

신체의 움직임을 통한 센서 및 전기장치 전원공급용 에너지 하베스터 설계

Design of Kinetic Energy Harvester for Body-worn Sensors and Personal Electric Devices

서종호* · 이한민* · 오재웅** · 김영철†

Jongho Seo, Hanmin Lee, Jae-eung Oh and Young-cheol Kim

Key Words : Electromagnetic, energy harvester, human motion

ABSTRACT

This paper presents an electromagnetic kinetic energy harvester which is suitable for supplying power for body-worn sensors and personal electric devices. Human motions are investigated by measuring the acceleration signal at each points of the body during walking and running. The dynamic characteristics of the harvester can be calculated from the transfer function of the system. The transduction factor can be calculated from the electromagnetic field analysis by Maxwell software. The prototype of the harvester is designed and manufactured. The theoretical power characteristics are compared with the experiment results.

1. 서 론

최근에는 휴대용 기기 등의 소형화 추세이다. 그와 동시에 작은 부피의 배터리로 인한 전원공급의 지속성의 중요성이 증가되고 있다. 만약 전원공급이 되지 않으면 휴대용기기는 무용지물이 되므로 지속적인 전원공급은 필수적이다.

진동형 에너지 하베스터는 이러한 문제점을 해결하기 위한 대체 전원의 한 종류로서 최근 많은 연구가 되고 있다. 에너지원인 진동은 우리 주위에 항상 존재 하는데, 그 중 한 방법이 인체의 움직임을

이용한 것이다. 사람이 걷거나 뛸 때 생기는 진동에너지로부터 전기에너지를 생산하는 방식으로 사람이 걷거나 뛸 때 1~4Hz의 주파수와 10~30mm의 변위는 자연발생적인 좋은 진동에너지이다. 기존 연구에서는 인체의 움직임으로부터 영구자석 스프링을 적용한 AA건전지 크기의 전자기형 에너지하베스터가 많이 연구 되었다. 하지만 사람이 걷거나 뛸 때는 2~4Hz 정도의 주파수가 발생하지만 연구되어진 에너지 하베스터는 8~10Hz의 공진 주파수를 갖도록 설계 되었다. 그래서 본 연구에서는 압전, 전자기, 정전기력을 이용한 방식 중에서 상대적으로 저주파인 2~4Hz에서 고유진동수를 갖는 전자기형 태의 에너지 하베스터를 연구 하였다. 그리고 고유진동수를 낮추기 위하여 상대적으로 구동부의 진폭이 커짐으로써 내부 마찰에 의한 비선형적인 감쇠에 대하여 연구 하였다.

† 교신저자: 정희원, 한국기계연구원

E-mail : kyc@kimm.re.kr

Tel : (042)868-7877, Fax : (042)868-7440

* 한국기계연구원

** 한양대학교 기계공학부

2. 에너지 하베스터의 설계

2.1 작동 원리

Fig1은 진동에 의해 작동하는 1자유도계의 기계 모델을 보여주고 있다. 질량 m 인 영구자석에 스프링이 연결 되어 있고, 마찰에 의한 감쇠가 작용하는 구성으로 되어 있다.

z 의 상대 좌표는 다음과 같다.

$$z = x - y \quad (1)$$

(1)식을 이용한 운동 방정식은 다음과 같다.

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + (k_1 + k_2)z + \kappa i = -m\ddot{y} \quad (2)$$

여기서,

m : 영구자석 무게

c : 기계적 감쇠

k_1 : 상부 스프링계수

k_2 : 하부 스프링계수

κ : 연성계수

진동 에너지 수확 장치를 구현 할 때 전기적인 부하는 Fig2.와 같이 표현 할 수 있다.

회로의 지배 방정식은 다음과 같다.

$$L_{Coil} \frac{di(t)}{dt} + (R_{Coil} + R_{Load})i(t) = \kappa \dot{z} \quad (3)$$

L_{coil} : 코일 인덕턴스

R_{coil} : 코일 저항

R_{load} : 부하 저항

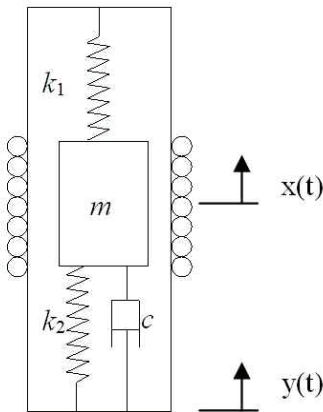


Fig. 1 Linear single degree-of-freedom(SDOF) spring-mass-damper model of a resonant vibration transducer with base excitation

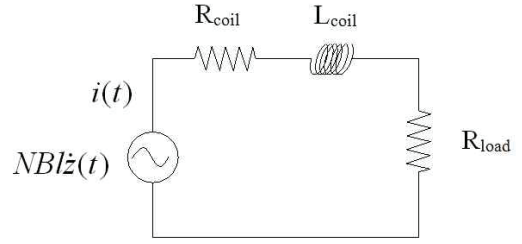


Fig. 2 Circuit diagram representation of the electromagnetic subsystem for analytical analysis

(2) 와 (3)식을 이용하여 전력을 구하면 다음과 같이 주어진다.

$$P = \frac{Y^2 \omega^2 \kappa^2}{8\zeta_T^2 (R_{Load} + R_{coil})}$$

여기서,

Y : 기저가진 변위

ω : 가진주파수

ζ_T : 기계+전기 감쇠비

2.2 에너지하베스터 설계

(1) 설계 및 치수

사람이 걸어 갈 때의 주파수인 2Hz의 공진주파수를 갖는 에너지하베스터를 설계 하였다.

그림3은 본 연구에서 제안하는 에너지 하베스터이다. 하우징 양단에 스프링을 고정하고 스프링에 영구자석을 연결하여 움직일 수 있게 설계하였고 하우징 바깥쪽 가운데에 코일을 감은 형태이다. 그러므로 스프링에 연결된 영구자석이 외부의 진동에 의해 움직이게 되면 코일 내부의 자속밀도가 변화하여 유도 기전력을 발생시켜 전원은 얻어내는 것이다.

전체 하우징의 높이는 210mm, 원통의 경은 25mm이다. 영구자석의 크기는 $\Phi 20 \times 25$ mm, 무게는 143.6g 이다.

Table 1은 에너지 하베스터 내부의 상세 설계 변수이다.



Fig. 3 Design of Kinetic Energy harvester

Table 1 Parameter of Design

Parameters	Value(Units)
Dimension of housing	Ø25 x 210 (mm)
Magnet(NdFeB)	Ø19 x 25 (mm)
Coil width	25 (mm)
Coil thickness	5 (mm)
Coil resistance	300 (Ω)
Spring	25.93 (N/m)

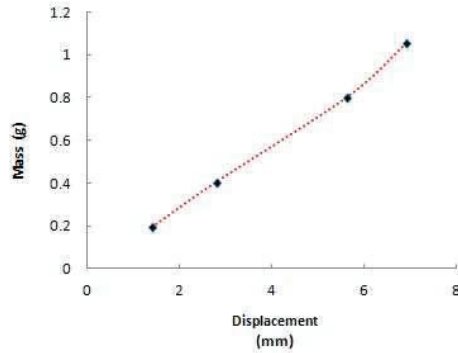
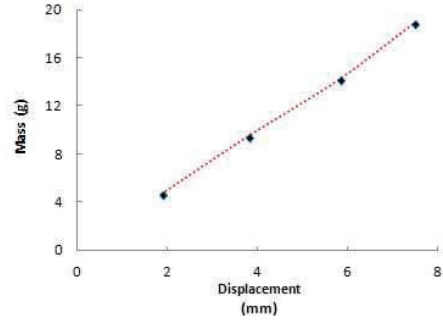


Fig. 4 Measurements of the upper and lower spring coefficient

3. 성능 평가

3.1 실험을 통한 동적 매개 변수 측정

(1) 강성계수 측정

제작된 스프링의 k값을 Fig.4와 같이 측정하였고, 측정된 값을 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$k_1 = 24.48(N / m) \quad (5)$$

$$k_2 = 1.45(N / m) \quad (6)$$

$$k_{total} = 24.48 + 1.45 = 25.93(N / m) \quad (7)$$

상부 스프링계수(k_1)는 24.48N/m, 하부 스프링계수(k_2)는 1.45 N/m 이므로 시스템의 스프링계수는 $k_1 + k_2 = 25.93$ N/m이다.

고유진동수식이 다음과 같다

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (8)$$

그러므로 고유 진동수는 2.14 Hz 이다.

(2) 감쇠비 측정

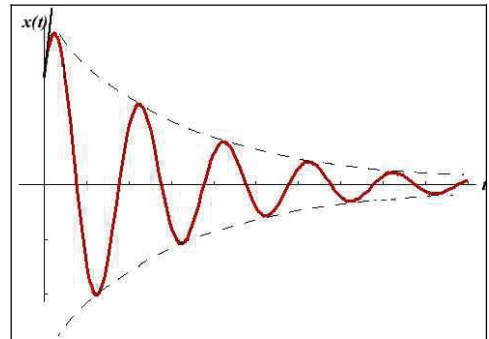


Fig. 5 Measurements of damping coefficient

그림과 같이 감쇠비는 부하저항(R_{Load}) 1000Ω 일 때 0.24, 5000Ω 일 때 0.28, 10000Ω 일 때 0.07 로 측정 되었다. 각각의 감쇠비는 Fig. 6 의 (a),(b),(c)로 표시 하였다. 다른 부하저항에서의 감쇠비는 보간법을 적용하여 예측하였다.

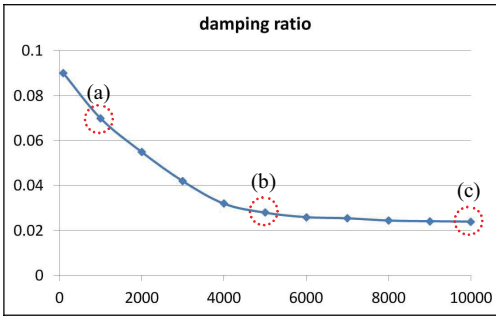


Fig. 6 Measured and predicted results of damping ratio

가진 실험은 사람이 걸을 때 앞으로 나가는 속도는 다르더라도 상하 변위와 주파수가 같다는 가정으로 가진기를 변위를 4mm, 주파수를 2.2Hz로 일정하게 실험 하였다.

(3) 부하저항에 따른 출력 측정 및 검증

Maxwell 을 이용하여 기계-전기계의 연성계수 (κ) 는 18.9(V/m/s)로 측정 되었으며 Matlab 으로 해석 시 적용 하였다..

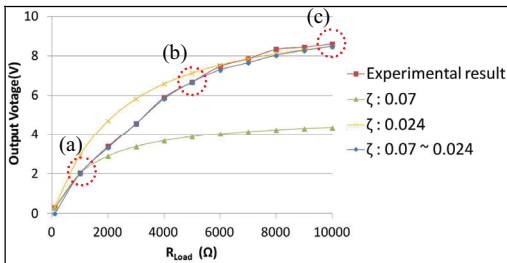


Fig. 7 Simulated and experimental result of output voltage

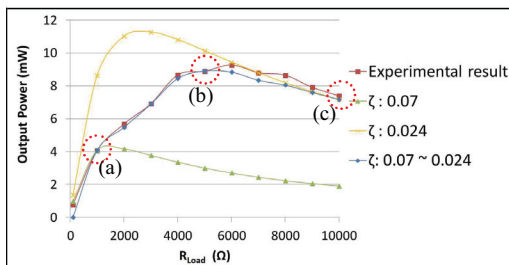


Fig. 8 Simulated and experimental result of output power

Fig.7 은 부하 저항에 따른 출력 전압을 표시 하였고, Fig.8 는 출력 전력을 나타내었다.

Fig.7 에서 연성계수를 18.9, 감쇠비를 0.07 로 가정하여 Matlab 으로 해석 하면 0~1000Ω 까지(a) 실험결과와 같은 경향을 보이지만 이후 구간에서는 실험 결과에 못 미치는 것을 알 수 있다. 또한 감쇠비를 0.24 로 가정하면 0~5000Ω 까지(b) 큰 차이를

보이다가 6000Ω ~10000Ω (c)까지 실험결과와 유사한 것을 알 수 있다.

그러므로 Fig6.에서 측정 및 가정한 감쇠비를 각각의 부하저항일 때 값을 적용하면 실험 결과 값과 매우 유사한 결과 값을 얻을 수 있었다.

부하저항의 연결로 인한 영구 자석의 변위 값과 속도가 변경되며 그로 인한 마찰에 의한 감쇠비가 비 선형적으로 작용한다는 것을 알 수 있다.

그러므로 Fig.6 의 부하 저항에 의한 비선형적인 감쇠비를 각각 적용하여 해석하면 실험 결과를 예측 가능하다.

4. 결 론

본 연구 에서는 사람이 걸을 때 발생하는 진동을 이용하여 전자기형 에너지 하베스터를 설계 제작 하였다. 그 결과 사람이 걸을 때의 공진 주파수인 2Hz 에 근접하는 하베스터의 성능을 시험 하였고, 마찰에 의한 감쇠비가 출력 전압, 전력의 성능에 매우 중요한 변수임을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국기계연구원 자체 연구사업에 의해 수행 되었습니다.

참 고 문 헌

(1) Thomas von buren, "Optimization of inertial micropower generators for human walking motion", IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 6, No.1 FEBRUARY 2006

(2) Abu Riduan Md Foisal and Gwiy-Sang Chung, "Design and Analysis of a Vibration-driven AA Size Electromagnetic Energy Harvester Using Magnetic Spring": TRANSACTIONS ON ELECTRICAL AND ELECTRONIC MATERIALS Vol. 13, No. 3, pp. 125-128, June 25, 2012

(3) C.R. Saha, T.O'Donnell, N. Wang, P. McCloskey, "Electromagnetic generator for harvesting energy from human motion", Sensors and Actuators A 147(2008) 248-254