

자기변형 원리를 이용한 액적형성 연구 Study on Droplet Formation Using Magnetostrictive Principle

*#김병현¹, 박영우¹ 유재현¹

*#B. H. Kim(bk8208@nate.com)¹, Y. W. Park¹, J. H. Yoo¹

¹ 충남대학교 BK21메카트로닉스 사업단 메카트로닉스공학과

Key words :Inkjet printing, Drop-on-dem and, Inkjet head, Magnetostrictive principle

1. 서론

잉크젯 프린팅은 잉크액적을 특정 위치에 분사하는데 사용된다. 오늘날, 잉크젯 프린팅 기술은 디스플레이 제조공정부터 DNA프린팅과 같은 생화학 분야에 이르기까지 광범위한 분야에 적용되고 있다. 잉크젯 프린팅 기술은 크게 Continuous mode와 Drop-on-Demand(DoD) mode로 분류된다[1]. 최근에 Continuous mode는 DoD mode의 제어의 용이성으로 인해 DoD mode로 대체되어 가고 있는 추세이다. DoD mode는 열전사 방식, 정전기력 방식, 피에조 방식이 있다. 열전사 방식은 유체에 순간적으로 열을 가해 발생하는 기포를 이용하여 분사하는 방식이지만 열에 의한 유체변성이 발생할 수 있는 문제점이 있다[2]. 정전기력 방식은 유체와 기관에 높은 전압을 걸어줌으로 기관에 액적을 형성시키는 기술이다. 그러나 높은 전압을 이용함으로써 사용할 수 있는 유체가 한정되고 정전기력에 의해 유체변성이 발생할 수 있는 문제점이 있다[3]. 피에조 방식은 피에조의 압전효과를 이용하여 유체 챔버의 체적을 변화시켜 유체를 분사하는 방식이다. 유체에 가열이나 높은 전압을 걸어줄 필요가 없어 다양한 유체에 적용할 수 있는 장점이 있지만 피에조 재료에 직접적인 물리접촉으로 입력 전압을 인가해야하므로 유로와 노즐 전체 구조가 복잡해진다[4]. 자기변형재료는 피에조와 유사한 특성을 갖는 재료이지만 피에조에 비해 변형률, 빠른응답, 낮은 작동전압 등에서 뛰어난 장점을 갖고있다. 또한 source의 인가방식이 물리접촉이 아닌 자기장에 의한 방식이다. 본 논문에서는 기존의 DoD mode의 한계점을 극복하고자 자기변형 재료의 자기변형 원리를 이용하여 액적 형성에 대한 기초 이론을 제공하고자 한다.

2. 자기변형 구동기

자기변형은 재료(강자성체)에 가해지는 자화변화에 따라 물리적인 크기가 변화하는 현상이다. 즉, 자기변형재료는 자기장에 의해 그 형태가 변하는 재료를 말한다. 이러한 특성을 갖는 자기변형 재료를 사용하여 액추에이터로 만든 것이 자기변형 구동기이다. 자기변형 구동기는 자기변형재료, 솔레노이드 코일, 영구자석, 스프링, Push rod, 하우징으로 구성된다. 그림 1은 자기변형 구동기의 구조를 나타낸다.

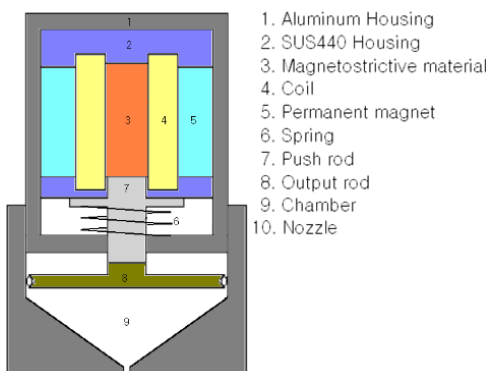


Fig. 1. A sectional view of inkjet head

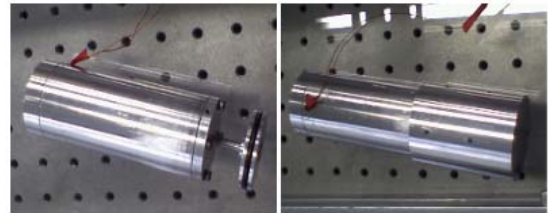


Fig. 2. Prototype of inkjet head

자기변형재료의 주위에는 솔레노이드 코일이 감겨 있고 코일에 전류가 인가되면 자기장이 형성되어 자속의 방향에 따라 재료의 형태를 팽창 시키거나 수축시킨다. 영구자석은 Bias magnetic field를 형성하는데 사용되어 인가되는 전류의 크기를 줄일 수 있고 양 방향으로 제어할 수 있는 효과가 있다[6]. 실험에 사용된 자기변형재료의 직경은 10 mm이고 길이는 50 mm이다. 스프링에 의한 예압은 27.56 MPa 이고 코일의 턴수는 880턴, 그 저항은 5.5 Ω 이다.

3. 잉크젯 헤드의 구조 및 제작

잉크젯 헤드는 자기변형 원리를 사용하여 만들었다. 그림 1은 잉크젯 헤드의 전체적인 구조를 나타낸 그림이다. 잉크젯 헤드는 크게 자기변형 구동기, 챔버, 100 μm 직경의 hole을 갖는 노즐로 구성된다. 코일에 인가되는 전류의 변화에 따라 자기장 또한 변화되고 이로써 output rod 의 모션을 제어한다. 코일에 양의 전류가 흐를 때 push rod 는 그림 1의 형태에서 아래쪽으로 확장됨으로써 챔버내부의 볼륨을 순간적으로 줄여 노즐의 구멍을 통해 잉크를 분사시킨다. 그림 2는 본 논문의 실험을 위해 만들어진 잉크젯 헤드의 prototype을 보여준다.

4. 실험장비 구성

실험장비는 그림 3 처럼 잉크젯 헤드의 prototype, power supply, 변위 측정을 하기위해 1 nm 의 정밀도를 갖는 ADE Microsense 4810 capacitance sensor, current amplifier, PC(Labwindows CVI)로 구성된다. 실험은 진동이나, 충격 같은 외란을 막기 위해 optical table에서 수행되었다.

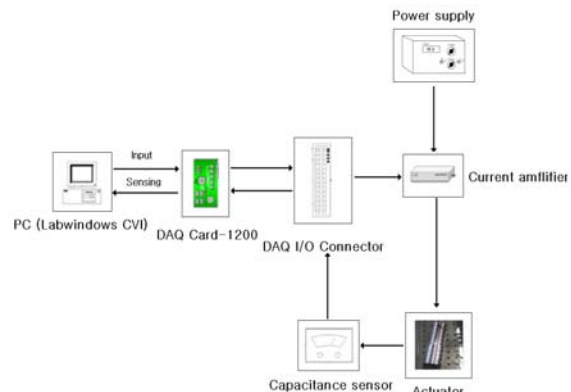


Fig. 3. Experimental setup

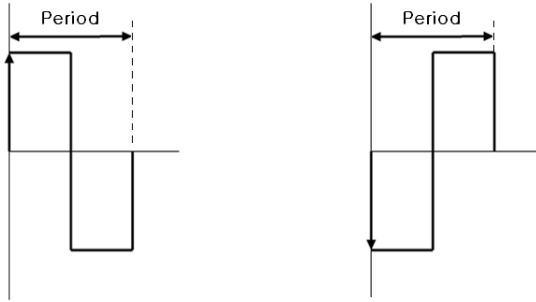


Fig. 4. Drive signal types

실험에서 사용된 잉크는 density:1060 kg/m³, viscosity:4.8 mPa·s, surface tension:7.3x10⁻³ J/m² 의 물성치를 갖는 파란색 잉크와 물을 2:1의 비율로 섞어 사용하였다. 드라이브 시그널은 그림 4와 같이 두 가지 형태로 디자인 되어 사용되었다. Type-A는 rising edge 로 시작하는 펄스형태 이고 type-B는 type-A와는 반대 파형인 falling edge 로 시작하는 펄스 형태의 시그널을 사용하였다. 구동기에 양의 전류가 인가되면 output rod는 확장하여 챔버의 볼륨을 줄임으로써 잉크를 분사하게 되고 음의 전류가 인가되면 output rod 는 수축함으로써 챔버의 볼륨을 확장시켜 inlet을 통해 챔버에 잉크를 채우게 된다. 드라이브 시그널의 듀티비는 50 % 이고 양의 전류와 음의 전류의 amplitude는 서로 같게 디자인 하였다. 두 가지 드라이브 시그널에 대한 실험결과는 그림 6와 그림 7을 통해 나타내었다.

5. 실험 결과

그림 5는 자기변형 구동기의 특성을 평가하기 위해 인가되는 전류에 따른 변위를 실험한 그래프이다. 전류가 2.35 A부터 3.45 A 까지 인가될 때 구동기의 변위는 39.4 μm부터 45.7 μm까지 선형적으로 비례하여 증가함을 확인할 수 있다. 그림 6은 두 가지 드라이브 시그널의 전류에 대한 토출된 액적의 직경을 나타낸 그래프이다. 코일의 허용전류를 넘지 않기 위해 최대 3.45 A 까지 실험 하였고 두 가지 드라이브 시그널에 대해서 전류가 증가함에 따라 액적의 크기가 증가함을 확인할 수 있다. Type-B는 type-A에 비해 같은 전류에

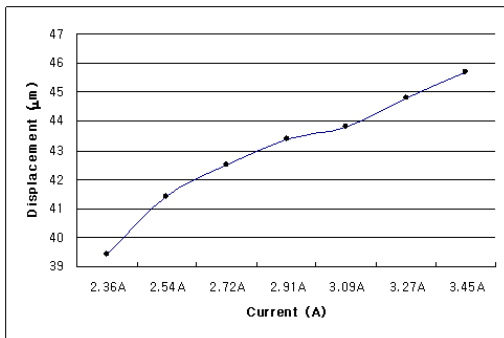


Fig. 5. The displacement of the magnetostrictive actuator versus the varying applied current

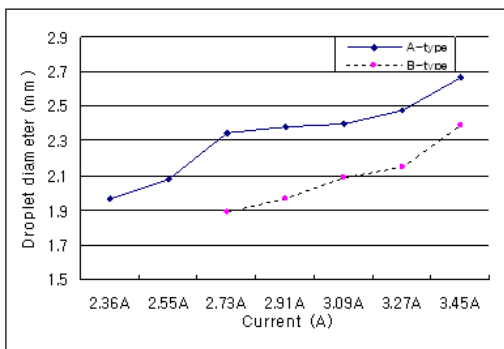


Fig. 6. Change of droplet diameter according to the change of current

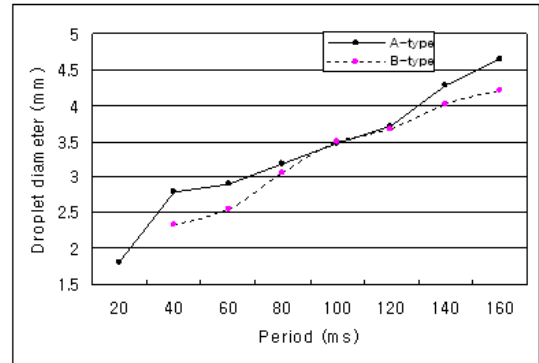


Fig. 7. Change of droplet diameter according to the change of period

대해서 더 작은 액적을 토출 시키는 것을 확인할 수 있지만 2.73 A이하의 전류에서는 토출에 실패하였다. type-A인 경우에는 토출된 액적의 직경은 1.97 mm부터 2.67 mm, type-B의 경우에는 1.89 mm부터 2.39 mm 의 액적이 형성되었다.

그림 7은 두 가지 드라이브 시그널의 전류는 3.45 A로 고정 되고 주기를 변화시켜 가며 실험한 그래프이다. 두 가지 시그널에서 주기가 증가함에 따라 토출되는 액적의 크기도 커짐을 확인할 수 있다. 이 경우에도 type-B는 type-A에 비해 약간 더 작은 액적이 토출되었다. type-A의 경우엔 20 ms 이하의 주기에서는 토출이 이루어지지 않았고 type-B의 경우엔 40 ms 이하에서 토출에 실패 하였다. 하지만 잉크젯의 안정성에 영향을 끼치는 satellite의 발생 빈도를 보았을 때 type-B가 type-A에 비해 30% 적은 경향을 나타내었다.

6. 결론

본 논문은 자기변형 원리를 이용하여 액적을 형성에 대한 가능성을 제시하였다. 실험을 수행하기 위해 간단한 prototype 이 개발되었고 실험을 통해 아래와 같은 결과를 도출하였다.

1. 토출된 액적의 직경은 잉크젯 헤드에 인가되는 전류가 증가함에 따라 커지게 된다.
2. 토출된 액적의 직경은 드라이브 시그널의 주기가 커짐에 따라 커지게 된다.
3. 액적을 형성 시킬 수 있는 최소 전류는 type-A에서 2.36 A, type-B에서 2.72 A 이다.
4. Satellite의 발생 빈도수는 type-B가 type-A에 비해 30% 적은 경향을 나타내었다.

후기

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-313-D00087(103965))

참고문헌

1. Youngjae Kim 외 5명, "The Effects of Driving Waveform of Piezoelectric Industrial Inkjet Head for Fine Patt," IEEE NEMS, Zhuhai, China, January 18 - 21, 2006
2. 손상욱 외 6명, "정전기력 방식의 Drop on Demand 토출을 위한 MEMS 잉크젯헤드 제작", 전기학회 논문지 56권 8 호, 2007년 8월.
3. Irena Barbulovic-Nad, Michael Lucente, Yu Sun, Mingjun Zhang, Aaron R. Wheeler, and Markus Bussmann, "Bio - Microarray Fabrication Techniques - A Review", Critical Reviews in Biotechnology, 26:237-259, 2006
4. (주)에이아이티, "잉크젯 프린터의 분사 방식에 따른 종류와 특징", <http://www.aitink.com/korea>