

Inkjet head 에서의 압전 작동기에 대한 성능 향상을 위한 최적설계

김시종*(인하대 대학원 기계공학과), 조종두(인하대 기계공학과)

Optimum Design for Piezoelectric Actuator of Inkjet head for Improving Performance

Syjong Kim* (Dept. Mech. Engineering, Graduate School, Inha Univ.),
Chongdu Cho (Dept. Mech. Engineering, Inha Univ.)

ABSTRACT

In this paper, we intend to develop optimized design algorithm by deciding design parameters which are considered in the first design stage of inkjet printer head. thus, the parameters are such as electric pulse, input voltage of actuator to operate actuator, shape dimension of actuator and so on. in the first design stage, according to such parameters, a lot of time and money to develop inkjet printer head are needed. to reduce trial and error and to save development time in the first design stage, optimized design algorithm is required all the more. design algorithm was developed via commercial FE analysis code(ANSYS & COVENTOR) for the readability and convenience of algorithm. the reasonability of algorithm was verified by implementing analysis of system stage based on the data of piezoelectric actuator which was designed through algorithm.

Key Words : design parameter, actuator, electric pulse, optimized design, piezoelectric

1. 서론

정보통신기술의 발전과 더불어 정보 출력기술이 발전함에 따라 인쇄기술이 비약적으로 발전하였다. 현재의 대표적인 인쇄기기로서는 전자사진(Electro-Photography)의 원리를 이용한 레이저 프린터와 또 다른 인쇄방식으로는 최근 부각되는 잉크젯 프린터가 있다. 잉크젯 프린터는 프린터시장의 65%를 차지하며 매년 전 세계적으로 수요가 400%이상 증가되고 있다. 이러한 상품적인 가치로 인해 잉크젯프린터의 기술은 매우 빠른 속도로 발전해 나아가고 있다. 현재 널리 사용되는 잉크젯 인쇄기술은 인쇄시 컴퓨터에서 보내는 전기적 신호에 따라 잉크를 토출시켜 매질에 인쇄 하는 drop-on-demand 방식이며 이는 잉크의 토출(drop)방법과 구동방식에 따라 크게 열전도(thermalelectric)방식과 압전(piezoelectric)방식으로 나뉜다. ⁽¹⁾ Fig. 1 은 프린터의 인쇄방식과 구동에 따른 프린터의 종류를 나타내었다.

잉크젯 프린터 헤드의 설계 및 개발을 위해서는 미소재료의 물성 및 거동특성, 미소영역에서의 물리적 현상의 이해와 전기-기계 복합시스템의 모델

링과 작동 시뮬레이션 기법 등이 필요하며 이를 위해서는 상당한 경험과 노력을 요하게 된다. 초기 설계단계에서부터 구조설계, 마스크 및 공정설계, 제작, 시험에 이르기까지 소요되는 인력과 경비를 절감하고 설계주기를 단축시키기 위한 노력은 많이 시도되고 있으며 최근 컴퓨터의 하드웨어의 발달로 인해 이러한 문제가 어느 정도 해소 되어가고 있다

Marlene McDonald⁽⁴⁾은 상용 해석프로그램으로서 잉크젯 프린트 헤드의 Pumping chamber 의 치수에 대한 최적설계를 하였다. Berchtold⁽²⁾은 잉크젯 프린터 헤드에서의 압전 작동기의 거동해석을 위한 프로그램을 개발하였다. P. H. Chend ⁽⁵⁾은 상용 유한요소 해석프로그램인 ANSYS 를 이용하여 압전 작동기의 거동을 해석하였다. 위와 같이 많은 연구자들에 의해 잉크젯 프린터 헤드의 작동부에 대한 거동해석이 이루어 졌지만 대부분이 실제 제작된 잉크젯 프린터 헤드에 대한 성능 예측수준의 해석만 이루어졌으며 아직도 설계단계에서 많은 부분을 실험에 의존 하게 된다.

본 논문에서는 잉크젯 프린터 헤드의 초기 설계 과정에서의 압전 작동기의 성능향상과 설계주기

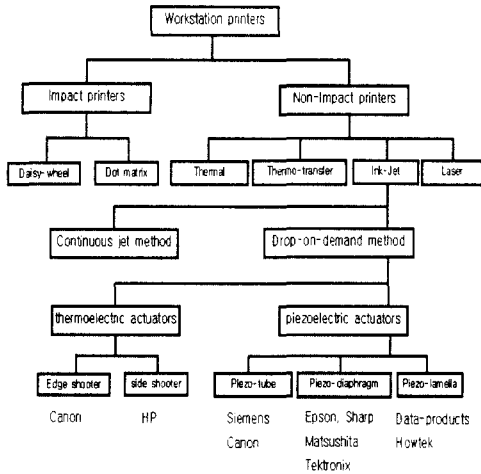


Fig. 1 Family tree showing the various printing techniques and technologies

를 줄이기 위한 최적 설계 알고리즘을 개발하였다. 해석결과에 대한 신뢰성과 편의성을 높이기 위해 상용 유한요소코드(ANSYS & COVENTOR)를 사용하였으며, 최적설계 알고리즘의 신뢰성을 확인하기 위해서 이 알고리즘을 통하여 설계된 압전 작동기의 성능 해석 결과값을 이용하여 잉크젯 프린터 헤드의 시스템단계의 해석을 수행하므로써 알고리즘의 신뢰성을 확인하였다

2. 압전작동기

압전재료는 일반적으로 크기가 작고 응답속도가 빠르며 방향성이 있다. 이때 전기장과 변형량의 관계를 압전상수(Piezoelectric constant)로 정의 할 수 있다. 본 논문에서 사용한 압전재료는 PZT-4 이며 물성치는 Table 1. 에 나타내었다.

압전재료의 전기적, 기계적 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$T = c^E S - e' E \quad (1)$$

$$D = eS + \epsilon^S E \quad (2)$$

여기서 T 는 응력텐서(stress tensor), D 전기적 변위(Dielectric displacement), S 는 변형률 텐서(Strain tensor), e 는 압전상수(Piezoelectric constant)행렬, E 는 전기장, ϵ^S 는 일정한 기계적 변형률하에서의 절연상수(Dielectric constant) 행렬이고, c^E 는 일정한 전

기장 상태에서 측정 한 강성행렬이다. 윗 첨자 T 는 전치 행렬을 뜻한다. 압전 구성방정식 (1)과 (2)에 최소 포텐셜 에너지원리를 이용한 시스템의 운동지배방정식을 구하면 다음과 같다.

$$[M_{uu}] \{\ddot{u}\} + [K_{uu}] \{u\} + [K_{u\Phi}] \{\Phi\} = F_B + F_S + F_P \quad (3)$$

$$[T_{u\Phi}^T] \{u\} + [K_{\Phi\Phi}] \{\Phi\} + [K_{u\Phi}] \{u\} = Q_S + Q_P \quad (4)$$

여기서,

$$[M_{uu}] = \iiint N_u^T N_u dV : \text{질량행렬}$$

$$[K_{uu}] = \iiint B_u^T c^E B_u dV : \text{강성행렬}$$

$$[K_{u\Phi}] = \iiint B_u^T e' B_\Phi dV : \text{압전 결합행렬}$$

$$[K_{\Phi\Phi}] = \iiint B_\Phi^T \epsilon^S B_\Phi dV : \text{절연강성행렬}$$

$F_B + F_S + F_P$: 체적력(body force), 표면력(surface force), 점하중(Point force)

$Q_S + Q_P$: 전기적 표면력(Electrical surface charge)

Table 1. Material properties of PZT-4 piezoelectric ceramics.

Elastic stiffness (N/m ²)	$C_{11}=13.9 \times 10^{10}$
	$C_{12}=7.78 \times 10^{10}$
	$C_{13}=7.43 \times 10^{10}$
	$C_{33}=11.3 \times 10^{10}$
	$C_{44}=2.56 \times 10^{10}$
Piezo constants (C/m ²)	$e_{31}=-6.98$
	$e_{33}=13.84$
	$e_{15}=13.44$
Permittivity (C/Vm)	$\epsilon_{11}=6.0 \times 10^{-9}$
	$\epsilon_{33}=5.47 \times 10^{-9}$

3. 적용모델

최적설계를 위한 준비 단계로서 압전 잉크젯 프린터 헤드의 해석은 크게 시스템 단계의 해석과 디바이스 단계의 해석으로 나뉜다. 최적설계를 수행하기 위한 기준 모델은 Stemme 형⁽¹⁾이며 잉크젯 프린터 헤드의 구동 원리는 압전재료의 구동으로 잉크를 토출 시키기 위해서 작동전압을 입력된 전기적 펄스에 따라 가하면 펄스의 조건에 따른 구동을

하여 잉크를 토출 시킨다. 압전 구동기의 최적설계를 위해 개발된 알고리즘을 통해 설계된 압전구동기의 성능의 신뢰성을 검증하기 위한 적용모델의 형상 및 치수를 Fig. 2에 나타내었다.

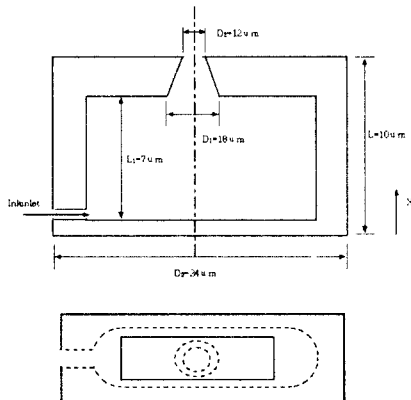


Fig. 2 A simplified representation of the piezo-diaphragm printhead

4. 압전 구동기에 대한 최적 설계 알고리즘

압전 구동기의 성능에 영향을 미치는 요인을 설계변수로 하여 시스템 단계에서 잉크가 토출 되는 조건을 목적함수로 설정하여 최적설계를 수행하였다. Fig. 3은 최적 설계 알고리즘을 나타내었다.

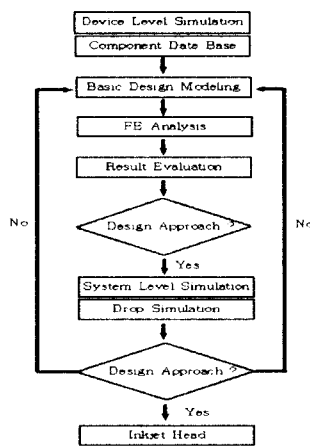


Fig. 3 Piezoelectric transducer optimization algorithm

5. 해석결과

5.1 디바이스 단계의 압전 구동기 해석

가로 100 μm, 세로 100 μm, 두께 5 μm의 압전 구동기의 성능에 영향을 미치는 요인을 압전 구동

기의 작동 전압과 입력펄스 시간간격을 설계변수로 설정하여 디바이스 단계의 해석 결과를 분석하였다. Fig. 4는 구동을 위한 입력 펄스를 나타낸다. Fig. 5는 작동전압에 따른 압전 구동기의 Z 축의 변위를 나타낸다. Fig. 6는 작동전압을 40V 하고 작동시간 T2의 변화에 따른 압전 구동기의 Z 축의 변위를 나타낸다.

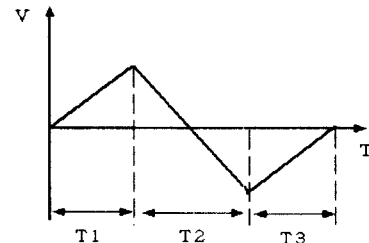


Fig. 4 Typical triangular electrical pulse

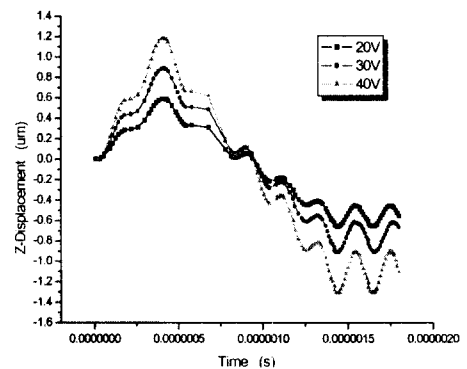


Fig. 5 Transient variation of the input voltage

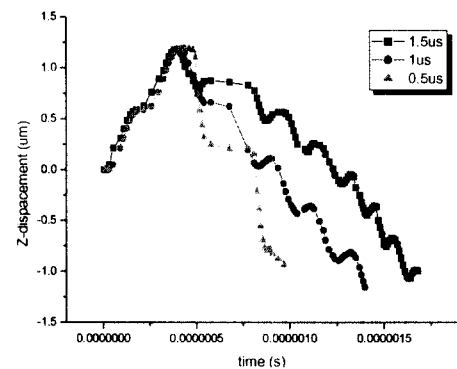


Fig. 6 Transient variation of the time step (T2)

5.2 시스템 단계의 토출 해석

최적 설계 알고리즘으로 설계된 압전 구동기의 신뢰성 검증을 위해 시스템 단계의 해석을 수행하였다. Fig. 7은 과도해석에 따른 잉크의 토출을 나타낸다.

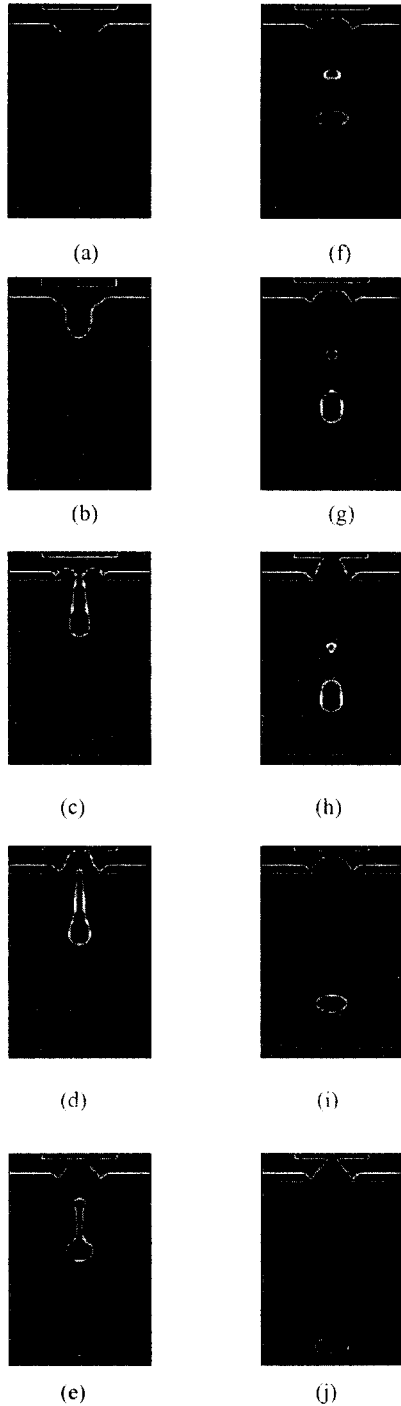


Fig. 7 Time elapsed ejected images at $T_1=0.4\mu s$, $T_2=1\mu s$, $T_3=0.4\mu s$, and $V=40V$: (a) $t=0\mu s$; (b) $t=0.5\mu s$; (c) $t=1.3\mu s$; (d) $t=1.34\mu s$; (e) $t=1.41\mu s$; (f) $t=1.43\mu s$; (g) $t=1.61\mu s$; (h) $t=1.68\mu s$; (i) $t=1.73\mu s$; (j) $t=1.8\mu s$

4. 결론

잉크젯 프린터 헤드의 압전 구동기의 성능을 향상시키기 설계변수를 설정하여 설계변수가 잉크가 토출될 때의 영향을 고려하여 최적 설계하였다.

1. 압전 작동기의 구동전압이 높을수록 구동력이 커졌지만 40V 이상이나 이하일 경우 잉크가 토출이 되지 않거나 구동력이 토출 압력이상 커져서 잉크의 토출 상태가 좋지 못했다.
2. 구동을 위한 입력 펄스의 영향에 따라 잉크의 토출에 영향을 주며 최적설계를 수행 했을 때 $T_2=1\mu s$ 일 때가 가장 토출된 잉크의 형상과 상태가 양호했다.

참고문헌

1. Wolfgang R. Wehl, Siemens AG, "Ink-Jet-Printing: The Present State of The Art," IEEE, CH2704-5/89/0000/2046, 1989.
2. Berchtold A., "Simulation of a drop-on-demand print head with planar piezo-electric transducer," Compeuro '89-3rd Annual European Computer conf, Hamburg, West Ger, 8-12 May 1989;2/53-5.
3. Francis C. Lee, "PZT Printing Applications, Technologies, New Devices," IEEE, 1988 Ultrasonics Symposium, 1988.
4. Marlene McDonald, "Scaling of Piezoelectric Drop-on-Demand Jets for High Resolution Applications," International Conference on Digital Printing Technologies, pp. 53-56.
5. Ping-Hei Chen, Hsin-Yah peng, "Pressure response and droplet ejection of a piezoelectric inkjet printhead," International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 41, pp. 235-248, 1999.
6. Reinhard Lerch, "Simulation of Piezoelectric Devices by Two-and Three-Dimensional Finite Elements," IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency control, Vol. 37, No. 2, May 1990.
7. S.Kamisuki, T.Hagta, C.Tezuka, M.Fujii and M.Atohe, "A Low Power, small, Electrostatically-Driven Commercial Inkjet Head," MEMS'98, pp.63-68
8. S.Kamisuki, M.Fujii, T.Takekoshi, C.Tezuka, and M.Atohe, "A High Resolution, Electrostatically-Driven Commercial Inkjet Head," MEMS'2000, pp.793-798.