

# 고출력 평면형 ECF 펌프를 위한 전극 구조 Electrode Geometry for High Performance Planar ECF Pump

\*#서우석<sup>1</sup>, 함영복<sup>1</sup>, 박중호<sup>1</sup>, 윤소남<sup>1</sup>

\*#W. S. Seo (woosseo@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, Y. B. Ham<sup>1</sup>, J. H. Park<sup>1</sup>, S. N. Yun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 지능형정밀기계연구본부 정보장비연구센터

Key words : Electro-Conjugate Fluid (ECF), Planar ECF Pump, Saw-tooth Electrode, Arc-shape Electrode, Liquid Cooling System

## 1. 서론

전계공역유체(Electro-Conjugate Fluid, 이하 ECF)는 일종의 유전성 유체이며, 액중에 삽입된 전극에 직류전압을 인가하면 전극간에 강력한 유동(ECF-jet)이 발생하는 기능성 유체이다.<sup>1,4</sup> 인가전계에 의해 전극간에 발생하는 ECF의 유동현상(ECF effect)을 통하여 ECF는 전기적 에너지를 기계적 유체 에너지로 직접 전환이 가능하며, 다양한 유체 디바이스 및 액추에이터의 구동원으로 이용되고 있다.<sup>2,3</sup> 저자들의 일부는 제한된 실장공간을 가지는 차세대 노트북 컴퓨터와 같은 고발열 전자기기의 냉각을 위해 ECF의 유동현상을 펌프에 적용한 기계적 가공부가 없는 무진동, 무소음의 A4 사이즈 평면형 ECF 펌프를 제안하고 출력특성을 실험적으로 검토한 바 있다.<sup>4</sup> 그러나, 상기 평면형 ECF 펌프에 있어, ECF 제트를 발생시키는 전극은 A4 사이즈의 넓은 면적상에 배치되어 있기 때문에 소비전류가 증가하게 되어 20W 정도의 큰 소비전력이 요구되는 것이 문제가 되고 있다. 노트북 컴퓨터와 같은 모바일 전자기기의 냉각시스템에 적용하기 위해서는 저소비전력이면서 고출력인 펌프의 개발이 불가피하다.

본 논문에서는 저소비전력형 고출력 평면형 ECF 펌프를 실현하기 위해 기존의 선형 전극구조와 비교하여 보다 강력한 ECF 제트가 발생 가능한 톱니형 전극(saw-tooth electrode) 및 호형 전극(arc-shape electrode)구조를 제안하고, 이를 이용한 소형 평면형 ECF 펌프의 출력특성을 실험적으로 검토한다.

## 2. 개선된 전극구조를 가지는 소형 평면형 ECF 펌프

Fig. 1은 평면형 ECF 펌프의 구동 원리를 나타낸다. 기관상에 전극대를 유로와 직교하여 배치하고 이 기관을 삽입한 펌프실 내부에 ECF를 주입한다. 펌프실 내부의 전극대에 직류 고전압을 인가하면, 전극 주변의 전계에 따른 ECF 효과에 의해 고전위 측의 전극과 그라운드 전극 사이에서 제트가 발생한다. 인가전계에 의해 발생하는 ECF 제트의 운동량은 정지상태인 전극 상부의 유체에 전달되며, 먼저 전극 주변의 유체가 이동하는 국소유동이 발생하고, 이 국소유동이 발전함에 따라 유로 내부의 유동이 순차적으로 형성된다.

Fig. 2는 소형 평면형 ECF 펌프의 개략도 및 사진을 나타낸다. 펌프의 전체 치수는 120mm×38mm×12mm 이며, 전극 기관과 외부 상판 사이에 형성된 유로높이는 500μm이다. 펌프실 내부에서 인가 전계에 의해 ECF 제트를 발생시키는 전극 기관은 길이 90mm, 폭 11mm, 두께 1.6mm의

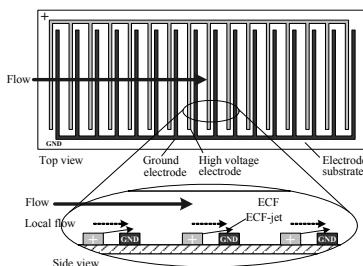


Fig.1 Working principle of planar ECF pump

글라스 에폭시 기관을 사용하였으며 전극의 재질은 황동이다.

제안한 소형 평면형 ECF 펌프는 인가 전계에 의해 전극간에 발생하는 ECF 제트가 펌프의 구동원으로 사용되고 있기 때문에 전극의 형상은 펌프의 출력 특성을 결정하는 주요한 설계 파라미터가 된다. 본 논문에서는 5 종류의 전극 기관을 제작하여 펌프 출력특성의 실험적 검토를 행하였다. 제작한 5 종류의 전극구조 및 치수를 Fig. 3 및 Table 1에 나타낸다.

Table 1 Specifications of various electrode patterns

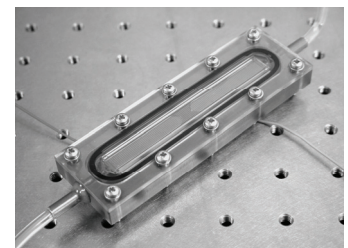
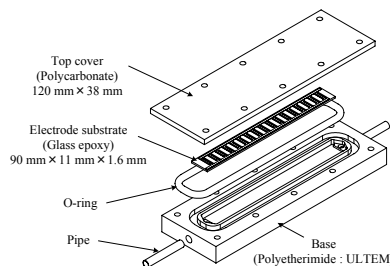
Substrate No.	$B_e$ (μm)	$L_e$ (μm)	$L_p$ (μm)	$S_h$ (μm)	$S_p$ (μm)	No. of stages (No. of electrodes)
No. 1	80	200	400	N/A	N/A	108 (216)
No. 2	80	200	400	170	200	93 (186)
No. 3	80	200	400	170	200	93 (186)
No. 4	80	200	N/A	170	300	N/A (186)
No. 5	80	200	N/A	170	200	N/A (186)

## 3. 소형 평면형 ECF 펌프의 특성실험

2장에서 논한 5종류의 전극구조를 이용한 소형 평면형 ECF 펌프의 출력 특성 실험을 행하였다.

먼저, 선형 전극구조를 가지는 기관 1과 비교하여 톱니형 전극과 호형 전극의 유무에 관한 펌프 출력 특성의 영향을 검토하였다. Fig. 4에 기관 1~3에 대한 실험결과를 나타낸다. Fig. 4의 결과로부터 선형 전극의 기관 1에 대한 톱니형 전극과 선형 전극으로 이루어진 기관 2의 출력 특성은 동일한 전극간격이지만 적은 전극 개수에도 불구하고 출력이 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 톱니형 전극구조에 따라 전극간의 전계 불균일성이 증가한 것에 의해 보다 강력한 제트가 발생한 결과로 생각되어진다. 다음으로, 톱니형 전극과 호형 전극으로 구성되어 있는 기관 3의 경우는 기관 2보다도 높은 출력을 보이는 것을 알 수 있다. 원인으로서 기관 3의 톱니형 전극의 끝단과 호형 전극간의 동일한 전극 간격에 의해 일정한 전계강도 분포를 유지할 수 있기 때문에, Fig. 5(b)에 나타난 것과 같이 톱니형 전극의 끝단으로부터의 제트가 증가했기 때문으로 판단된다.

한편, 본 논문에서 검토하고 있는 소형 평면형 ECF 펌프에 있어서, 고전위측의 전극과 저전위측의 전극에 인가되는 전압의 극성을 바꾸어도 동일 방향의 펌핑효과를 얻을 수 있는 것이 관찰되었다. 여기서, 톱니형 전극과 호형 전극을 가지는 기관 3에 대하여 톱니형 전극을 그라운드, 호형 전극에 고전압을 인가한 경우의 실험을 행하였다. 그



(a) Schematic diagram  
(b) Photocopy  
Fig.2 Configuration of the fabricated planar ECF pump

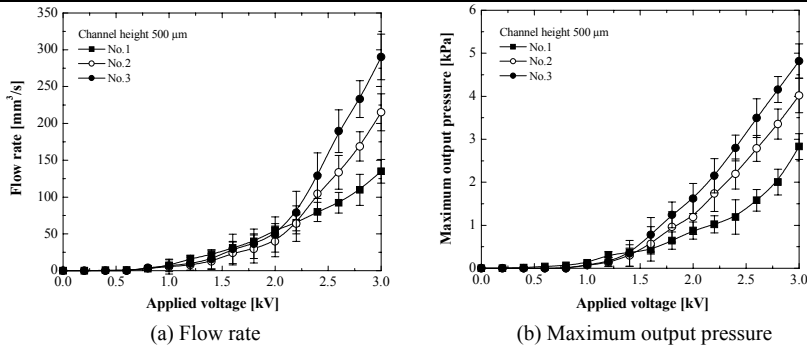


Fig.4 Comparisons among the pump characteristics with substrates No.1 to No.3

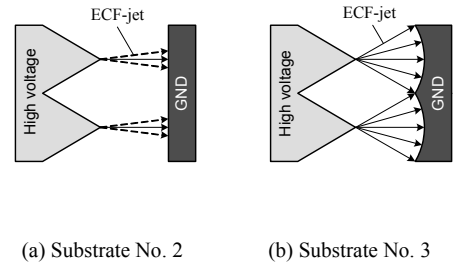


Fig.5 Effect of arc-shape electrode

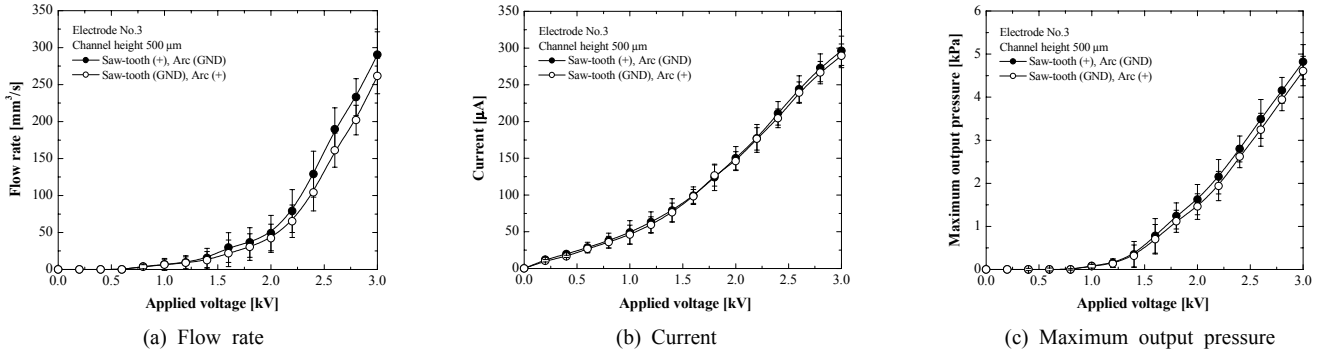


Fig.6 Comparisons between the miniature thin-planar ECF pump characteristics with switched positive and ground voltage

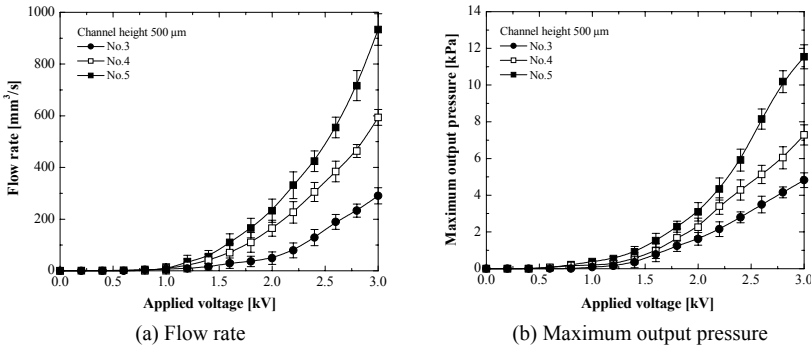


Fig.7 Comparison among the pump characteristics with substrates No.3 to No.5

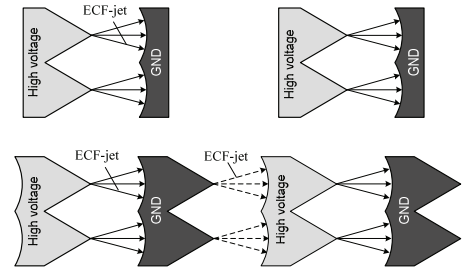


Fig.8 Effect of the same electrode distance

결과를 Fig. 6에 나타낸다. 전극 극성의 변화에 대한 소형 평면형 ECF 펌프의 출력특성은 거의 동일한 것을 알 수 있다. Fig. 6의 결과로부터, 기판 3과 같이 불균일한 전계가 형성되는 전극구조에 있어서 ECF 제트의 진행 방향은 전극의 극성에 의해 결정되는 것이 아니라, 전계의 불균일성이 높은 전극의 에지로부터 낮은 부분(기판 3의 경우 호형 전극)을 향하여 발생하는 것으로 생각된다.

Fig. 6의 결과에 기초하여 톱니 및 호형 전극으로 이루어진 전극을 등간격으로 배치한 기판 4, 5에 대한 출력 특성 실험을 행하였다. 실험 결과를 Fig. 7에 나타낸다. Fig. 7의 결과로부터 기판 4, 5의 출력 특성은 톱니형 전극 및 호형 전극의 전극대로 이루어진 기판 3과 비교하여 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 기판 4, 5의 경우는 전극을 등간격으로 배치하였기 때문에 ECF 제트가 발생 가능한 톱니형 전극 끝단의 개수가 증가한 결과 펌프의 고출력화에 기여한 것으로 판단된다. 또한, Fig. 7에 나타낸 바와 같이, 펌프 출력특성에 관한 톱니형 전극의 피치의 영향에 있어, 200 $\mu$ m의 피치를 가지는 기판 5의 출력특성은 300 $\mu$ m 피치의 기판 4와 비교하여 증가하는 것을 알 수 있다. 실험결과로부터 기판 5, 유로높이 500 $\mu$ m의 경우, 인가전압 3kV에서 무부하 토출유량 940mm<sup>3</sup>/s, 전류치 0.6mA, 최대토출압력 11.6kPa이 얻어졌다. 한편, 선형 전극 구조를 가지는 종래의 A4사이즈 평면형 ECF 펌프와 출력을 비교하면 최대 출력과 파워 밀도는 14배, 효율은 3배 증가

하고 있는 것으로부터, 본 논문에서 제안한 톱니형 및 호형 전극구조는 평면형 ECF 펌프의 고출력 및 고효율화의 관점에서 유효한 것이 확인되었다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 인가전계에 의해 전극간에 활발한 유동이 발생하는 ECF를 작동유체로 한 기계적 가동부가 없는 무소음, 무진동의 소형 평면형 ECF 펌프를 개발하고, 고출력 펌프를 실현할 수 있는 톱니형 및 호형 전극구조를 제안하여 그 특성을 실험적으로 검토하였다.

#### 참고문헌

1. Y. Otsubo, K. Edamura, "Dielectric fluid motors," Appl. Phys. Lett., Vol. 71, No. 3, pp. 318-320, 1997.
2. K. Takemura *et al.*, "Development and control of a micro artificial muscle cell using electro-conjugate fluid," Sensors and Actuators A, Vol. 133, Issue 2, pp. 493-499, 2007.
3. S. Yokota *et al.*, "A Micro Motor Using Electro-conjugate Fluids (ECF)," Int. Journal of JSME (C), Vol. 44, No. 3, pp. 756-762, 2001.
4. W.-S. Seo *et al.*, "A Thin-Planar Pump Using Electro-Conjugate Fluid (ECF) for Liquid Cooling of Electronic Chips," Trans. of JSME (C), Vol. 71, No. 709, pp. 2798-2804, 2005.