

< 논문 >

# 단일 히터의 디지털 구동을 통한 유효 히터면적 변화 및 분사 액적크기 조절이 가능한 미소유체분사기

제창한\* · 강태구\* · 조영호†  
(2004년 6월 29일 접수, 2004년 11월 18일 심사완료)

## Effective Heater-Area and Droplet-Volume Adjustable Microinjectors Using a Digitally Controlled Single Heater

Chang Han Je, Tae Goo Kang and Young-Ho Cho

**Key Words:** Thermal Microfluid Injector(가열방식 미소유체분사기), Droplet Volume Adjustment(분사 액적 크기조절), Effective Heater Size(유효 히터면적), Inkjet Printer(잉크젯 프린터)

### Abstract

The paper presents a single-heater microfluid injector, whose ejected droplet volume is adjusted by digital current path control for a single microheater. The previous droplet volume adjustable methods have used the digital current control for multiple heaters or the analog current control for a single heater, while the present method uses the digital current control for a single microheater. Two different microinjectors, having a rectangular heater and a circular heater, are designed and fabricated in the chip area of 7.64 mm x 5.26 mm. The fabricated microinjectors have been tested and characterized for the number, size, shape and lifetime of the generated bubbles as well as for the volume and velocity of the ejected droplets. The input power for the rectangular heater and the circular heater has been varied in the ranges of 8.7~24.9 $\mu$ W and 8.1~43.8 $\mu$ W, respectively. The projected area of the generated bubble has been changed in the ranges of 440~1,360 $\mu$ m<sup>2</sup> and 800~3,300 $\mu$ m<sup>2</sup> for the rectangular heater and the circular heater, respectively. The microinjector with the rectangular heater ejects three discrete levels of the droplet in the volume range of 9.4~20.7pl with the velocity range of 0.8~1.7m/s, while the microinjector with the circular heater achieves five discrete levels of the droplet in the volume range of 7.4~27.4pl with the velocity range of 0.5~2.8m/s.

### 1. 서론

미소유체를 분사하기 위한 미소유체분사기에 있어서 미소히터에서 발생하는 열과 이에 의한 유체의 상변화를 이용하는 가열방식<sup>(1)</sup>의 미소유체분사기는 구조가 간단하여 지금까지 가장 널리 사용되고 있다. 특히 가열방식의 잉크젯 프린터<sup>(2)</sup>는 고해상도, 저소음, 칼라인쇄가 가능하면서 가격 경쟁력이 우수한 장점으로 인해 칼라 프린팅 시장에서 가장 큰 비중

을 차지하고 있다. 최근 잉크젯 프린터에서는 고해상도를 유지하면서 인쇄 속도를 높이는 것이 매우 중요한 기술적 문제로 대두되고 있으며, 이를 위하여 단일 노즐에서 분사되는 액적의 크기를 조절하여 해상도를 가변시킴으로써, 고해상도를 유지하면서 인쇄 속도를 향상시키려는 연구가 진행되고 있다.

가열방식의 미소유체분사기에 있어서 분사되는 액적의 크기<sup>(3)</sup>는 히터의 크기와 모양, 분사실 및 분사 노즐의 크기와 모양, 입력 전기 신호 등에 의해서 결정된다. 이 중에서 입력 전기 신호를 제외한 다른 변수들은 일단 미소유체분사기를 제작하면 고정된다. 따라서 제작된 미소유체분사기의 액적의 크기를 조절하기 위해, 기존에는 다수개의 히터를 미리 제작한 후 입력 신호를 공급하는 히터의 개수를 조

† 책임저자, 회원, 한국과학기술원, 디지털나노구동연구단  
E-mail : nanosys@kasit.ac.kr  
TEL : (042)869-8691 FAX : (042)869-8690  
\* 한국과학기술원, 디지털나노구동연구단

절하거나, 하나의 히터에 공급되는 입력 신호의 크기를 조절하는 방식을 사용하였다. 먼저 하나의 분사구에 다수의 히터를 사용하는 경우, 고밀도 분사구 제작이 힘들다는 단점이 있어 고해상도 유지에 문제가 발생한다. 한편 하나의 히터에 공급하는 입력 신호의 크기를 조절하는 아날로그 가열방식은 구동회로와 방식이 복잡할 뿐만 아니라 조절할 수 있는 액적 크기의 범위가 좁고 액적 크기의 정밀한 조절이 어렵다는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 하나의 히터에 다수의 입력 신호 경로를 설치하여 고밀도 분사구 제작을 용이하게 하면서, 동일한 입력 신호를 경로별 디지털 공급방식으로 제어함으로써 구동회로와 방법의 단순화와 액적 크기의 범위와 정밀도 향상을 꾀하면서 분사 액적의 크기를 조절할 수 있는 새로운 형태의 미소유체분사기를 제안한다.

## 2. 작동 원리 및 성능 예측

### 2.1 구조 및 작동 원리

본 논문에서 제안하는 미소유체분사기의 구조는 Fig. 1에 도시한 바와 같이 유입구, 유로, 분사실, 분사구, 히터, 그리고 전류의 경로를 조절하기 위한 다수의 전기적 배선으로 구성되어 있다.

기존의 가열 방식의 단일히터 미소유체분사기는 분사 액적의 크기를 조절하기 위하여 입력 전기 신호의 크기를 조절하였지만, 본 논문의 단일히터 미소유체분사기는 다수의 동일 입력 신호의 디지털 제어어를 통해 히터에 공급되는 전류 경로를 조절하여 유효 히터의 크기를 변화시킴으로써 분사 액적의 크기를 조절한다.

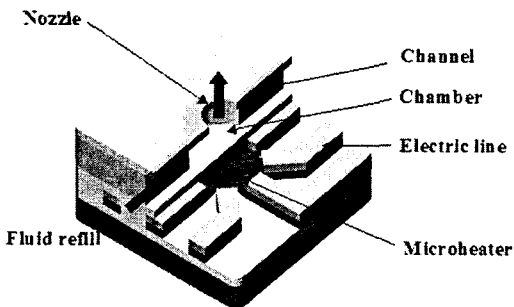


Fig. 1 Perspective view of the single-heater microinjector

이러한 작동원리는 Fig. 2에 설명되어 있다. 전류는 저항이 가장 작은 최단 경로로 흐르는 경향이 있다. 이러한 성질을 이용하여 Fig. 2에서와 같이 동일한 히터에 다수개의 전기 배선을 설치하고 배선에 따라 선별적으로 전류를 인가하면, 전류가 공급되는 배선의 조합에 따라 히터내부의 전류를 원하는 방향으로 흐르게 할 수 있다. Fig. 2(a)와 같이 한 쌍의 전류 경로를 선정하면 전류는 최단 거리인 7에서 3으로 흘러 가장 작은 크기의 유효히터 면적을 형성하여 가장 작은 크기의 액적이 분사된다. 마찬가지로 Fig. 2(b)와 같이 두 쌍 또는 그 이상의 전류 경로를 선정하면 전류가 흐르는 면적이 증가하여 더 큰 크기의 히터 면적과 분사 액적을 얻을 수 있다. 따라서 본 미소유체분사기에서는 단일 히터에 설치된 다수개의 배선 중 동일 전기신호를 공급할 배선의 조합에 따라 유효 히터의 면적 조절이 가능하며 이로 인한 발생 기포의 개수, 크기, 모양의 변화에 의해 동일 분사구를 통한 분사 액적의 크기 조절이 가능하다.

본 논문에서는 Fig. 3과 같이 사각히터(R-type)와 원형히터(C-type)를 가진 두 종류의 미소유체분사기를 설계하였다. 각각의 경우 사각 및 원형히터를 8개의 전기배선을 따라 히터의 가장자리 일부를 제거한 형태를 지니고 있다. Fig. 3에 도시한 히터의 경우, 각각 단일 히터에 설치된 8개의 배선 중 동일 전기신호를 공급할 배선의 조합에 따라 유효 히터의 면적 조절이 가능하나 이로 인한 발생 기포의 개수, 크기, 모양의 변화에 따라 분사 액적의 크기를 다르게 할 수 있는 동작모드의 조합은 Table 1과 같이 총 6가지가 존재한다.

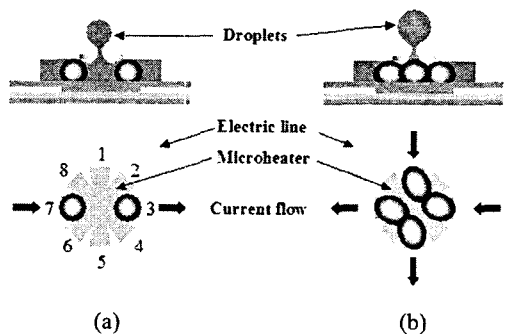


Fig. 2 Principle of the digital droplet volume adjustment: (a) Single current path operation; (b) Multiple current path operation

2.2 이론적 분석 및 성능 예측

본 논문에서는 Fig. 3과 같은 미소히터의 온도와 발생기포의 압력 그리고 이로 인해 Fig. 4와 같은 미소유체분사기의 구조에서 토출되는 분사액적의 크기를 이론적으로 예측하였다.

일차적으로 미소히터와 미소 유체분사기 구조의 온도에 관한 이론적인 분석을 수행하였으며, 이는 가열 방식의 미소유체분사기에 대한 기존 해석법<sup>(3,4)</sup>에 본 논문의 미소유체분사기에 해당하는 재료 및 치수를 적용하였다. 이때, 입력 전기에 의해 히터에서 발생하는 열은 식 (1)과 같은 열 확산식을 통해 예측할 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \left( \frac{E}{R_{ull}} \right)^2 \left( \frac{R_h}{V_h} \right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

여기서  $k, \rho, c$ 는 각각 열전달 방향으로 재료가 가지는 열전도계수, 밀도, 비열이며,  $E, V_h, R_h, R_{ull}$ 는 각각 히터의 전압, 부피, 저항 및 히터와 도선 전체 저항을 나타낸다.

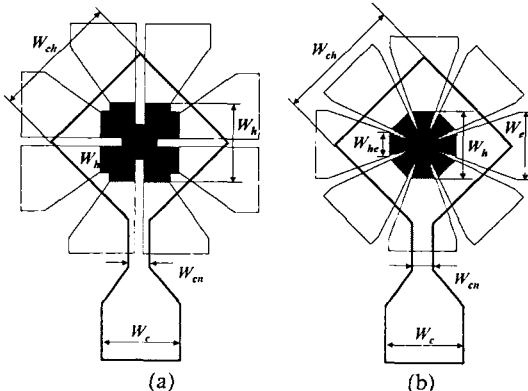


Fig. 3 Microheaters with multiple electrical lines: (a) Rectangular-type heater (R-type); (b) Circular-type heater (C-type)

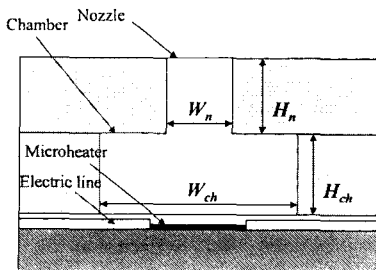


Fig. 4 Cross-sectional view of the microinjectors

본 연구에서는 공식 (1)을 근거로 Ansys®를 이용한 히터 주변의 3차원 열해석을 수행하여 히터의 온도를 예측하였다. Fig. 3에 도시된 두가지 형태의 히터를 대상으로 Table 1에 정리된 각각의 동작모드에 해당하는 경우에 대하여 Ansys®를 이용하여 Fig. 4와 같은 단면구조를 가지는 미소유체분사기에 대한 3차원 실제치수 모델을 형성하고 15V의 전기신호를 3μsec동안 인가한 후에 이론적으로 예측한 히터의 온도 분포를 Fig. 5에 나타내었다.

일반적인 물의 비등의 경우, 히터에서 발생한 열에 의해 액체가 비등점에서 끓기 시작하면서 기포가 생성되지만, 본 미소히터의 경우와 같이 순간적인 과열 조건<sup>(3)</sup>하에서는 온도의 급상승으로 인해 기포가 생성되는 온도( $T_{gen}$ )가 비등점에 비해서 훨씬 높은 약 270°C 에 이른다. 이는 미소히터의 경우, 극히 짧은 시간동안 아주 높은 열전달( $10^7 \sim 10^8 \text{ W/m}^2$ )이 일어나기 때문이다. 이때 생성되는 기포의 크기는 Fig. 5와 같은 히터 온도 분포에서 기포 생성온도( $T_{gen}$ )인 270°C 이상에 해당하는 면적에 해당한다.

Table 1 Operation modes and turn-on electrode combination\* of the microinjectors, having the R-type and C-type microheaters of Fig. 3

Mode Number	R-type		C-type	
	Current In	Current Out	Current In	Current Out
Mode 1	1	5	1	5
Mode 2	1,8	4,5	1,5	3,7
Mode 3	1,4	5,8	1,3	5,7
Mode 4	1,2	5,6	1,2	5,6
Mode 5	1,5	3,7	1,3,5,7	2,4,6,8
Mode 6	1,2,5,6	3,4,7,8	1,2,3	5,6,7

\* The numbers, 1-8, in the right four columns indicate the active electrode numbers in Fig. 3 corresponding to the turn-on electrode combination for each operation mode.

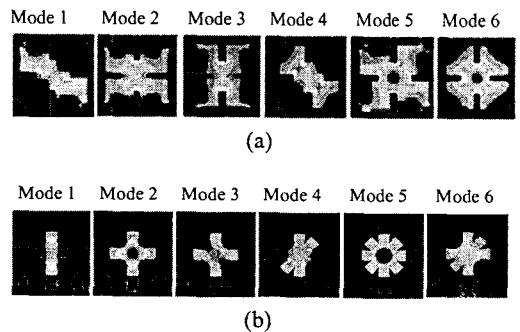


Fig. 5 Theoretical estimation of the projected bubble areas of the microheaters (Fig. 3) using ANSYS® simulation: (a) R-type; (b) C-type

본 논문에서 분사 액적의 크기를 예측함에 있어서 작동 유체를 비압축성으로 가정하고, 노즐에서의 표면 장력에 의한 효과를 무시하였으며, 기포 내부 온도와 압력이 균일한 이상 기체로 가정하였다. 이러한 경우, 작동 유체의 포화 증기 압력으로부터 생성되는 기포의 압력은 대기압보다 10~100배 정도 높은 것으로 보고되어<sup>(3)</sup>있다.

본 논문의 경우, 기포의 압력( $P_v$ )은 다음과 같은 식 (2)의 Clausius-Claypeyron 공식<sup>(4)</sup>으로 예측하였다.

$$P_v = P_{atm} \exp \left[ \frac{wQ_{vap}}{R} \left( \frac{1}{273+T_b} - \frac{1}{273+T_v} \right) \right] \quad (2)$$

식(2)에서  $P_{atm}$ 은 대기압,  $R$ 은 기체상수 (8.3148 J/mol·K),  $T_b$ 와  $T_v$ 는 각각 작동 유체의 비등점과 기포 내 기체의 온도,  $w$ 와  $Q_{vap}$ 는 각각 작동 유체의 분자량과 증발열이다. 작동 유체를 물로 하면, 이 값들은,  $T_b = 100^\circ\text{C}$ ,  $w = 18 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$ ,  $Q_{vap} = 2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$ 이다. 식 (1)에서 시간에 따른 기포 내 기체의 온도 ( $T_v$ )를 구해 식 (2)에 대입하면 시간에 따른 기포의 압력( $P_v$ )을 구할 수 있다. 기포의 압력으로부터 아래 식 (3)을 이용하여 분사실 전체의 균일한 압력 ( $P_c$ )을 구할 수 있다.

$$P_c = \frac{A_b}{A_c} P_v \quad (3)$$

식 (3)에서  $A_b$ 와  $A_c$ 는 생성된 기포의 단면적과 분사실의 단면적이다. 마지막으로 앞에서 보인바와 같이 기포에 의한 압력이 Fig. 4와 같은 분사실 내의 압력으로 전달된다는 가정<sup>(3)</sup>하에 이로 인한 분사 액적의 크기는 아래 식(4)에서 예측할 수 있다.

$$\rho A \frac{d^2 V}{dt^2} + \eta B \frac{dV}{dt} = P_c - P_{atm} \quad (4)$$

식 (4)에서  $\rho$ 와  $\eta$ 는 각각 작동 유체의 밀도와 점성이며,  $V$ 는 노즐 밖으로 밀려나가는 유체의 부피이다. 한편 식 (4)의 관성 계수  $A$ 와 저항 계수  $B$ 는 다음의 식 (5)과 같이 정의되며, 식 (5)에서  $l$ ,  $a(x)$ ,  $b(x)$ 는 Fig3, Fig. 4에서 사각형 분사실의 높이 ( $H_{ch}$ )와 분사실 단면의 가로 ( $W_{ch}$ )와 세로 ( $W_{ch}$ )이다.

$$A = \int_b \frac{1}{a(x)b(x)} dx \quad (5)$$

$$B = \int_b \frac{G(x)}{(a(x)b(x))^2} dx$$

한편, 상기 식 (5)의  $G(x)$ 는 다음과 같이  $a(x)$ 와  $b(x)$ 의 함수로 정의된다.

$$G(x) \approx 12 \left( 0.33 + 1.02 \left( \frac{a(x)}{b(x)} + \frac{b(x)}{a(x)} \right) \right) \quad (6)$$

따라서 식 (5)과 식 (6)을 식 (4)와 함께 풀면 노즐로부터 밖으로 분사되어 나가는 유체의 부피  $V$ 를 예측할 수 있다. 이상과 같이 이론적으로 예측한 유효 히터 면적과 분사 액적의 부피는 추후 Fig. 12에서 실험에서 측정된 값들과 비교하여 제시하였다.

### 3. 제조 공정

Fig. 3과 같은 두 가지 종류의 히터를 가진 미소유체분사기를 Fig. 6과 같은 제조공정으로 제작하였다. 우선 실리콘 웨이퍼에 열적 및 전기적 절연을 위해 3,000Å 두께의  $\text{SiO}_2$  박막을 형성하고, 그 위에 히터로 사용될 1,000Å 두께의 TaAl 박막과 전기적 연결을 위한 8,000Å 두께의 알루미늄 박막을 형성하고 두 차례의 노광 공정 및 세 차례의 습식 식각 공정을 통해 히터와 전기적 배선을 구성하였다. 여기에 다시 전기적 절연을 위하여 2,000Å 두께의  $\text{Si}_3\text{N}_4$  박막을 PECVD 공정으로 증착한 후, 건식식각(Reactive Ion Etching: RIE) 공정으로 패터닝을 하여 접속창을 제작한 후 전기적 접점을 형성하였다.

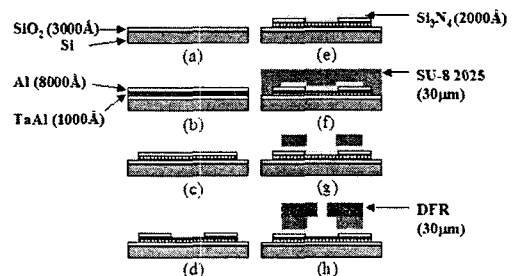


Fig. 6 Fabrication process of the microinjector

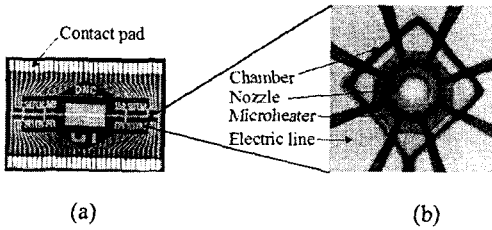


Fig. 7 Photographs of the fabricated microinjector array and the enlarged view of a single-heater

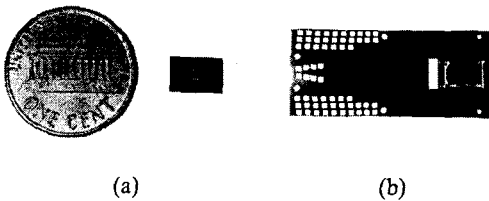


Fig. 8 Photographs of the fabricated microinjectors: (a) the microinjector compared with US penny; (b) the microinjector attached to FPC

한편, 작동 유체가 흐르는 미소 유로와 분사실은 30 $\mu$ m 두께의 감광제(SU-8 2025)를 이용하여 절연막 위에 일체형으로 형성하였다. 이에 30 $\mu$ m 두께의 건식 감광 필름(Dry Film Photo Resistor)을 미소 유로 위에 접착하고 습식 식각으로 노즐을 형성함으로써 미소유체분사기 제작을 완료하였다. 제작된 미소유체분사기의 주요 구성요소의 설계치수와 제작 후 측정된 실제치수를 Table 2에 비교하여 정리하였다.

Fig. 7(a)는 제작된 미소유체분사기, Fig. 7(b)는 노즐 부분을 확대한 사진이다. 제작된 미소유체분사기의 전체크기는 7.64mm x 5.26mm 이며, Fig. 8(a)에 미화일 센트 동전과 크기를 비교하였다. Fig. 8(b)는 제작된 미소유체분사기(Fig. 7(a) 혹은 Fig. 8(a))를 FPC(Flexible Printed Circuit)에 부착한 사진이다.

#### 4. 실험 결과 및 토의

제작된 두 종류의 미소유체분사기를 Fig. 9와 같은 실험장치를 이용하여 기포 생성 및 액적 분사 실험을 수행하였다. Fig. 9의 실험 장치에서 기포 및 액적의 생성과 소멸을 관찰하기 위하여 스트로보스코프 조명과 고배율 CCD 카메라를 이용하고, 각 전기 배선으로 공급할 디지털 입력 신호를 생성하기 위하여 펄스 생성기를 사용하였다.

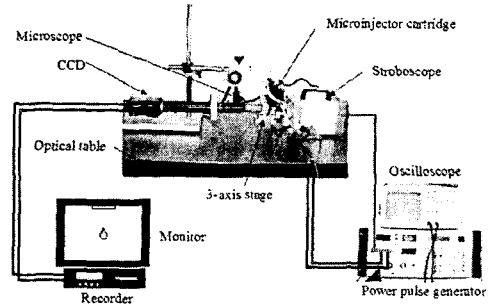


Fig. 9 Test setup for bubble generation and droplet ejection characterization

Table 2 Dimensions of the microinjectors (Fig. 1), having the microheaters of two different types (Fig. 3)

Components	Designed size		Fabricated size		
	R type	C type	R type	C type	
Heater	Width, $W_h$ [ $\mu$ m]	84	90	86 $\pm$ 0.5	92.5 $\pm$ 0.5
	Line contact, $W_{he}$ [ $\mu$ m]	30	30	28 $\pm$ 0.5	27.5 $\pm$ 0.5
	Heater neck, $W_{hn}$ [ $\mu$ m]	16	10	19 $\pm$ 0.5	12.5 $\pm$ 0.5
	Thickness, $H_h$ [ $\text{\AA}$ ]	1,000		960 $\pm$ 47	
Chamber	Depth, $H_{ch}$ [ $\mu$ m]	30		30 $\pm$ 0.5	
	Width, $W_{ch}$ [ $\mu$ m]	120		108 $\pm$ 1	
Nozzle	Depth, $H_n$ [ $\mu$ m]	30		30 $\pm$ 0.5	
	Width, $W_n$ [ $\mu$ m]	40		45.5 $\pm$ 1	
Channel	Width, $W_c$ [ $\mu$ m]	200		187 $\pm$ 1	
	Height, $H_c$ [ $\mu$ m]	30		30 $\pm$ 0.5	
	Neck width, $W_{cn}$ [ $\mu$ m]	20		12.5 $\pm$ 0.5	
Electric Input line	Width, $W_e$ [ $\mu$ m]	100		97.5 $\pm$ 0.5	
	Thickness, $H_e$ [ $\text{\AA}$ ]	9,000		8,930 $\pm$ 87	

먼저, 기포 생성시험에서는 Fig. 3의 두 종류의 미소히터를 가진 미소유체분사기에 대하여 Table 1에 제시된 동작모드별로 생성되는 기포의 개수, 크기, 모양을 관찰하였으며, 이를 근거로 유효 히터면적을 측정하였다. 이때 각 전기배선에 공급되는 입력신호는 모두 1 kHz, 15.0 V, 3  $\mu$ sec 펄스 폭을 갖는 동일한 전기 신호를 사용하였다. 이어 분사시험에서도 유효히터 면적 측정에서와 동일한 전기 신호를 사용하여, Fig. 3의 두 종류의 미소유체분사기에 대해 Table 1에 제시한 각 동작 모드별 분사 액적의 크기와 속도를 측정하였다.

Fig. 10은 두 가지 종류의 미소유체분사기에서 Table

1의 각 동작 모드별로 생성된 최대 크기의 발생 기포 사진이며, Fig. 11은 두 종류의 미소유체분사기에서 Table 1의 각 동작모드에서 액적이 분사되는 것을 입력신호 인가 후의 시간의 경과에 따라서 촬영한 사진이다. 또한 기포생성 실험에서 측정된 기포 크기와 액적분사 실험에서 측정된 분사 액적의 크기와 속도를 두 종류의 미소유체분사기의 동작모드별로 정리한 결과를 앞서 이론적으로 예측한 결과와 비교하여 Fig. 12에 제시하였다. 한편, Fig. 13과 Fig. 14에서는 두 종류의 미소유체분사기에 대해 각 동작모드별 입력 신호의 전력과 분사 액적의 크기 간의 상관관계(Fig. 13)와 유효히터의 크기와 분사액적의 크기 간의 상관관계(Fig. 14)를 각각 정리하여 제시하였다.

먼저 Fig. 10에서 각 모드별 발생기포는 1kHz, 15.0V, 3μsec 펄스 폭을 갖는 전기 신호를 입력했을 때 3~5 μsec 후에 최대 크기가 되었다. 실험에서 관찰한 기포 발생(Fig. 10)은 앞서 이론적으로 예측한 결과(Fig. 5)와 매우 유사한 양상을 보이고 있음을 확인하였다.

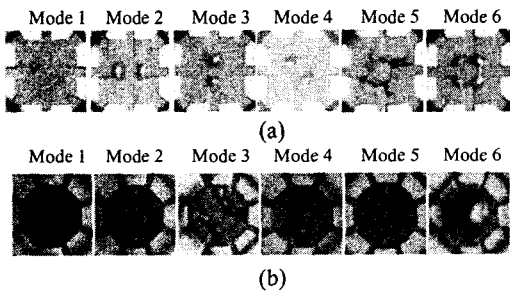


Fig. 10 Experimental images of the projected bubble areas at the maximum bubble size: (a) R-type, (b) C-type

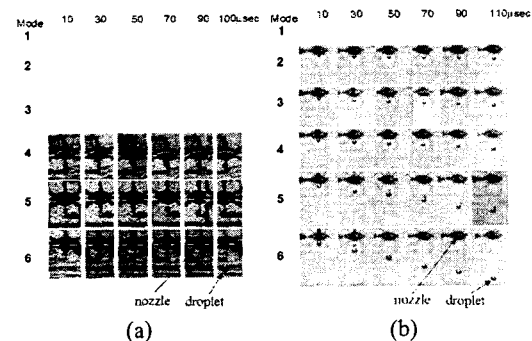


Fig. 11 Droplet ejection images taken at 10~110μsec after the microheater turn-on for the operation modes of Table 1:(a) R-type; (b) C-type

Fig. 12(a)에서 나타난 바와 같이 측정된 생성 기포의 크기(히터의 유효면적)는 R-type의 경우 440μm<sup>2</sup> (mode 1)에서 1,360μm<sup>2</sup> (mode 6)까지, C-type의 경우 800μm<sup>2</sup> (mode 1)에서 3,300μm<sup>2</sup> (mode 6)까지 변화였다. 생성 기포의 크기에 관한 실험치와 이론 예측치는 Fig. 12(a)에서 보는 바와 같이, 측정치가 이론치보다 약 20% 큰 값을 보이나, 동일 미소유체분사기 내에서 동작 모드별 생성기포의 크기 변화 양상은 실험치와 예측치가 서로 일치하는 경향을 보였다.

액적분사 실험의 경우, Fig. 11에서 보는 바와 같이 R-type의 경우 mode 4~ mode 6에서 액적이 분사되었고, C-type의 경우 mode 2~ mode 6에서 액적이 분사되었다. 두 종류의 미소유체분사기의 경우, 모두 낮은 단계에서 액적이 분사되지 못한 것은 Fig. 13에서 보듯이 입력 신호의 전력이 충분하지 못하거나, Fig. 14에서 나타난 바와 같이 생성 기포의 크기 혹은 히터 유효면적이 작았기 때문이다. 즉, 분사 액적의 크기는 입력 신호의 전력과 히터의 유효면적에 의해서 조절되며, 액적의 분사를 위해서는 이들 값이 어느 정도 이상이 되어야 함을 알 수 있다.

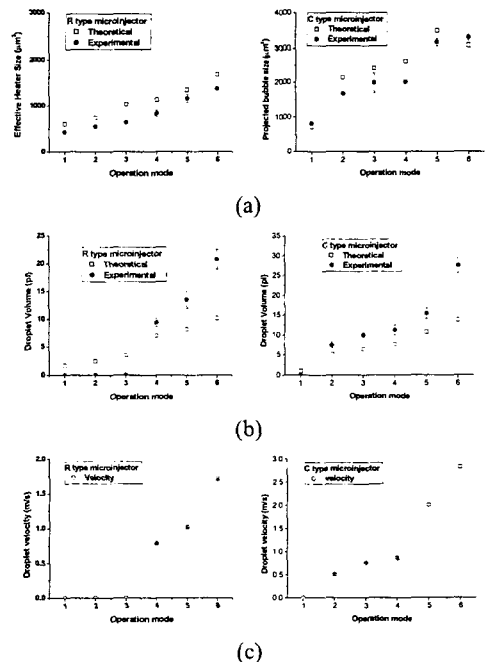


Fig. 12 Theoretical and experimental results of the injection performance of R-type (left) and C-type (right): (a) the projected area of the generated bubble; (b) Ejected droplet volume; (c) Ejected droplet velocity

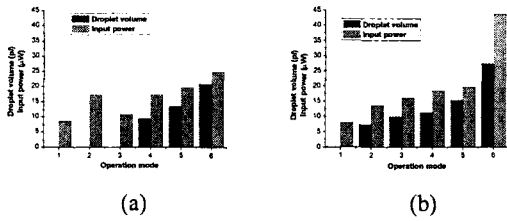


Fig. 13 Input power and ejected droplet volume at each operation mode: (a) R type ; (b) C type microinjector

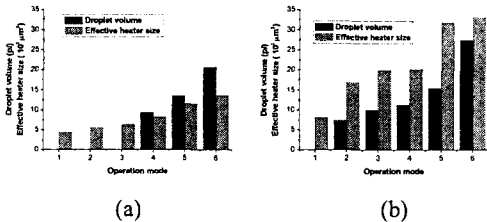


Fig. 14 Effective heater size and ejected droplet volume at each operation mode: (a) R type; (b) C type microinjector

또한 제작된 두 종류의 미소유체분사기는 각 동작 모드별로 Fig. 12(b)와 Fig. 12(c)와 같은 크기와 속도의 액적을 분사하였으며, R-type의 경우 9.4pL (mode 3)에서 20.7pL (mode 6)까지, C-type의 경우 7.4pL (mode 2)에서 27.4pL (mode 6)까지 분사 액적의 크기를 변화시킬 수 있음을 확인하였다.

### 5. 결론

본 논문에서는 단일 히터의 전류 경로를 디지털적으로 조절함으로써 히터의 유효면적을 바꾸어 분사되는 액적의 크기를 조절할 수 있는 새로운 형태의 미소유체분사기를 제안하고 그 성능을 실험적으로 검증하였다. 사각(R type) 및 원형(C type) 히터를 가지는 두 종류의 미소유체분사기를 설계, 제작하고 6가지의 서로 다른 디지털 입력 신호의 조합에 의해 형성되는 유효히터의 면적과 분사액적의 크기 및 속도를 이론적으로 예측하고 실험적 측정치와 비교하였다. 본 연구를 통해 R-type의 경우, 기포의 크기는  $440\mu\text{m}^2$ 에서  $1,360\mu\text{m}^2$ 까지 변화가 가능하고, 분사액적의 크기는 9.4pL~ 20.7pL까지 3단계로 변화가 가능함을 확인하였다. 또한 C-type의 경우, 기포의 크

기는  $800\mu\text{m}^2$ 에서  $3,300\mu\text{m}^2$ 까지 변화가 가능하고, 분사 액적의 크기는 7.4pL에서 27.4pL까지 5단계로 변화가 가능함을 확인하였다. 이로서 본 논문에서 제안한 미소유체분사기는 디지털 적으로 히터의 유효면적을 조절함으로써 분사 액적의 크기를 여러 단계로 정밀하게 조절할 수 있어 잉크젯 프린터에 적용할 경우 고해상도를 유지하며 인쇄 속도를 향상시킬 수 있음을 검증하였다.

### 후 기

본 연구는 과학기술부 창의적연구진흥사업의 일환인 “생체모사기법을 응용한 디지털나노구동 기관의 구현에 관한 연구” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- (1) Rembe, C., aus der Wiesche, S. and Hofer, E.P., 1999, "Dynamics in a Thermal Ink Jet: A Model for Identification and Simulation," *Proc. Modeling and Simulation of Microsystems Workshop*, Puerto Rico, U.S.A., pp. 550~553.
- (2) Lee, J.-D., Lee, C.-S., Chun, K.-C. and Han, C.-H., 1999, "Two-dimensional Nozzle Arrangement in a Monolithic Inkjet Printhead for High-resolution and High-speed Printing," *IEDM Technical Digest*, pp. 127~130.
- (3) Chen, P.-H., Chen, W.-C. and Chang, S.-H., 1997, "Bubble Growth and Ink Ejection Process of a Thermal Ink Jet Printhead," *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol.39, No.6, pp. 683~695.
- (4) Kang, T.G. and Cho, Y.-H., 2003, "Droplet Volume Adjustable Microinjector using the Microheater Array," *Proc. 16th IEEE Inter. Conf. Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2003)*, Kyoto, Japan, pp. 690~693.
- (5) Pond, S. F., 2000, *Inkjet Technology and Product Development Strategies*, Torrey Pines Research, pp. 371~375.