

# 압전 임펄스 구동에 의한 변위 확대 기구 설계

## A Basic Design of the Displacement Amplification Device Driven by Piezoelectric Impulse Wave

\*함영복, \*장수관, 정황훈, 오성진, 박중호, 윤소남

#Y. B. Ham(hyb665@kimm.re.kr), \*S. K. Jang, H. H. Jeong, S. J. Oh, J. H. Park, S. N. Yun  
한국기계연구원 에너지기계연구실

Key words : Impulse wave, Displacement Amplification, Piezoelectric Actuator

### 1. 서론

정량 토출 디스펜싱 기술은 반도체와 전자-통신 분야에서 자동차, 의료분야에 이르기까지 폭넓게 적용되고 있다. 이들 산업의 경우 하드웨어 기술의 발달로 인하여 부품의 소형화 추세가 가속화되고 있어 정밀한 액체 토출 기술이 필요되고 있다. 특히, Ag 에폭시나 백색 LED 형광체(phosphor) 도포와 같은 공정에서 액상 고점도 미세 정량, 고속 토출 기술이 요구되고 있다.<sup>(1)</sup>

젯팅 디스펜서(jetting dispenser)는 이러한 요구조건 만족하는 디스펜서 형태이다. 젯팅 디스펜서는 비접촉식 디스펜서로 기존에 공압을 이용한 접촉식 디스펜서에 비해 초고속 도포 및 나노리터급 액적을 토출할 수 있다. 구동원리는 공압용 솔레노이드나 압전 액추에이터에 의해 발생한 힘이 플런저(plunger)의 기계적 운동을 액체에 전달하여 액적을 분출하는 방식이다.

공압 솔레노이드 밸브를 이용하는 경우, 공기의 압축성 및 밸브 동특성으로 인하여 고주파수 영역에서의 동작 한계를 가지며, 압전 액추에이터의 경우 응답특성은 우수하나 변위가 작아 변위 확대 기구를 필요로 하여 제품의 구조가 복잡해지고, 크기가 증가하는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 응답특성이 우수한 압전 액추에이터를 이용하여 변위 확대 기구를 사용하지 않고 직접 대 변위 구동이 가능한 임펄스 해머(impulse hammer) 방식을 제안한다. 이를 위해 임의로 설계된 디스펜서와 디스펜서 헤드의 기본 설계를 바탕으로 시뮬레이션을 진행하고 세부설계에 필요한 각 파라미터를 선정하는 것을 목적으로 한다.

### 2. Dispenser Nozzle의 설계

#### 2.1 젯 디스펜서 구상 및 Impulse 구동

Fig. 1은 본 연구에서 제안하는 디스펜서이다. 금속 및 세라믹으로 구성된 플런저는 스프링과 직결되어 압전 액추에이터 상부면에 밀착된 상태이다. Fig. 2와 같이 압전 액추에이터의 임펄스 입력으로 플런저가 상승하며, 압전 액추에이터의 출력 변위 이상으로 변위확대가 이루어진다. 이러한 구동 메커니즘은 압전 액추에이터의 빠른 응답성과 제한된 변위를 관성력을 통해 변위를 확대하고 힘을 전달하기 위한 방법이다.

본 연구에서 요구하는 젯 디스펜서의 설계사양은 Table. 1과 같다.

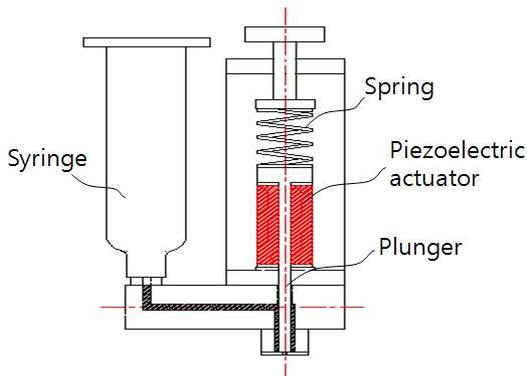


Fig. 1 The blueprint of the designed jet dispenser

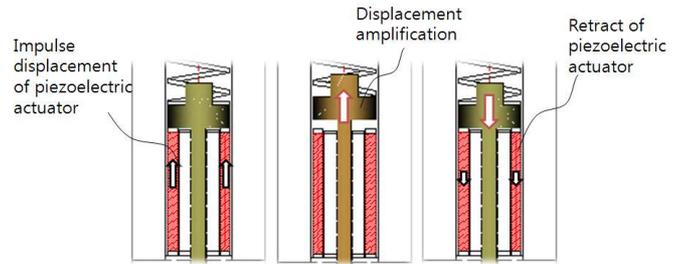


Fig. 2 The diagram of impulse hammer mechanism

Table 1 The desired specification

Item	Value	Item	Value
Max. stroke	0.5 mm	Max. viscosity	200,000 cps
Pressure(chamber)	100 bar	Volume (liquid drop)	1~10nl
Max. active freq.	200 Hz		

#### 2.2 압전 액추에이터 선정

압전 액추에이터로부터 디스펜서 챔버로 전달되는 힘은 플런저의 운동을 통해 액체로 전달된다. 이 때, 액체에 전달되는 힘이 플런저 헤드에 균일하게 분포된다고 가정한다면, 압전 액추에이터가 공급해야할 최소한의 힘은 식(1)에 의해 결정된다.

$$F_{act} = \frac{A_{pl} P_c}{\eta_{pl}} \quad (1)$$

여기서,  $A_{pl}$ 는 플런저의 단면적,  $P_c$ 는 노즐 챔버 압력,  $\eta_{pl}$ 는 압전 액추에이터에서 플런저까지 힘이 전달될 때의 효율이며, 본 연구에서는  $\eta_{pl}$ 을 0.9로 선정하였다.

설계사양과 플런저 형상으로 압전 액추에이터로부터 플런저에 공급해야할 최소한의 힘은 76.969N이며, 이러한 사양을 만족하는 압전 액추에이터를 HPSt 150/14-10/25(Piezomechanik社)로 선정하였다.

Table 2는 선정된 압전 액추에이터의 사양을 나타낸 것이다.

Table 2 The specification of the HPSt 150/14-10/25

Item	Value	Item	Value
Max. stroke	25 $\mu$ m	Stiffness	120 N/ $\mu$ m
Length	27 mm	Resonance Freq.	22 kHz
el. capacitance	5.2 $\mu$ F	Max. force	4500N

#### 2.3 플런저 질량 및 스프링 상수 계산

Fig. 1에서 플런저를 구성하는 재질은 W, Ti,  $ZrO_2$ 이다. 플런저의 질량  $m$ 은 각 재질을 구성하는 요소의 체적을 도면으로부터 구하여, 각 재질에 대한 밀도로부터 질량을 산출하였다.

다음으로, 스프링 상수  $k$ 를 구하기 위해서 플런저의 운동을 비감쇠 진동으로 가정한다. 감쇠가 없다는 가정 하에 스프링 상수  $k$ 는 식(1)와 같이 전달되는 플런저의 힘을 통해 식(2)과 같이 계산할 수 있다.

$$k = \frac{F_{pl} - mg}{x_{st}} \quad (2)$$

여기서,  $g$ 는 중력가속도이며,  $x_{st}$ 는 설계된 플런저의 최대 변위이다.

2.3 임펄스 신호의 정의 및 비례게인 계산

적층형 압전 액추에이터의 최대 변위  $x_{max}$  와 최대 힘  $F_{max}$  의 관계는 식(3)와 같으며, 플런저 구동을 위해 설계한 힘에 따라 압전 액추에이터의 변위를 결정할 수 있다.(2)

$$x_{act} = -\frac{x_{max}}{F_{max}} F_{act} + x_{max} \quad (3)$$

여기서,  $x_{act}$  는 압전 액추에이터의 힘이  $F_{act}$  일 때, 액추에이터의 최대 변형 변위이다.

또한, 압전 액추에이터의 응답속도는 액추에이터의 상승시간  $t_{min}$  과 같으며, 식(4)와 같이 구할 수 있다.(3)

$$t_{min} = \frac{1}{3f_r} \quad (4)$$

여기서,  $f_r$  은 압전 액추에이터의 공진주파수이다.

이상에서 조건으로부터 이 압전 액추에이터가 플런저에 가할 수 있는 임펄스 신호는 식(5)과 같이 정의된다.

$$u_{impulse} = \begin{cases} 24.5724 \times 10^{-6} \text{ m}, & 15.2 \mu\text{s} > t \geq 0 \text{ s} \\ 0 \text{ m}, & t \geq 15.2 \mu\text{s} \end{cases} \quad (5)$$

구해진 임펄스 신호에 대해 플런저의 최대 변위가 설계사양에 만족할 수 있도록 비례게인  $K$  를 식(6)과 같이 구한다.

$$K = \frac{x_{st}}{\max(y_{undamped})} \quad (6)$$

2.4 감쇠계수 선정

이전의 과정으로부터 구한 젯 디스펜서에 대한 압전 액추에이터의 제어입력에서부터 플런저 변위까지의 전달함수는 식(7)과 같다.

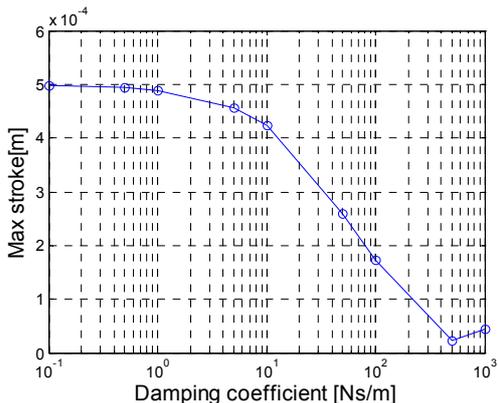
$$G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K}{ms^2 + bs + k} \quad (7)$$

식(7)과 같이 주어진 젯 디스펜서의 응답특성은 설계사양으로부터 최대 200Hz가 되어야하기 때문에, 임펄스 응답은 반드시 5ms내에서 진동되고 수렴되어야만 한다.

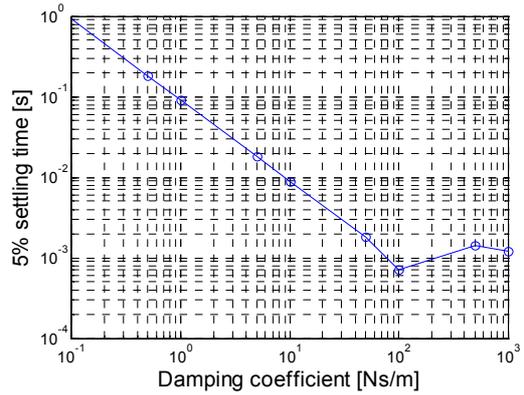
Fig. 3은 감쇠계수를 정하기 위하여  $10^{-1} \sim 10^3$  범위에 대해 임펄스 응답을 구해, 응답의 크기가 최대 변위의 5% 이하 값으로 복귀하는데 걸리는 시간과 각 감쇠계수에 대한 최대 변위를 정리한 그림이다.

Fig. 3의 응답 실험 결과로부터 감쇠계수는 50Ns/m부근에서 선정되어야 하며, 이 때, 선택된 젯 디스펜서의 전달함수는 식(8)와 같다. Fig. 4는 식(8)와 같은 시스템에 대한 임펄스 응답을 나타낸 것이다.

$$G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{9.3601 \times 10^6}{0.01519s^2 + 50s + 1.3825 \times 10^5} \quad (8)$$



(a) The maximum displacement in the impulse response



(b) The 5% settling times when changes the damping coefficient  
Fig. 3 The impulse response for the designed system

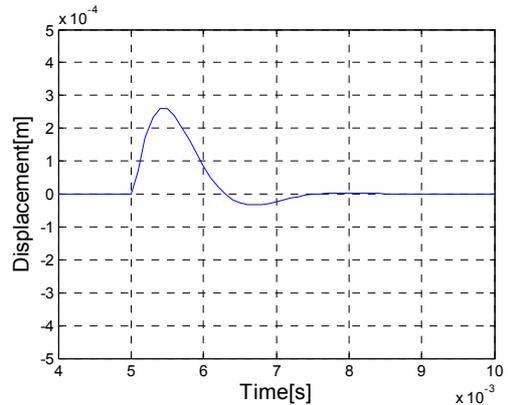


Fig. 4 The impulse response for the designed system

이상의 시뮬레이션으로부터 본 연구에서 선정된 각 파라미터의 값은 Table 3과 같으며, 이는 실제 디스펜서를 제작하는데 있어 기준이 되는 값이다.

parameter	value
Mass of plunger( $m$ )	0.01519 kg
Coefficient of damper( $b$ )	50 Ns/m
Constant of spring( $k$ )	$1.3825 \times 10^5$ N/m
Proportional gain ( $K$ )	$9.3601 \times 10^6$

3. 결론

본 연구에서는 젯팅 디스펜서의 구동을 위해 압전 액추에이터의 임펄스 신호를 이용한 임펄스 해머를 제안하였으며, 디스펜서 헤드 기본설계를 기준으로 시뮬레이션을 진행하여 세부설계에 필요한 각 파라미터의 값들을 임펄스 응답을 통해 구할 수 있었다. 향후, 시뮬레이션과 유사 구동을 가지는 디스펜서 헤드를 제작하여, 각 파라미터의 영향 및 다양한 기능성 유체에 대해 디스펜싱 실험을 수행할 예정이다.

후기

본 논문은 한국기계연구원 “그린에너지기 양산화기술지원 센터 구축사업”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 함영복, 서우석, 공태우, 최형일, 차재곤, 박중호, 윤소남, "적층형 압전 액추에이터를 이용한 나노리터급 액적 젯팅용 마이크로 디스펜서," 한국정밀공학회, 8, 639-640, 2008.
2. "Piezo-Mechanics: An Introduction," Piezomechanik, 2003.
3. "Piezo Ceramic Actuators and Custom Subassemblies," Physik Instrumente(PI), 2006.