

압전 진동 에너지 수확 장치의 직류 전기 출력 해석을 위한 소프트웨어 개발

Development of a Software for DC Electrical Output of Piezoelectric Vibration Energy Harvesters

김재은† · 김윤영*

Jae Eun Kim and Yoon Young Kim

1. 서 론

압전 진동 에너지 수확 장치^(1,2)에 대한 해석 기법의 확보는 장치의 설계 및 성능 평가를 위해 필수적이다. 압전 진동 에너지 수확 장치의 교류 출력 전압 및 전력 평가를 위해서 해석 소프트웨어는 기본적으로 임의의 외부 저항이 부착된 압전 구조물을 다룰 수 있어야 한다. 그런데, 무선 센서망의 센서 노드 등 압전 에너지 수확 장치가 전원으로 사용되는 대부분의 응용 분야에서는 직류 전기를 필요로 한다. 따라서, 정류/평활 기능을 포함한 전력 관리 회로 및 부하로 인해 발생하는 모든 전기-역학 연성이 고려된 직류 출력에 대한 해석 도구의 확보는 매우 현실적이며 실용적이다. 이를 해결하기 위한 한 방법으로서 해석 소프트웨어를 이용한 전기 등가 회로 요소값의 추출을 기반으로 하여 등가 회로 해석 기법이 제안된 바 있다⁽³⁾.

본 연구에서는 제안된 방법을 기반으로 외팔보 압전 진동 에너지 수확 장치의 직류 출력 전기량을 해석할 수 있는 소프트웨어 모듈을 개발하였다. 기본적인 압전 해석 및 전기 등가 회로 요소의 추출을 위해서는 COMSOL 해석 소프트웨어가 사용되었으며, 추출된 전기 등가 회로 요소를 이용한 전기 회로 해석 및 사용자 인터페이스는 MATLAB을 이용하여 구현하였다.

2. 전기 등가 회로 기반 소프트웨어의 개발

2.1 압전 지배 방정식 및 등가 회로

† 교신저자: 정회원, 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부
E-mail: jekim@cu.ac.kr

Tel: (053) 850-2657, Fax: (053) 850-2710

* 서울대학교 기계항공공학부

Fig. 1(a)에 나타난 압전 진동 에너지 수확 장치의 기저가 외부 조화 가진을 받는 경우 r 번째 폐회로 (Fig. 1에서 $R_e=0$ 인 경우) 고유 진동수 근처에서의 전기-역학 연성 지배 방정식은 다음과 같다⁽³⁾.

$$m_r \ddot{w}_r(t) + \eta_r \dot{w}_r(t) + k_r^{sc} w_r(t) + \alpha_r v_o(t) = -\mu_r m_r \ddot{w}_b(t) \quad (1a)$$

$$\alpha_r \dot{w}_r(t) - C_p \dot{v}_o(t) = \frac{v_o}{R_e} \quad (1b)$$

위 식에서 m_r , η_r , k_r 과 α_r 은 각각 r 번째 모드에서의 질량, 감쇠, 감쇠 계수 및 압전 연성 계수를 나타내며, C_p 및 v_o 는 각각 압전체 내부의 전기 용량 및 압전 에너지 수확 장치의 출력 전압을 나타낸다. 또한, μ_r 은 기저의 운동으로 인해 가진을 받는 외

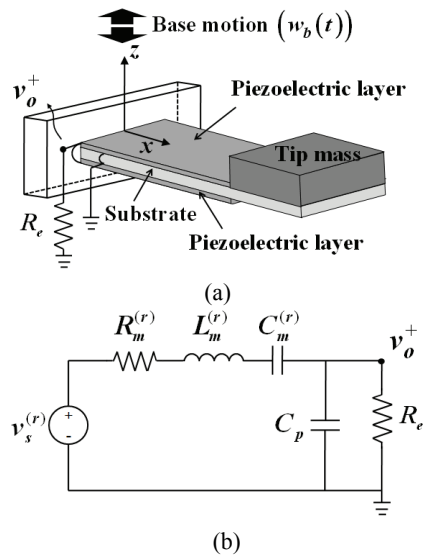


Fig. 1 (a) Cantilevered piezoelectric energy harvester and (b) its equivalent circuit model employed in this work

팔보의 운동 지배 방정식에서 필요한 수정 계수이다. 식 (1)의 지배 방정식을 만족하는 압전 에너지 수확 장치의 등가 회로는 Fig. 1(b)에 나타내었다. Fig. 1(b)의 $R_m^{(r)}$, $L_m^{(r)}$ 및 $C_m^{(r)}$ 은 각각 r 번째 모드에서의 등가 저항, 유도 용량 및 전기 용량을 나타내며, $v_s^{(r)}$ 는 외부 가진에 의한 등가 전력원을 나타낸다. 압전 해석 소프트웨어를 이용한 전기 등가 회로 요소값들에 대한 자세한 추출법은 참고문헌⁽³⁾을 참조하기 바란다.

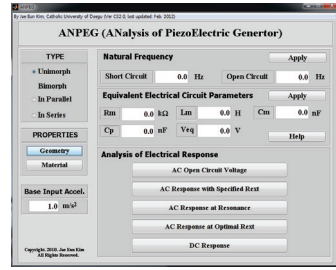
2.2 소프트웨어의 구성 및 해석 범위

Fig. 2(a)에 압전 진동 에너지 수확 장치의 직류 전기 출력 해석을 위해 개발된 프로그램 (ANPEG: Analysis of PiezoElectric Generator)의 주 모듈을 나타내었다. 압전 진동 에너지 수확 장치의 치수 및 물성치 등 및 해석 수행을 위해 필요한 입력은 Fig. 2(b)에 나타낸 모듈을 이용한다. 개발된 프로그램은 우선 폐회로 및 개회로 상태에서의 고유 진동수를 계산한다. 이를 기반으로 압전 에너지 수확 장치에 부착된 임의의 외부 저항 (부하) 양단에서 출력되는 교류 및 직류 전기 해석을 위한 전기 등가 회로 요소값 등을 추출한다. 마지막으로 계산된 값들을 이용하여 사용자 선택에 의해 다음의 계산을 수행하게 된다.

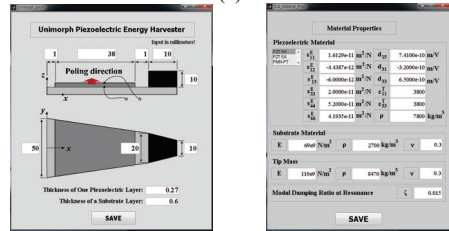
- 1) 외부 저항이 무한대 (개회로) 상태일 때 압전 진동 에너지 수확 장치의 가진 주파수 대비 출력 전압
- 2) 임의의 외부 저항이 부착되었을 때 가진 주파수 대비 저항 양단에서의 출력 전압 및 전력
- 3) (폐회로 또는 개회로) 고유 진동수와 같은 주파수를 갖는 기저 가진에 의한 외부 저항 대비 출력 전압 및 전력
- 4) 외부 저항이 압전 에너지 수확 장치의 주파수 별 내부 저항 (임피던스)과 같을 때의 가진 주파수 대비 출력 전압 및 전력
- 5) 압전 진동 에너지 수확 장치에 전력 관리 회로가 부착된 경우 부하에서의 직류 전압 및 전력

3. 결 론

본 연구에서는 전기 등가 회로 해석 기법을 이용하여 압전 에너지 수확 장치에 대한 직류 전기 출력 해석이 가능한 소프트웨어를 개발하였다. 사용자 인터페이스 및 기본 압전 해석을 위해 MATLAB 및 COMSOL 소프트웨어를 사용하였다. 개발된



(a)



(b)

Fig. 2 (a) Main module of the developed software and (b) its preprocessing module prepared for relevant dimensions and material properties

소프트웨어 모듈을 이용하면, 많은 계산량이 필요한 넓은 가진 주파수 대역에서의 교류 출력 해석을 빠르게 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 특히 정류/평활 회로를 포함한 전력 관리 회로가 압전 에너지 수확 장치에 연결된 경우의 직류 전기 출력을 매우 편리하게 계산할 수 있다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (No. 0014430).

참 고 문 헌

- (1) Erturk, A. and Inman, D. J., 2011, "Piezoelectric Energy Harvesting", John Wiley & Sons, Ltd., United Kingdom.
- (2) 김재은, "마이크로 에너지 수확: Still Scientific Curiosity?", 2011, 소음-진동, April, pp. 35~47.
- (3) Kim, J. E., 2010, "Analysis of Vibration-powered Piezoelectric Energy Harvesters by Using Equivalent Circuit Models", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 4, 397-404.