한국소음진동공학회 2013년 추계학술대회논문집, pp. 312~313

운전중 변형 형상을 고려한 압전 에너지 하베스팅 스킨의 실험적 고찰

Experimental Study of the Piezoelectric Energy Harvesting Skin based on Operational Deflection Shape

김홍진† · 이소원* · 조철민** · 윤병동*** · 김윤영**** · 김재은*****

Hongjin Kim, Sowon Lee, Chulmin Cho, Byeng Dong Youn, Yoon Young Kim, and Jae Eun Kim

1. 서 론

근래에 주변 환경으로부터 수확한 에너지를 이용하여 각종 무선센서를 구동하는 전력원으로 사용하려는 연구가 많은 주목을 받고 있다. 특히 진동 에너지를 이용한 에너지 수확 기술에 대한 연구가 다른 에너지원에 비해 상대적으로 많이 진행되어 왔다. 이는 진동 에너지가 주변 환경 어디에나 존재할 뿐 아니라 출력 파워 밀도도 적지 않기 때문이다.

압전 물질을 이용한 진동 에너지 수확 장치는 다양한 형태가 제안되어 왔으나, 본 연구에서는 스킨 형태의 압전 에너지 수확장치 (piezoelectric energy harvesting skin: PEH skin)를 다루었다 [1]. 압전 에너지 하베스팅 스킨은 진동하는 박판 형태의 구조물에 압전 소자를 직접 부착하는 방식으로 제작한다. 이러한 방식은 외팔보 형태의 압전 에너지 하베스터와 달리 추가적인 고정장치나 이물질로부터 보호하는 장치를 필요로 하지 않는다는 장점을 갖는다.

한편, 압전 에너지 하베스팅 스킨을 설계하는데 있어 고려해야 할 중요한 사항은 압전 소자 내부에서의 전압 상쇄 효과(voltage cancellation effect)를 방지하는 것이다 [2]. 본 연구에서는 전압 상쇄 효과를 방지하기 위한 inflection line 을 설계함에 있어, 실험적으로 관측한 대상체의 운전중 변형 형상(Operational Deflection Shape; ODS)을 고려하고자 한다. 또한 이렇게 제작한 압전 에너지 하베스팅 스킨의 특성을 실험적으로 검증하고자 한다.

† 교신저자; 서울대학교 기계항공공학부 대학원, WCU
E-mail : hjkim4130@snu.ac.kr
Tel : (02)880-1689, Fax : (02)872-5431
* 현대자동차
** 서울대학교 기계항공공학부 대학원
*** 서울대학교 기계항공공학부, 교수
**** 정회원, 서울대학교 기계항공공학부, WCU, 교수
***** 정회원, 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부, 교수

2. ODS 기반 PEH skin 설계 방법

운전중 변형 형상을 고려한 에너지 하베스팅 스킨의 설계를 위해 제안하는 방법은 다음과 같다. 1) 대상체의 ODS를 측정한다. 2) 유의미한 변형 형상이 나타나는 주파수 영역에서의 면외 변위(out-of-plane deflection)값을 측정한다. 3) 불연속적인 측정값으로부터 연속적인 결과를 얻기 위해 면외 변위 값들을 다항식으로 근사(polynomial approximation) 한다. 4) 아래의 식 (1)을 이용하여 면외 변위 값으로부터 평면 내 수직 변형(in-plane normal strain)의 합을 계산한다 [3]. 5) 평면 내 수직 변형값을 이용해 변형률(strain) ODS를 구하고, 수직 변형값의 합이 최소가 되는 지점을 찾아 inflection line으로 설정한다. 6) 에너지 하베스팅 스킨의 출력 향상을 위해 서로 다른 주파수 영역의 inflection line들을 중첩하여 최종 설계안을 도출한다.

$$\varepsilon_{sum} = \varepsilon_x + \varepsilon_y = z\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + z\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \qquad (1)$$

(x, y : in-plane coordinates, z : plate half-thickness, w : out-of-plane deflection)

3. 대상체 선정 및 진동특성 분석

제안한 설계 방법은 출발점에서부터 실험적인 기법에 그 기초를 두고 있다. 따라서 적당한 대상체를 선정하여 설계 방법을 적용해 보고, 그 특징을 실험적으로 확인하고자 한다.

이에 본 연구에서는 풍부한 진동이 존재하며, 에너지 하베스팅 스킨을 적용 가능한 넓은 면적을 갖는 에어컨 실외기를 대상체로 선정하였다. 하지만 에너지 하베스팅 스킨을 적용하고자 하는 실외기 상판의 경계조건이 매우 복잡하고, 추후 연구에서 에너지 하베스팅 스킨 적용의 목표로 삼고 있는 플랜트 설비들에 비해서는 진동량이 부족한 것으로 나타났다. 따라서 경계 조건을 단순화하고, 진동량을 최대 2.8g (g: 중력가속도)로 증진시키는 튜닝을 가했다. 튜닝 된 에어컨 실외기는 16~17 [Hz]의 조화 가진 형태로 진동하며, 상판의 ODS를 확인해 본 결과 33.8, 50, 그리고 66.9 [Hz]에서 유의미한 변형 형상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

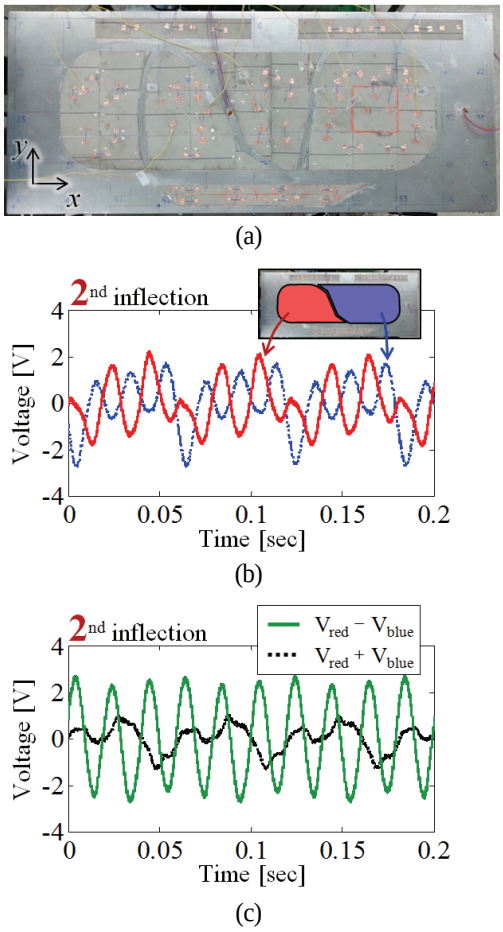

Figure 1 (a) Photograph of the piezoelectric energy harvesting skin (b) Output voltage signals from red and blue PZT sections (c) Sum of output voltage signals considering the phase differences, to verify voltage cancellation effect.

4. PEH skin 설계 및 실험적 검증

실외기 상판에 적용하기 위한 에너지 하베스팅 스킨은 앞서 2절에서 기술한 방법을 따라 설계 및 제작 되었다. ODS 측정은 scanning laser vibrometer (PSV-400, Polytec Gmbh.)을 이용하였다. 총 25 × 11개의 지점에서 측정한 면외 변위 값을 4차 이상의 다항식으로 근사화 한 뒤, 평면 내 수직 변형의 합을 계산해 inflection line을 찾아냈다. 또한, 3개의 주파수 영역에서 나타나는 inflection line들을 중첩하여 최종 설계안을 도출하였다.

최종 설계안대로 제작한 에너지 하베스팅 스킨의 사진을 Fig. 1(a)에서 확인할 수 있다. PZT는 실외기 상판 중심부에서 3개의 inflection line으로 인해 총 4개의 부분으로 나뉘게 된다. 이 중 가운데의 inflection line을 기준으로 양쪽으로 나뉘게 되는 PZT의 출력 전압을 Fig. 1(b)에 나타냈다. 다른 두 곳에서 수확한 전압을 보면 (실선과 점선으로 표시), 확연한 위상 차이를 볼 수 있다. 한편, 두 부분의 PZT를 서로 연결할 경우 Fig. 1(c)의 점선 그래프를 얻을 수 있는데, 전압 상쇄 효과로 인해 출력 전압이 낮아진 것을 알 수 있다. 이와 대조적으로, 두 출력 전압의 위상차이를 고려해 수학적으로 감산을 수행하면 출력 전압이 향상되는 것을 Fig. 1(c)의 실선으로 표시된 결과로부터 확인할 수 있다.

후 기

본 연구는 POSCO(과제번호: 2012Z048)와 2013 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초 연구사업 (과제번호: 2011-0014430)의 지원을 받은 것으로 이에 감사 드립니다.

참고문헌

[1] Lee S. and Youn B. D., "A new piezoelectric energy harvesting design concept: multimodal energy harvesting skin", IEEE T. Ultrason. Ferr. 58 629-45, 2011.

[2] Erturk A., Tarazaga P. A., Farmer J. R., and Inman D. J., "Effect of Strain Nodes and Electrode Configuration on Piezoelectric Energy Harvesting From Cantilevered Beams", J. Vib. Acoust. 131 011010, 2009.

[3] Stanbridge A. B., Martarelli M., and Ewins D. J. "Measuring strain response mode shapes with a continuous-scan LDV", Shock Vib. 9 19-27, 2002.