

압전소자의 날개 형상을 이용한 에너지 수집장치에 관한 기초연구

A Fundamental Study on Energy Harvesting System using wing-type beam structure

*박정현¹, #박상후²

*Jeong Hyun Park¹, #Sang Hu Park(sanghu@pusan.ac.kr)²

¹부산대학교 기계공학부 대학원 정밀가공시스템, ²부산대학교 기계공학부

Key words : 압전소자 (Piezoelectric), 에너지 수집 (Energy harvesting)

1. 서론

현재 우리가 사용하고 있는 많은 기계 장치들은 작동할 때 항상 진동 에너지를 발생시킨다. 내연기관, 벨트, 축, 풀리 등의 회전 기계요소와 유체의 내부유동 및 외부유동에 의한 가진 (flow induced vibration), 균형 잡힌 회전체의 기계적 마모에 의해 발생한 편심 (eccentric)에 의한 회전체 가진, 노면을 달리는 자동차의 바퀴에 발생하는 가진 등이 그것이다. 이러한 진동 에너지는 기계적으로 불필요한 에너지이며 일종의 에너지 손실에 해당한다.

이러한 진동에너지를 활용하기 위한 방법 중 하나는 기계 에너지를 전기 에너지로 수집하여 활용 가능한 에너지로 변환하는 방법이다. 이러한 에너지 변환을 위한 물질은 압전소자 (Piezoelectric material) 이다.

진동에너지를 전기에너지로 수집하기 위해서는 압전소자의 감지 (sensing) 특성을 이용하게 되고 에너지 크기는 작용 응력에 의존하며 압전소자에 가해지는 응력이 클수록 큰 전기에너지를 얻을 수 있다. 압전소자의 전압은 응력과 형상의 함수로 식 (1) 과 같이 간단하게 표현할 수 있다.¹⁾

$$V = \sigma_{31} \cdot t \cdot g_{31} \quad (1)$$

여기서, σ_{31} 은 길이방향 응력, t 는 압전소자 전극 사이의 두께, g_{31} 은 전압상수이다.

에너지 수집장치로서 다양한 응력 발생

방법들이 연구되고 있으며, 일반적인 형태는 평판 의 단일 고정 보 (cantilever beam) 형상 이다. 여기에 평판의 한쪽 면에 압전소자를 부착한 단일형태 (single morph), 양면에 부착한 양면형태 (double morph) 방법으로 에너지 수집장치를 제작할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 에너지 수집장치를 제작하기 위해 기본이 되는 미세 판의 진동 모드 해석을 통해 고유진동수에 대한 변형 형상을 시뮬레이션 하고 조화해석을 통해 응력의 분포를 확인하여 압전소자의 장착 위치에 대한 유효성을 확인하고자 한다.

2. 기본 모델의 진동해석

단일 고정단 보에 대한 거동을 알아보기 위해 모달 (Modal)해석과 조화 해석을 통해 거동 및 응력분포를 알아보고자 한다. 기본 모델의 형상은 Fig. 1 과 같다.

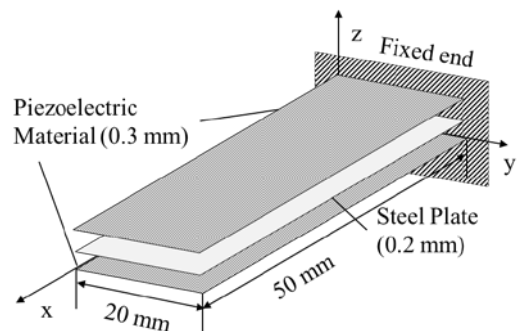
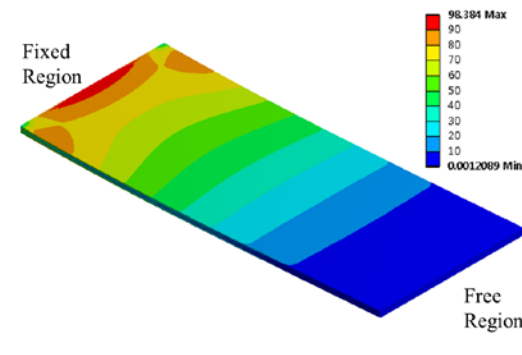


Fig. 1 Basic shape of a cantilever beam

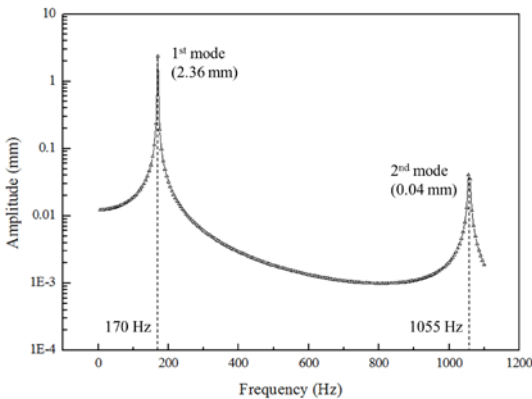
진동에 대하여 여러 형상의 모델에 대하여 많은 연구가 이미 진행되었으며, 본 연구에 사용된 형상과 같은 단일 고정단 보에 대한 1 차 고유진동수 값을 식 (2)를 이용해 물성치와 형상에 대한 함수로 표현할 수 있다.²⁾

$$\omega_1 = 3.52 \sqrt{\frac{EI}{\rho V l^3}} \quad (2)$$

여기서 E는 탄성계수, I는 단면관성모멘트, ρ는 밀도, V는 체적, l은 길이이다.



(a)



(b)

Fig. 2 (a) Equivalent stress distribution of cantilever beam at 1st resonance frequency, (b) Change of amplitude with respect to frequency of the end tip of cantilever beam

Fig. 2(a) 에서와 같이 응력분포는 고르지 않다. 고정단에서 최대응력을 가지며, 자유단으로 나올수록 응력이 감소하는 것을 볼 수 있다. Fig. 2(b) 와 같이 가진주파수와 고유진동수가 일치할 때, 약 170 Hz 에서 날개 끝단의 변위가 최대로 증폭되며, 1 차와 2 차 모드의 크기 차이는 약 59 배에 달한다. 일반적으로 1 차 모드에서 가장 큰 크기를 보이며, 해석 결과에서도 이를 확인할 수 있다.

3. 설계방향 제안

압전층의 고르지 않은 응력분포는 에너지 수집장치의 전체 무게를 제한조건으로 설계를 한다면, 이러한 잉여질량이 제한된 질량에 대한 발전 및 수집 효율을 감소시키는 역할을 한다.

따라서 이를 최적화 하기 위해서는, 진동 발생 시 응력 및 변형률이 크고, 가진 주파수에 잘 맞는 고유 진동수를 가지는 형상을 제작하여야 하며, 전 영역에 걸쳐 응력분포가 고른 형상을 가지도록 제작해야 설계 목적에 알맞은 에너지 수집장치를 제작할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 가장 많이 사용되는 에너지 수집장치의 형상을 이용하여 가진에 의한 고유진동 시 날개의 응력분포를 확인하고 고유진동수에서 끝단의 변위 및 2 차 모드와의 비교를 통해 증폭의 크기를 확인하였다. 또한 응력 해석을 통해 압전소자의 최적화 방향을 제시하였고, 향후 이론적 해석 및 형상 최적 설계, 실험을 통한 에너지 수집장치의 제작 및 방향을 제시하고자 한다.

참고문헌

1. J. J Bernstein, J. Bottari, K. Houston, G. Kirkos, R. Miller, B. Xu, Y. Ye, L. E Cross, "Advanced MEMS ferroelectric ultrasound 2D arrays," IEEE 1999 Ultrasonics Symposium, 1145-1153, 1999.
2. W. T. Thomson, M. D. Dahleh, "Theory of VIBRATION with Application 5/e", Prentice Hall, 267-289, 2001