

지능형 공진작동기의 기계적상사와 최적작동조건

Equivalent mechanical model of smart actuators and optimal operating conditions

김 준 식*

Kim, Jun-Sik

요 약

본 논문에서는 지능형 작동기의 효율적 설계와 특성예측을 위하여 기계적 상사 모델을 개발하고, 작동기의 최적작동 조건을 고찰한다. 먼저 지능형 작동기의 기계적 상사는 단순한 2자유도 스프링-메스-댐퍼 시스템으로 등가 시스템을 구현하였다. 이 때 스프링 강성계수는 시스템의 강성 또는 전기-기계 연성계수 등으로 상사되며, 전기회로 구성품 등은 질량, 댐퍼 등으로 상사되어진다. 단순화된 기계적 상사모델을 이용하여 작동조건에서의 전기회로 구성품의 튜닝을 최적화 할 수 있다. 특히 작동기의 공진주파수에서의 특성을 고려하여 최적조건을 도출함으로써 그 성능을 극대화 할 수 있다.

keywords : Smart Resonant Actuator, Piezoelectric Networks, Equivalent Mechanical System

1. 서 론

압전재료는 전기-기계 연성의 특징으로 인하여 여러 응용분야에 쓰이고 있다. 특히 센서 또는 작동기로서의 응용은 지난 수십 년간 많은 연구가 활발히 진행되어져 왔다. 이러한 압전재료의 장점으로는 넓은 주파수 대역, 높은 정밀도, 구조물에 부착의 용이성 등이 있다 (Hagood and von Flotow, 1991; Lesieutre, 1998). 이러한 특성으로 인하여 압전소자는 작동기로 많이 사용되어져 왔고, 현재는 여러 가지 형태가 개발되어지고 있다. 압전 작동기는 그 출력인 변위가 작다는 단점이 있어서, 연구는 주로 변위를 증폭시키는 메카니즘의 설계에 집중되어져 왔다 (Chopra, 2000).

한편 기구학적 메카니즘이 아닌 공진주파수에서의 작동으로 출력 변위를 증폭시키는 방법이 개발되었다 (Kim 등, 2005). 이 방법에서는 시스템의 공진주파수를 작동주파수로 튜닝 함으로서 작동기의 출력 변위를 증대시켰다. 그러나 공진주파수에서의 작동은 좁은 주파수대역 및 제어가 힘들다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점은 전기회로를 도입함으로써 해결하였는데, 이때 전기회로는 작동주파수의 주파수 대역을 넓히는 역할을 한다. 본 연구에서는 언급한 방법에 대한 효율적 설계방법을 도출하기 위한 기계적 상사 모델을 도입하고자 한다. 또한 기계적 상사모델을 이용하여 작동기의 최적 작동조건을 도출하고자 한다.

2. 기계적 상사모델

전기회로를 가지는 압전 작동기에 대한 회로 구성도는 그림 1에서 보여지는 것처럼 구성할 수 있

* 정회원 • 금오공과대학교 지능기계공학과 조교수 junsik.kim@kumoh.ac.kr

다. 압전소자는 전압소스와 커패시터로 표현할 수 있으며, 전기회로는 저항, 인덕터, 그리고 부가적인 커패시터로 구성되어진다. 이에 상응하는 기계 모델은 그림 2에 나타내었다. 시스템의 질량은 M_M 으로, 강성은 K_M , 댐핑은 C_M , 그리고 외력은 $f(t)$ 로 표현하였다. 한편 전기회로에서의 인덕터는 질량 m_m 으로, 전기-기계 연성은 스프링 k_m 으로, 저항은 댐퍼 c_m 으로, 그리고 부가적인 커패시터는 스프링 k_n 으로 표현되어질 수 있다. 기계적 상사 모델에 대한 모델은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{bmatrix} M_M & 0 \\ 0 & m_m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_M & 0 \\ 0 & c_m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_M + k_m & -k_m \\ -k_m & k_m + k_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ f \end{Bmatrix} \quad (1)$$

여기서 k_n 은 전기거동에 관한 두 번째 식에만 영향으로 주는 요소임에 주의하여야 한다.

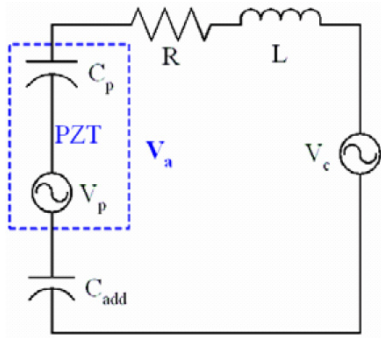


그림 1 압전 전기회로 모델

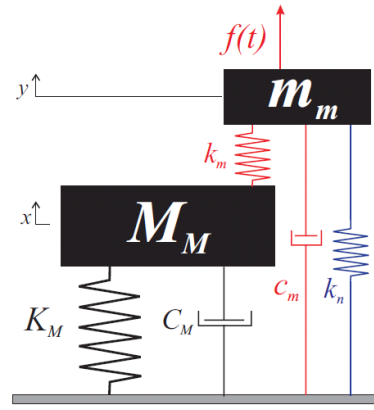


그림 2 기계적 상사 모델

기계적 상사모델(그림 2)의 물리적 의미는 압전 전기회로 모델과 같다. 그림 2에서 변위 y 가 고정되면 open-circuit 조건이 되고, 변위 x 는 부가적인 스프링(즉, 커패시터)에 독립적이 된다. 만약 변위 y 가 자유롭게 움직일 수 있다면 short-circuit조건이 되고, 변위 x 는 이 스프링에 영향을 받게 된다. 또한 시스템의 안정성의 관점에서 보면 이 부가적인 스프링의 크기는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$k_n > -\frac{K_M k_m}{K_M + k_m} \quad (2)$$

식(2)는 전체시스템의 강성이 0보다 커야 됨을 의미한다.

3. 최적 작동조건

최적 작동조건은 식 (1)의 주파수 응답 함수로부터 계산할 수 있다 (Tang and Wang, 2001). 먼저 질량 m_m 을 계산해야 한다. 이때 공진주파수에서의 작동, C_M 의 무시, 부가적인 커패시터의 영향 없음을 가정하면, 외력에 대한 변위 x 의 주파수 응답이 불변점에서 주파수응답이 최고값을 가지는 조건을 찾을 수 있다. 즉

$$\left. \frac{\partial}{\partial \Omega^2} \left(\frac{x}{f} \right) \right|_{C_M=0, C_m=0} \Big|_{\Omega^2 = \text{불변점}} = 0 \quad (3)$$

여기서 불변점은 open-circuit 주파수이다. 식 (3)으로부터 질량 mm의 크기를 계산할 수 있다. 또한 최적 cm의 크기는 불변점에서의 주파수 응답이 short-circuit 주파수에서의 주파수 응답과 같다는 조건으로부터 도출할 수 있는데, 이식은 다음과 같이 주어진다.

$$\left(\frac{x}{f} \right) \Big|_{C_M=0, \Omega = \omega_D} = \left(\frac{x}{f} \right) \Big|_{C_M=0, \Omega = \omega_E} \quad (4)$$

여기서 ω_D 와 ω_E 는 각각 open-circuit 과 short-circuit 주파수를 나타낸다. 수치결과와 자세한 유도과정은 지면관계상 생략한다.

참고문헌

- Hagood, N. and von Flotow, A.** (1991) Damping of structural vibrations with piezoelectric materials and passive electrical networks, *Journal of Sound and Vibration*, 146(2), pp.243~268.
- Lesieutre, G.A.** (1998) Vibration damping and control using shunted piezoelectric material, *Shock and Vibration Digest*, 30, pp.187~195.
- Tang, J. and Wang, K.W.** (2001) Active-passive hybrid piezoelectric networks for vibration control: comparisons and improvement, *Smart Materials and Structures*, 10(4), pp.794~806.
- Chopra, I.** (2000) Status of application of smart structures technology to rotorcraft systems, *Journal of the American Helicopter Society*, 45(4), pp.228~252.
- Kim, J.-S., Wang, K.W., and Smith, E. C.** (2005) High authority piezoelectric actuation system synthesis through mechanical resonance and electrical tailoring, *Journal of Intelligent Materials and Systems*, 16(1), pp.21~31.