

지능 구조물 적용을 위한 ERF-외팔보의 진동 응답 특성

장성철, 김유식*

경남대학교 기계자동화공학부, *진주국제대학교 소방방재학부

Vibration Response Characteristics of the ERF-Cantilevered Beam for Application in Smart Structure

Sung-Cheol Jang, Yu-Sik Kim*

Kyungnam University, Dept. of Mechanical Engineering

Jinju International University, School of Fire and Disaster Prevention Eng.

1. 서론

ER유체는 1940년대 말 W. M. Winslow가 전기적 임펄스를 기계적 힘으로 변환하는 방법과 수단으로 미국 특허를 획득한 이후 다방면에 응용되고 있다⁽¹⁾. ER유체는 외부에서 전기장을 인가하면 액체의 유변학적 특성이 변하는 현상을 나타내는 기능성 유체이며, 이러한 현상을 전기점성효과 또는 ER효과라 한다. 또한 ER유체는 액상에서 고상으로 변화하는 가역성을 가지며 전기장의 강도에 따라 항복전단응력을 연속적으로 변화시킬 수 있다. 이러한 ER유체의 특성을 응용한 장치는 설계의 단순화, 빠른 응답특성, 무소음, 무진동, 작은 전력 소모량 등의 장점을 가지고 있어 지능성 구조물, 댐퍼, 클러치, 브레이크, 밸브 등^(2,3)에 이용될 것으로 기대된다.

지능 구조물은 감지기 및 작동기를 구조물의 표면에 부착하거나 구조물의 한 부분으로 삽입하고 제어시스템과 연결한 구조물을 말한다. 이러한 구조물은 외란에 대해서도 적절하게 대처할 수 있으며 보다 견실한 제어를 수행할 수 있다. 이러한 지능 구조물의 제작을 위해서는 감지기 및 작동기의 개발이 필수적이다.

소방안전 분야와 첨단기계설계 분야에서 고속화, 정밀화, 경량화 추세에 따라 구조물에 작용하는 진동특성 및 제어에 관한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 최근에는 지능구조물에 대한 관심이 매우 증가하고 있는데, ER유체를 이용한 지능 구조물의 진동 응답 특성은 ER유체의 응용기거나 시스템의 성능 향상을 위해서 매우 중요함에도 불구하고 이와 관련된 연구는 현재까지 많지 않은 실정이다^(4,5).

본 연구에서는 지능 구조물 적용을 위해 ER유체를 삽입한 외팔보(이하 ERF-Beam이라 함)를 자체 제작하고, 전극간극의 변화와 전기장의 강도 변화에 따른 진동 응답 특성을 실험적으로 고찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 전극간극의 변화와 전기장의 강도 변화에 따른 진동특성 파악을 위해

3종류의 ERF-외팔보를 설계 제작하였다. 제작한 구조물의 외형은 Fig. 1과 같으며 사양은 Table 1과 같다.

Fig. 2는 동특성 고찰을 위해 실험장치를 도식적으로 나타낸 것이다. 시편의 전극이 있는 부분을 고정단으로 하여 셰이커 위에 고정하였으며, 셰이커에 신호 입력을 위하여 신호발생기에서 생성된 신호를 증폭기를 통하여 증폭하여 입력하였다. 주파수 응답특성을 알아보기 위하여 입력신호를 Sine-sweep 신호를 발생하여 인가하였다.

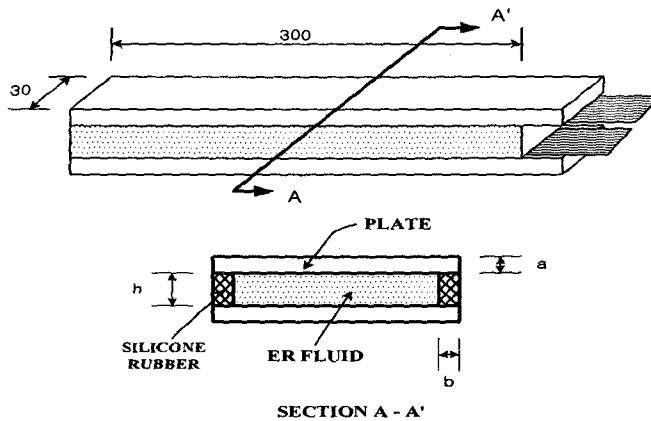


Fig. 1. Schematic Diagram of the ERF-Beam

Table 1 Specifications of ERF-Beam(mm)

TYPE	LENGTH	WIDTH	GAP(h)	a	b
A	300	30	1	1	2
B	300	30	1.5	1	2
C	300	30	2	1	2

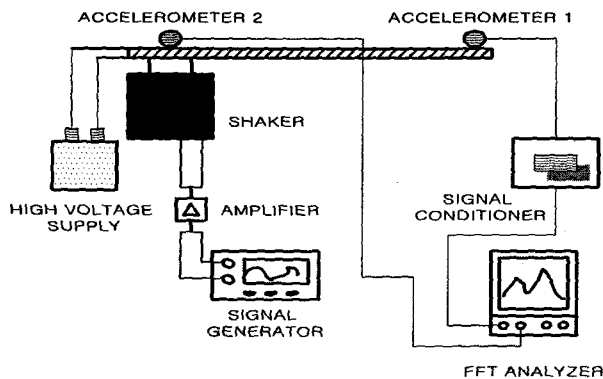


Fig. 2 Experimental set-up

또한 동특성 변화로 인한 공진점 회피에 의해 발생하는 시간응답신호를 측정하기 위하여 보의 끝단에 가속도계 1을 설치하였으며, 셰이커 위에 입력신호에 대한 신호 측정

을 위해 가속도계 2를 설치하였다. ER유체의 전기장 강도에 대한 진폭 특성을 고찰하기 위하여 자유진동과 강제진동에 대한 응답특성을 시간영역에서 추출하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서 제조한 무게분율 40wt%(실리콘 오일+전분)인 ER유체를 삽입한 시편에 전기장을 인가하여 시편의 끝단의 출력 신호와 입력 신호(sine-sweep:0~20Hz)에 대한 주파수응답을 Fig. 3에 나타내었다. 전기장 강도의 변화에 의해 동특성이 변화함을 알 수 있었다. 1차 고유진동수가 전기장을 인가하지 않았을 때는 10.7 Hz이었으나 E=1.0 kV/mm 일 때는 10.80 Hz, E=2.0 kV/mm 일 때는 11.20 Hz, E=3.0 kV/mm 일 때는 11.65 Hz, E=4.0 kV/mm 일 때는 12.30 Hz이 됨을 알 수 있었다. 또한 자유진동에 관한 진동응답을 전극 간극의 변화에 따라 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6과 같이 나타내었다. 이때의 전기장 강도 E = 4.0 kV/mm로 고정하였다

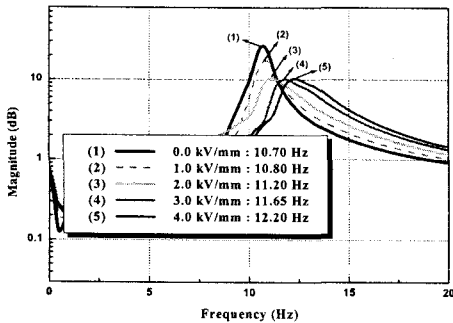


Fig. 3 Frequency responses of the ERF-Beam

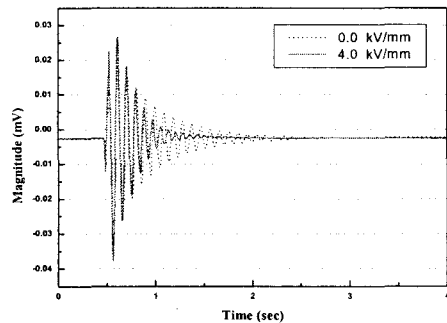


Fig. 4 Transient Response signal of the beam(h=1mm, E=4.0kV/mm)

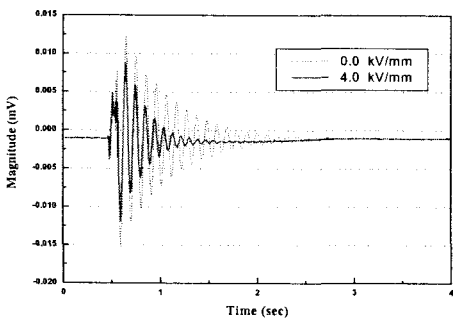


Fig. 5 Transient Response signal of the beam(h=1.5mm, E=4.0kV/mm)

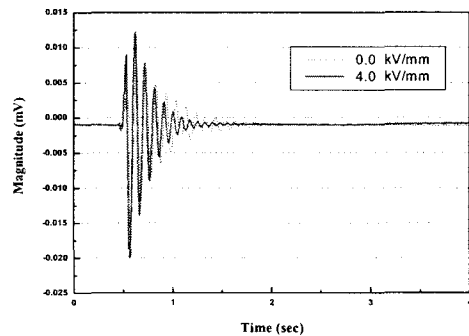


Fig. 6 Transient Response signal of the beam(h=2.0mm, E=4.0kV/mm)

위의 그래프에서 알 수 있듯이 인가 전기장 강도가 일정하다면 전극 간극이 작을수록 ER효과가 최대화되어 짧은 시간에 정상상태로 진입함을 알 수 있었다. 또한 정상상태 진동응답의 경우에 대해서도 진폭 응답을 전극간극의 변화와 인가 전기장의 강도에

따라 알아보았다.

Fig. 7은 전극 간극 1mm인 상태에서 전기장 강도에 따른 진폭응답을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 알 수 있는 것과 같이 일정 전기장까지는 진폭의 크기가 많이 줄어들음을 알 수 있었다. 그러나 일정 강도 이상의 전기장에서는 같은 응답을 나타냄으로서(본 연구에서는 E=3.0 kV/mm) 과도한 전기장의 인가 시에는 시스템이 불안정한 상태가 됨을 알 수 있었다.(E=5.0 kV/mm 이상)

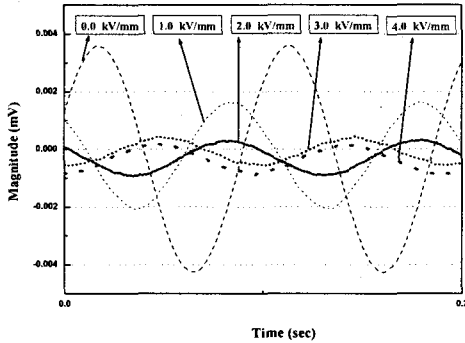


Fig. 7. Steady state response signal of the beam under applied electric field change (h=1mm)

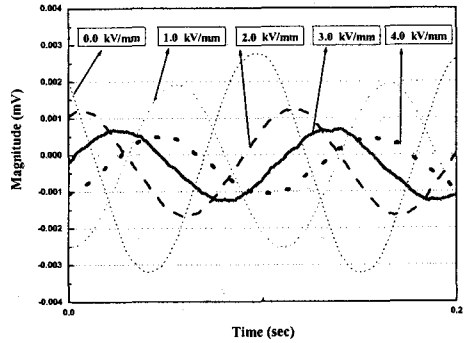


Fig. 8 Steady state response signal of the beam under applied electric field change (h=1.5mm)

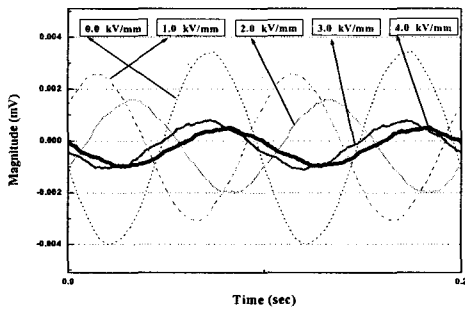


Fig. 9 Steady state response signal of the beam under applied electric field change (Electrode gap: 2 mm)

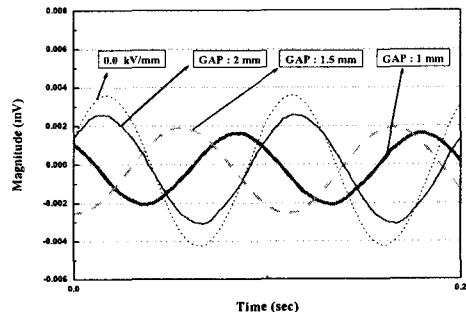


Fig. 10 Steady state Response signal of the beam under electrode gap change (Applied electric field: 1 kV/mm)

Fig. 8과 9는 전극 간극 1.5mm와 2mm의 경우에는 1mm의 경우와는 달리 전기장 강도 E=5.0kV/mm에서도 ER효과가 나타나 진폭변화에 대한 응답을 얻을 수가 있었다. 그러나 이 경우에도 과도한 전기장의 인가시에는 불안정해짐을 알 수 있었다.(E=7.0 kV/mm 이상) 이것은 ER유체의 제조시에 사용한 고체 미립자의 특성에 의한 것으로 생각된다. 정상상태진동에 대한 고찰을 위하여 1차공진으로 가진하여 전극간극에 따른 응답을 파악하였다. 인가 전기장의 크기가 일정한 경우 자유진동의 실험과 같이 전극 간극이 작을수록 진폭이 많이 줄어들음을 Fig. 10에서 보여주고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 지능 구조물 적용을 위해 외팔보 형태의 ERF-Beam을 자체 제작하고, 전극간극의 변화와 전기장의 강도 변화에 따른 진동 응답 특성을 실험적으로 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전기장의 강도가 동일하고 전극간극이 작을수록 ER유체의 순간적이고 가역적인 상변화의 특징으로 인해 외팔보 형태의 ERF-Beam의 진동특성이 변화하여 공진점을 회피하는 것을 알 수 있었다.
2. 전기장 강도를 서서히 높이면서 외팔보 형태의 ERF-Beam 끝단의 진폭변화를 살펴본 결과 일정 전기장 이하에서는 전기장의 강도가 증가할수록 진폭이 크게 감소하는 것을 알 수 있었다.
3. 외팔보 형태의 ERF-Beam의 진동 특성 실험결과 전기장 강도에 비례하여 ER효과가 발생하였으며, 일정 전기장 이상에서는 ER입자의 매우 활발한 분극작용으로 인해 ER 유체의 고상화 현상이 진행되어 더 이상의 진폭변화가 일어나지 않는 것을 알 수 있었다.

ERF-Beam의 진동 특성 실험결과 ER유체의 빠른 응답성과 구조의 단순성, 전기장 강도에 따른 진폭변화 등을 실험한 결과 소방안전 분야와 첨단기계설계 분야에 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. W. M. Winslow, " Induced Fibration of Suspension", J. of Applied Physis, 20, 1137, 1949
2. Sung-Cheol Jang, Man-Oh Yum, Do-Tae Kim, 20-03, "Flow Rate-Pressure Drop Characteristics of Dispersive ER Fluid According to Change of Electric Field Strength in Clearance between Parallel Plates", KSMTE, Vol. 12, No. 1, pp. 78~83.
3. Tae-Hyun Chang, Sung-Cheol Jang, 2004, "An Experimental Study on Flow Characteristics of ERF Between Two Parallel-Plate Electrodes by Using PIV Technique", KSME International Journal, Vol. 18, No. 10, pp. 1763~1771.
4. S. B. Choi, Y. K. Park. "Active Vibration Control of a Cantilevered Beam Containing an Electro-Rheological Fluid," Journal of Sound and Vibration, Vol. 172, No. 3, May 1994, pp. 428-432.
5. Yong-Kun Park, Seung-Bok Choi " Vibration Control of a Cantilevered Beam via hybridization of Electro-Rheological Fluids and Piezoelectric Films" Journal of Sound and Vibration, Vol. 225, No. 2, Aug 1999, pp. 391-398.
6. 장성철, 엄만오, 김도태, 김태형, 배태열, "평행평판의 전극형상에 따른 ER유체의 유동특성 I", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 2001, pp. 207-212.