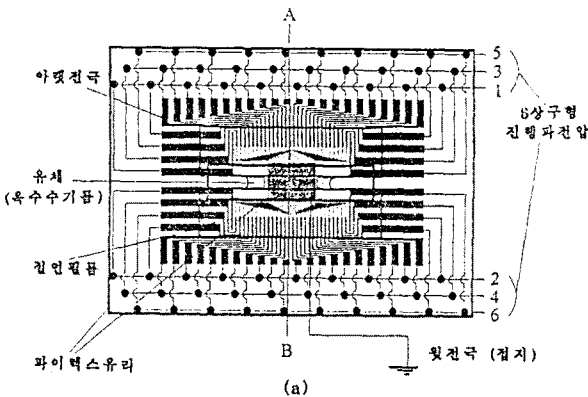


그림3. (a) 전극의 전극 및 채널의 평면도
(b) A-B 양단의 단면도

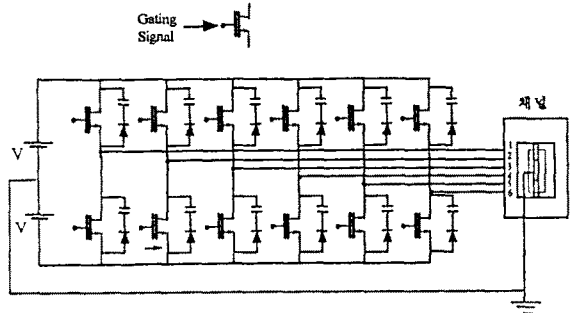


그림4. 6상스위칭 회로의 기본 회로도

(Photolithography), 금속식각(Metal Etching) 공정을 이용하여 제작하였다. 이 파이렉스 유리기판위에 두께 $d = 0.4\text{mm}$ 의 절연필름을 붙여 채널의 옆벽면을 형성하였다. 그 위에 접지전극(아래 구동전극부분 포함할수 있는 크기)을 가진 파이렉스 유리물질을 채널을 완성하고 여기에 사용유체인 옥수수 기름(Corn Oil)을 구동전극부분보다 길게 채널에 채워 넣었다.

3.2 구동 장치 및 온도 인가 장치

인버터 회로를 이용하여 0.1 ~ 수십 kHz 에 $\pm 300\text{V}$ 까지의 6상 구형진행파 전압을 발생시킬수 있는 구동회로를 구성하였다. 그림4에 스위칭 기본회로도를 나타내었다. 본 논문에서는 사용유체의 도전율을 고려하여서 최대 유속을 얻을 수 있는 주파수 영역인 0.2 ~ 2 Hz까지의 주파수 범위에서 실험하였다. 채널의 아랫면에 열을 인가하기 위해서 그림3(b)의 전열 히터에 정전류원으로 $I = 0.1 \sim 0.6\text{A}$ 의 전류를 흘려주었다.

3.3 측정 방법

CCD 카메라와 모니터를 연결한 광학 현미경을 통해 유체와 공기의 경계면을 포착한 후 그 면의 움직임을 관측하여 유속을 측정하였다. 또한, 진행파의 방향을 바꾸어 유체흐름의 방향을 바꾸어 가면서도 유속을 측정하였다.

4 실험 결과

4.1 전압에 대한 유속의 특성

그림5에서는 히터에 전류 $I = 0.4\text{A}$, 진행파 구동 주파수 $f = 1.0\text{Hz}$ 일 때 인가 전압에 대한 유속을 나타낸다. 여기서 인가 전압이 들수록 유속은 증가함을 볼 수 있다. (1)식에서 유속은 전압의 제곱에 비례하는데 실험결과 대체로 비슷한 경향을 볼 수 있다. 한편, 구동회로에 가할 수 있는 전압은 이웃전극사이의 절연파괴전압에 의해 제한될 것이다.

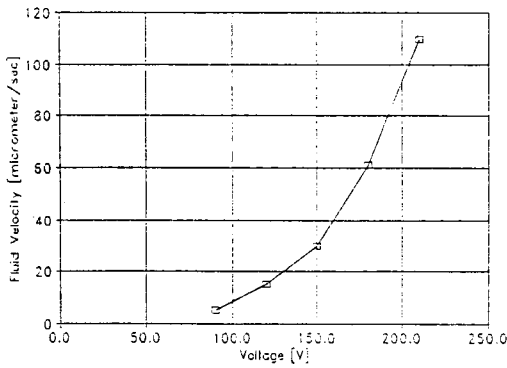


그림 5. 전압에 대한 유속

4.2 주파수에 대한 유속의 특성

그림 6은 히터 전열선에 전류 $I = 0.1$ A, 구동전압 $V = \pm 210$ V 를 인가했을 때의 주파수에 대한 유속을 나타낸다. 대체로 1 Hz 부근의 주파수에서 최고치의 유속을 가지며, 이는 사용유체(옥수수 기름)의 전하 완화시간과 밀접한 관련이 있다. 즉, 식에서 유속 v_x 는 $S (= 2\pi f \epsilon / \sigma_0) = 1$ 일 때 최고값을 갖게되는데, 사용유체의 전하 완화 시간인 ϵ / σ_0 의 값이 $1/2\pi$ 과 비슷한 값을 가지며 따라서, $f = 1$ Hz 부근에서 $S = 1$ 의 조건을 만족시켰다고 볼 수 있다.

4.3 온도의 영향

그림 7은 히터의 전열선에 전류 $I = 0.1, 0.2, 0.4, 0.6$ A, 인가전압 $V = \pm 210$ V 를 인가했을 때의 주파수에 대한 유속값을 나타낸다. 유속의 최고값을 갖는 주파수와 유속의 최고치가 전류에 따라 약간씩 증가함을 볼 수 있다. 이 이유는 전류를 많이 흘려주면 유체의 온도가 증가하므로 유체의 전기전도도 σ_0 가 커지며 이에 따라서 유속의 최고값을 갖는 주파수가 커지게 된다. 도전율과 주파수의 관계는 4.2 절에서 기술한 바 있다. 또 유체의 온도가 증가하면 유체의 점성계수가 작아지므로 유체는 쉽사리 이동할 수 있으며 따라서 유속의 최고값이 커지게 된다. 즉, (1) 식에서 점성계수 μ 가 작아지면 유속이 증가할 것을 쉽게 알 수 있다.

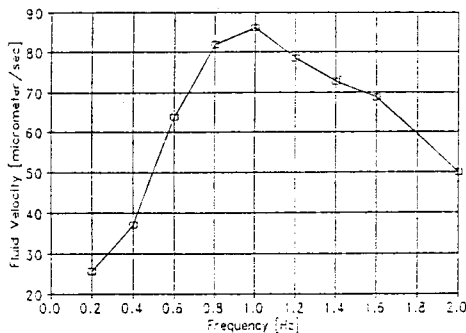


그림 6. 주파수에 대한 유속

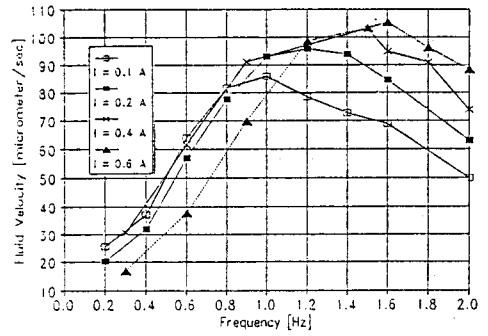


그림 7. 유속에 대한 온도의 영향

5 결론

이상에서 초소형 EHD펌프의 제작, 실험장치 및 실험결과에 대해 살펴 보았다. 초소형 펌프를 제작하기 위해 반도체 기본공정을 이용하였으며, 유속을 측정하기 위하여 광학 현미경 등을 이용하였다.

이러한 EHD 펌프에서 큰 유속을 얻기 위해서는 절연과피 이내의 높은 전압인가와 유체에 따른 특정 주파수에서의 펌프구동 및 적절한 온도의 인가 등이 필요하다.

현재 전극 및 채널의 일괄공정제작에 관한 연구가 진행중이며, 앞으로 이론적인 계산과 실험치를 비교하기 위해 채널 및 유체의 온도 측정 및 유체의 전기, 기계적 특성(유체 유전율, 전기 전도도, 점성계수 등) 파악등이 필요하다.

사사

본 논문의 실험장치중 구동장치를 제작하는데 도움을 준 서울대 전기공학과 김병호 군과 측정용 도와준 최진우 군에게 감사하는 바입니다.

참고문헌

- [1] 윤용규, 김용권, "온도차를 이용한 유도형 마이크로 EHD 펌프에 관한 연구", 대한전기학회 하계종합학술대회 논문집 (B) 1993, pp. 1069-1071.
- [2] 윤용규, 김용권, "유도형 EHD 펌프의 소형화에 관한 연구", 대한전기학회 추계종합학술대회 논문집 1992, pp. 133-135.
- [3] J.R.Melcher, M.S.Firebaugh, "Traveling - Wave Bulk Electroconvection Induced across a Temperature Gradient", *Phy. Fluid*, 1967, pp. 1178-1185.
- [4] A.Richter, H.Sandmaier, "An Electrohydrodynamic Micropump", *Proc. MEMS 1990*, pp. 99-104.
- [5] G.Fuhr, R.Hagedorn, T.Müller, W.Benecke, B.Wagner, "Pumping of Water Solution in Microfabricated Electrohydrodynamic Systems",