

친환경 EAPap 센서를 이용한 보의 진동제어 Beam Vibration Control of Eco-Friendly EAPap sensor

김홍수† · 김정윤* · 이호철**

Heung Soo Kim, Jung Yun Kim and Hocheol Lee

1. 서론

셀룰로오스는 나무나 식물에서 얻어지는 천연재료로서 이를 가지고 만든 압전종이는 다른 반도체 재료나 나노재료들과 다르게 인체에 무해하고 자연에서 소멸되는 자연친화적인 특징이 있다. EAPap (Electro-Active Paper)은 셀룰로오스 종이를 가지고 만든 지능재료로, 큰 변형을 내고, 가볍고, 유연하고, 건조하고, 낮은 작동전압, 적은 전력소모, 또한 자연 분해되는 특징을 가지므로 많은 장점이 있다 [1].

EAPap의 작동 원리는 압전 효과와 이온 전이효과가 복합적으로 나타나는 것으로 알려져 있다. EAPap을 만든 셀룰로오스는 셀룰로오스 II로서 단사정계(monoclinic)의 결정구조를 갖는데 이 결정구조는 비중심대칭(noncentrosymmetry)으로 압전성을 가진다. 한편, EAPap을 이루는 셀룰로오스는 결정영역(crystal domain)과 비결정영역이 섞여 있는데, 비결정영역(amorphous domain)은 결정영역의 주위에서는 배열된 형태를 띤다. 따라서 EAPap의 압전성은 셀룰로오스 II의 결정구조와 이와 인접한 배열된 영역에 의해 발생한다고 볼 수 있다. 반면에 비결정영역에는 많은 수산기가 있어서 쉽게 다른 이온이나 물분자와 반응을 하게 된다. 예를 들면, EAPap 내에는 셀룰로오스를 녹이는데 사용한 나트륨 분자들이 잔존하기도 한다. 따라서, 전기장이 EAPap에 인가되었을 때 셀룰로오스의 비결정영역에 산재해 있는 이온이 물분자와 함께 움직이면서 EAPap에 변형을 발생시킨다. EAPap 작동기의 성능이 습도와 같은 환경적인 요인에 민감한 것은 바로 이러한 이온전이효과 때문이다. 이온전이효과는 EAPap의 굽힘변형을 유발하고, 이를 이용해서 잠자리 날개, 초소형 벌레로봇, 평판 스피커 등 여러 응용 분야에 대한 연구가 진행되었다[2]. 하지만, 압전

효과를 이용한 응용 연구는 아직 미진한 편이다. EAPap의 압전 특성은 PVDF와 비슷한 것으로 알려져 있으며[3], PVDF는 압전센서로 많이 사용되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 단순한 외팔보의 진동제어 실험을 통해 친환경 압전센서로서의 EAPap의 가능성을 알아보았다. EAPap 시편과 압전세라믹 패치를 외팔보의 기저에 부착하고, EAPap 센서의 압전 신호 특성을 평가하기 위해 먼저 외팔보의 충격응답특성을 압전세라믹 센서의 결과와 비교하였다. 그리고, 보의 진동제어를 위해, EAPap 센서와 압전세라믹 작동기 시스템을 구성하였다. 진동제어를 위해 간단한 PID 컨트롤러를 설계하여 보의 진동제어를 수행하였고, 압전센서로서의 EAPap의 가능성을 확인하였다.

2. 실험

2.1 EAPap 시편 준비

EAPap는 셀룰로오스를 기반으로 하는 재료이다. 셀룰로오스는 가장 일반적인 유기 고분자로 친환경적인 특성으로 인해 많은 주목을 받고 있다. 셀룰로오스는 자연계 식물의 토대를 이루는 기본 물질로 자연계에 풍부하게 존재하고 있다. 셀룰로오스는 나무 펄프나 화학적인 합성으로부터 얻어진다. 본 연구에서는 크산틴염을 사용하는 것보다 공해가 적고, 반응이 빠르고, 쉬우며, 재현성이 좋은 LiCl/DMAC 용매를 사용하였다. 압전효과를 높이기 위해 셀룰로오스를 재생하는 과정에서 모든 이온과 용매를 제거하였다. Fig. 1은 본 연구에서 사용된 EAPap 샘플 사진이다.

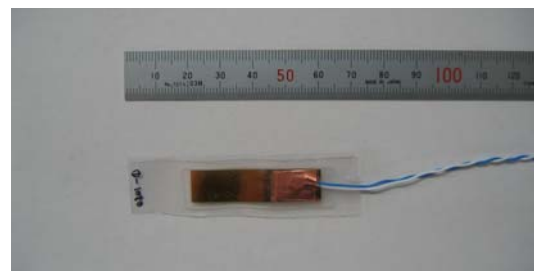


Fig. 1 Fabricated EAPap sample

† 교신저자; 동국대학교 기계로봇에너지공학과
E-mail : heungsoo@dongguk.edu
Tel : (02) 2260-8577, Fax : (02) 2263-9379
* 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부
** 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부

2.2 보의 진동제어

EAPap 센서를 사용한 진동실험을 위해, 알루미늄 (Aluminum 6063-T5) 외팔보를 사용하였다. 보의 크기는 30cmX3cmX0.27cm 이다. 깨끗한 저주파 진동을 보기 위해 100g의 추를 외팔보의 끝단에 부착하였다. EAPap은 고정단에서 1cm 떨어진 외팔보의 상단면에 부착하였다. EAPap 센서 신호를 증폭시키기 위해 전류증폭기(B&K 2692)를 사용하였고, 센서 신호는 디지털 오실로스코프(Agilent Technologies, DSO 3062A)로 계측하였다. 작동기로 사용하기 위해 압전 세라믹 패치(PZT-5H)를 역시 고정단에서 1cm 떨어진 보의 하단면에 부착하였다. 압전세라믹 패치를 구동시키기 위해 전압증폭기(Trek, PZD700)를 사용하였다. 그림 2는 본 연구에서 사용된 진동 제어 실험의 개념을 나타낸다.

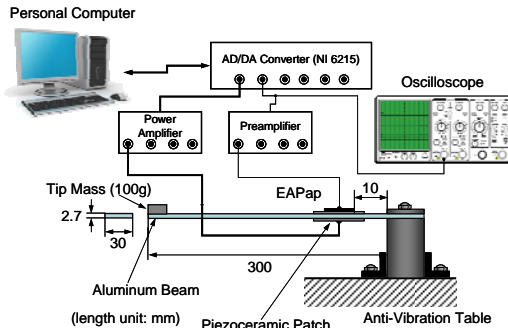


Fig. 2 Schematic diagram of the vibration control test apparatus

3. 결과 및 논의

본 논문의 목적은 압전센서로서의 EAPap의 가능성을 알아보는 것이다. 따라서, EAPap의 센서 출력 특성을 알아보기 위해 외팔보의 충격응답특성을 측정하였다. 비교를 위해 EAPap과 압전세라믹으로 동시에 외팔보의 응답특성을 측정하였다. Fig. 3은 EAPap과 압전세라믹으로 측정한 외팔보의 충격응답특성이다. EAPap 센서가 압전세라믹 패치와 마찬가지로 아주 명확한 진동응답특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

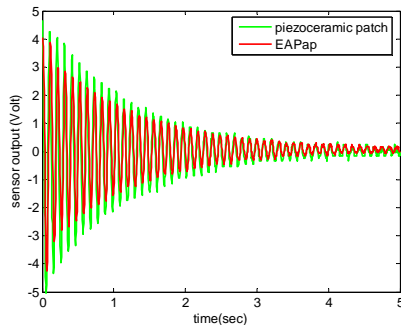


Fig. 3 Impulsive response of the beam measured by EAPap and piezoceramic patch

압전센서로서 EAPap의 응용가능성을 알아보기 위해 외팔보의 진동제어를 수행하였다. EAPap 센서 출력을 위치에너지로 고려하여 보의 진동제어를 위해 위치에너지를 최소화하는 간단한 PID 피드백제어를 설계하였다. Fig. 4는 제어를 할 때와 제어를 하지 않을 때, 보의 응답특성을 나타낸다. PID 제어를 통해 보의 진동이 빨리 사라지는 것을 확인할 수 있다. 결과를 통해 EAPap을 압전센서로 사용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

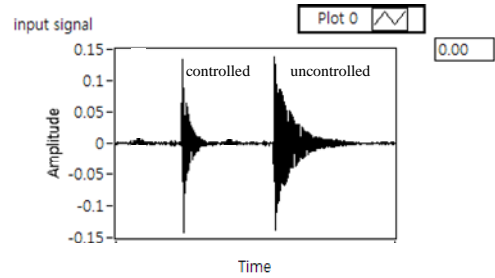


Fig. 4 Impulsive response of the beam with open loop and closed loop

4. 결론

본 논문에서는 단순한 외팔보의 진동제어 실험을 통해 친환경 압전센서로서의 EAPap의 가능성을 알아보았다. 외팔보의 충격응답특성을 통해 EAPap 센서가 압전세라믹 패치와 비슷한 성능의 센서 출력을 나타내는 것을 확인하였으며, 간단한 PID 제어기 설계를 통해 실제 외팔보의 진동 제어를 수행하였다. 진동제어 결과, EAPap이 압전센서로서 사용 가능함을 확인하였다.

참고문헌

- (1) Kim, J. and Yun, S., 2006, "Discovery of Cellulose as a Smart Material", *Macromolecules*, Vol.39, pp.4202~4206.
- (2) Kim, J., Yun, S. and Lee, S. K. 2008, "Cellulose Smart Material: Possibility and Challenges", *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 19, pp. 417-422.
- (3) Kim J. H., Kim J.H., Kim J., Kim H. S. and Yang C., 2009, "Piezoelectricity of wet drawn cellulose Electro-Active Paper," *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 154, pp. 117-122.

후 기

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2009-0070883)