

자가발전용 휴대폰 케이스에 관한 연구

김진호^{1*}, 박창형¹, 한승철²
¹영남대학교 기계공학과, ²영남이공대학교 자동차과

Study on the mobile phone case for self-power generation

Jin Ho Kim^{1*}, Chang Hyung Park¹, Seung Chul Han²

¹Division of Mechanical Engineering, Yeungnam University,

²Dept. of Automobiles Yeungnam College University

요약 본 논문에서는 휴대폰의 배터리 방전 시에도 비상전화나 문자 메시지의 사용을 가능하게 해주는 자가발전기에 관한 연구를 진행하여 휴대폰 케이스를 통한 휴대폰의 재충전 방법을 제시한다. 사용자가 스마트 폰 케이스를 흔들게 되면 전자기 코일과 발전기의 영구 자석의 상호 작용을 통해 리튬 이온 배터리를 충전 하며 전기 에너지가 생성된다. 이 때 생성된 전기 에너지는 사용자가 몇 분의 통화 또는 문자 메시지를 사용할 수 있는 전력을 제공 해준다. 또한 사람이 걸을 때 위상의 변화에 의해 2 ~ 3 Hz 주파수의 진동 에너지가 발생하는데, 이를 획득하는 에너지 하베스팅 과정을 통해 배터리를 충전한다. 그리고 발전량을 분석하는 것은 상용 전자기 해석 프로그램인 MAXWELL을 사용하여 모델링 후 시뮬레이션 하였다. 마지막으로 분석한 결과를 바탕으로 자가 발전을 위한 휴대폰 케이스의 프로토타입을 구축하고 그 측정값과 시뮬레이션 값을 비교함으로써 프로토타입의 성능을 검증하였다.

Abstract This paper presents the mobile phone case for self-power generation and recharge for emergency calls or text messages at the discharge of a battery. If the user shakes his smart phone case, the interaction of electromagnetic coil and permanent magnet in an electric generator produces electric energy, which charges the lithium-ion battery. This enables the user to give a few calls or text messages. In addition, the vibration energy from humans walking at a frequency of 2 ~ 3Hz charges the battery. The electric generator was simulated using MAXWELL, a commercial electromagnetic analysis program, to analyze the electric power generation. Finally a prototype of the mobile phone case for self-power generation was built based on the analysis and its performance was verified.

Keywords : Energy harvesting, Linear generator, MAXWELL, Mobile phone case, Self-Power generation

1. 서론

최근 스마트폰의 발전에 따라 다양한 부가기능의 사용으로 배터리 전력소모량이 비약적으로 증가하고 있다. 따라서 배터리가 방전되어 긴급 시에 전화나 문자 등을 통한 긴급 통신 기능을 사용하지 못하는 문제 발생하고 있다. 특히, 군사 활동이나, 산악지역의 레저 활동시에는 위급 상황 시 스마트폰의 긴급충전을 위한 자가발전이 매우 중요하다. 본 연구에서는 기계적 진동을 이용한 에

너지 하베스팅을 통해 자가발전 하는 방법에 관한 연구를 진행하였고, 특히 획득 가능한 에너지의 밀도가 높고 기후환경에 영향을 받지 않을 뿐만 아니라 공간제약도 적은편인 진동에너지 하베스팅에 관해 중점을 맞춰 연구하였다[1]. 진동에너지 하베스팅의 종류에는 정전기, 전자기, 압전 효과를 사용하는 방법이 있는데, 정전기 이용 방식은 에너지 변환 효율이 낮고, 압전 효과를 이용하는 방식은 세라믹을 사용하기 때문에 비용이 비싸고 크랙이 쉽게 발생하여 유지 보수가 어렵다[2-3]. 반면, 전자기

본 논문은 영남대학교 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jin Ho Kim(Yeungnam Univ.)

Tel: +82-53-810-2441 email: jinho@ynu.ac.kr

Received March 15, 2017

Revised (1st May 29, 2017, 2nd June 2, 2017)

Accepted June 9, 2017

Published June 30, 2017

기반 하베스팅은 상대적으로 단가가 저렴하고 수명이 길고 또한, 효율이 높다는 장점이 있다. [4-5]. 본 논문에서는 스마트폰 사용자가 보행할 때 발생하는 진동 에너지를 하베스팅 하여 휴대폰을 충전할 수 있는 자가발전용 휴대폰 케이스를 연구하였다. 스마트폰 케이스에 소형 정밀 자가 발전시스템을 일체형으로 결합하여 별도로 소지 시 발생하는 불편함을 없애고 배터리 사용 시간을 증가시킴으로써 잦은 충전을 줄이는 동시에 휴대성을 높일 수 있도록 하였다. 또한, 위급한 상황이 발생하였을 때 스마트폰 방전으로 인한 긴급 통신기능을 해야 할 경우 스마트폰을 흔들어주는 행위만으로도 긴급 통신을 할 수 있다. 상용 전자기 해석 프로그램인 MAXWELL을 기반으로 발전기를 설계 및 발전량 시뮬레이션 하고, 실제 발전기 시제품을 제작 및 발전량을 측정하여 비교분석 하였다.

2. 본론

2.1 발전기의 구조

Fig. 1 은 휴대폰 충전을 위한 리니어 전자기 발전기의 발전부분의 구조를 개략도로 나타낸 것이다. 리니어 전자기 발전기는 크게 3가지 부분으로 구성되는데, 아마추어(Armature)와 고정자(Stator) 그리고, 케이스(Case)로 나누어진다. 아마추어는 사람의 걷는 모션에서 진동 에너지를 받아 상하로 수직운동을 하는 부분이다. 또한 영구자석(Permanent magnet, PM), 축(Shaft)으로 구성 되어있다. 영구자석의 경우 Nd-Fe(Neodymium-Ferrite) 자석을 사용하였는데, 네오디움 자석은 높은 자기특성을 갖고, 가격이 저렴하고 가공이 용이하다는 기계적 특징이 있어서 다른 Ferrite, SmCo보다 우수하기 때문이다. 또한 축은 아마추어의 수직운동을 위해 비자성체 물질인 Stainless steel을 사용하였고 스프링 또한 아마추어의 수직운동이 가능하도록 압축 및 인장스프링을 사용하였다. 고정자는 전자기 코일(Coil)로 구성되고, 케이스는 아마추어가 정상적인 범위에서 수직운동을 바르게 할 수 있도록 운동범위를 제한시켜준다.

2.2 발전기의 원리

사람이 발생시키는 모션을 통해 발생하는 진동에너지를 리니어 전자기 발전기에 적용하면 사람이 걸어 다닐

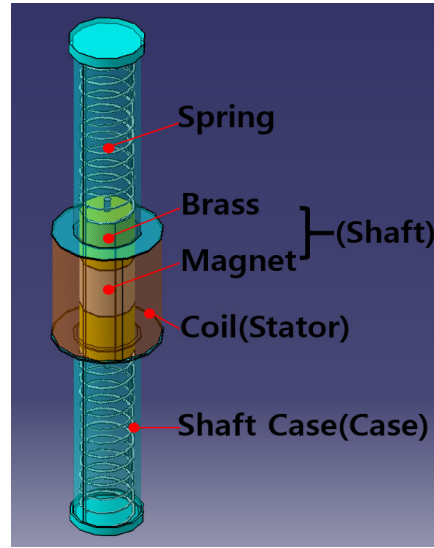


Fig. 1. Design for generation parts

때 약 2Hz, 직접 흔들 때 약 3~4Hz의 주파수 진동이 발생한다. 즉, 발전기의 아마추어부분이 수직방향으로 상하운동을 하면서 고정자인 코일에 기전력(Electro-Motive Force, EMF)이 발생되어 전기에너지를 생성하게 된다. 이렇게 생성된 기전력은 Faraday의 법칙에 의해 식(1)과 같이 나타낼 수 있다[6-7]. 이 식에서 N 은 코일의 감은 횟수, Φ 는 단위시간 dt 동안 코일에 통과하게 되는 flux의 수, dz/dt 는 단위시간당 수직운동을 하는 변위로서 수직운동 속도를 나타낸다. 따라서 기전력을 증가시키기 위해서는 기전력과 비례관계를 갖는 변수인 N , Φ , dz/dt 를 증가시켜야 한다.

$$e(t) = -N \frac{d\Phi dz}{dz dt} \quad (1)$$

3. 발전기 모델링 및 발전량 시뮬레이션

소형 선형발전기의 전자기적 특성을 분석하기 위해 상용 전자기 유한요소 해석 프로그램인(commercial electromagnetic finite element analysis program) MAXWELL을 사용하였으며, 소형 선형발전기의 기초 모델인 축대칭 모델을 형성하였다. Fig. 2는 소형 발전기 축대칭 모델을 보여준다. 휴대성을 고려하여 전체 Case의 길이는 77mm, 두께는 30mm로 제한하였다. 또한

Case 내부의 아마추어의 직경은 15mm, 아마추어가 이동 스트로크는 40mm이다. 스트로크를 이와 같이 설정한 이유는 사람의 걷는 모션을 통해 얻을 수 있는 진폭이 2Hz 주파수에 약 40mm이기 때문이다. 이러한 기준을 통해 발전기를 설계하였고 이를 모델링하였다. 발전기의 모델링 스펙은 Table 1. 와 같이 자석의 높이는 25.23mm, 자석의 두께는 8.525mm, 코일의 높이는 24.5mm, 코일의 두께는 5.035mm, 에어 갭은 2.5mm로 설정하였다. 또한 물성치는 Table 2. 와 같이 설정하였는데, 영구자석은 NdFe_35, 코일은 Copper 재질, 감은 횟수는 6000Turns, 저항은 537Ω, 코일의 직경은 0.15mm, 외부 로드는 약 68Ω이다. 아마추어의 변위와 진동수는 앞서 언급한 바와 같이 ±20mm, 2Hz로 입력하였다. 상용전자기해석프로그램인 MAXWELL을 통해 소형 선형 발전기의 발전량을 계산하기위해 시간에 따라 설계된 모델을 시뮬레이션을 진행하는 Transient 해석으로 진행하였으며, 해석 시간은 0.3s 동안 0.5ms의 Time step으로 해석을 진행하였다. Fig. 3와 Fig. 4는 각각 해석된 발전기에 대한 Node Voltage와 Branch Current 의 그래프를 보여준다. 각각의 RMS값은 11.3417V, 0.1668A이고 발전량(전력)은 1.89W이다.

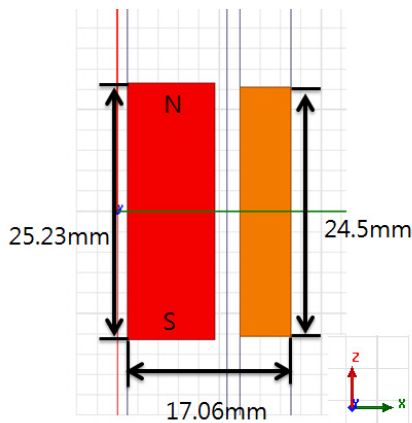


Fig. 2. Axisymmetric modeling of linear generators

Table 1. Modeling specifications on generator

Magnet	NdFe_35
Coil	Copper
Coil number	AWG 35
Load(Ω)	68
Number of turns	6000
Resistance(Ω)	537
Coil diameter[mm]	0.15

Table 2. Properties of generator

Name	Figure[mm]
Height of Magnet	25.23
Thickness of Magnet	8.525
Height of Coil	24.5
Thickness of Coil	5.035
Air-gap	2.5

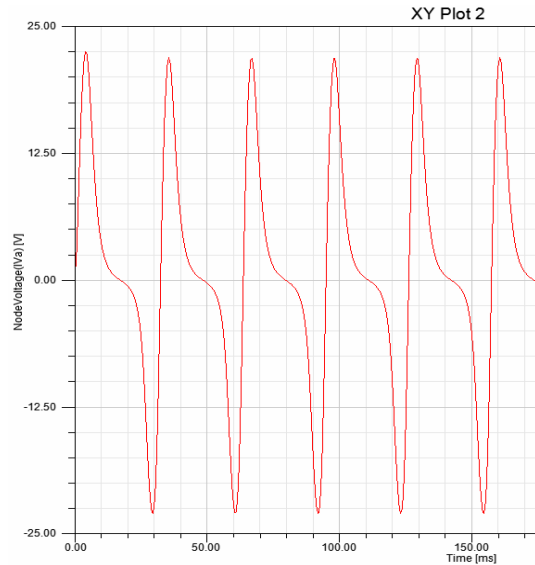


Fig. 3. Node voltage of generator

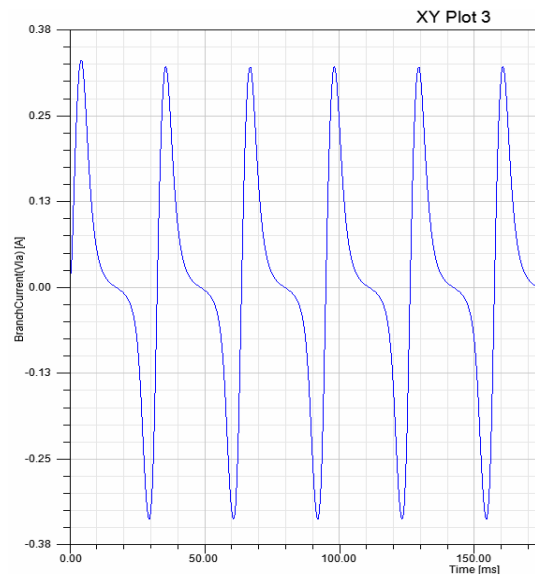


Fig. 4. Branch current of generator

4. 발전기 제작 및 측정

앞서 진행한 전자기 해석의 신뢰성을 검증하기 위해 MAXWELL 프로그램을 이용하여 휴대폰 충전에 사용되는 자가 발전기를 3D 모델링 하고, 모델링을 바탕으로 시제품을 제작하였다. Fig. 5는 발전기 제작을 위한 부품 개요도를 나타낸 것이다. 또한 부품 개요도를 바탕으로 Fig. 6과 같이 시제품을 제작하였다. 총 5가지 부품으로 나누어 제작하여 조립하였는데, 각각의 부품들은 제작과 조립의 용이함을 위해 위 아래로 나누어진 케이스와, 진동 에너지를 통해 전기에너지로 하베스팅 된 기전력의 사용 여부를 결정할 수 있는 on/off 외부 스위치, 회로와 발전기(아마추어)로 구성되어있다. 또한 선형 발전기 형태를 채택하였는데, 리니어 발전기가 회전식 발전기보다 사람의 걷는 모션에서 발생하는 상하 진동을 전기에너지로 잘 변환하기 때문이다. 이 때 발생하는 진동수는 앞서 언급했던 바와 같이 약 2Hz, 사람이 직접 흔들 때에는 약 3~4Hz의 주파수 진동이 발생한다. 발전기의 기전력 측정 방식은 전압/전류 측정기를 통해 Stator의 코일과 연결된 부분의 전압 및 전류를 측정하여 전력을 구하였다. 측정 실험은 바닥에서부터 성인의 엉덩이 높이까지인 약100cm에서 발전기를 들고 측정하였다. 실험 결과는 Table. 3. 와같이 나타났다. 시제품의 출력전력은 1.626W, 출력전압은 9.765V로 측정되었다. 오차율은 각각 13.90%, 13.97%로 분석되었다.

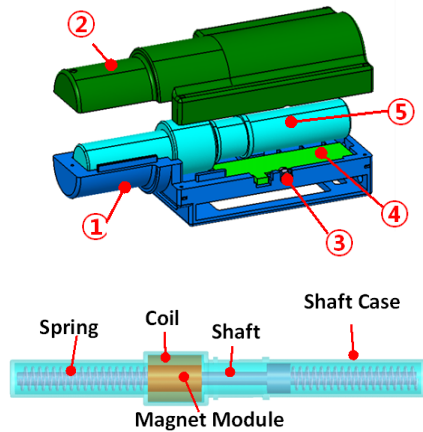
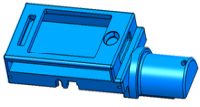
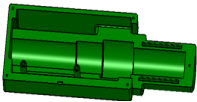

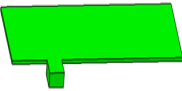
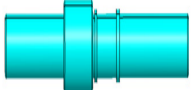


Fig 5. Parts drawing for generator production

No.	Part Name	Image
1	Top cover	
2	Bottom cover	
3	Switch	
4	PCB	
5	Generator system	

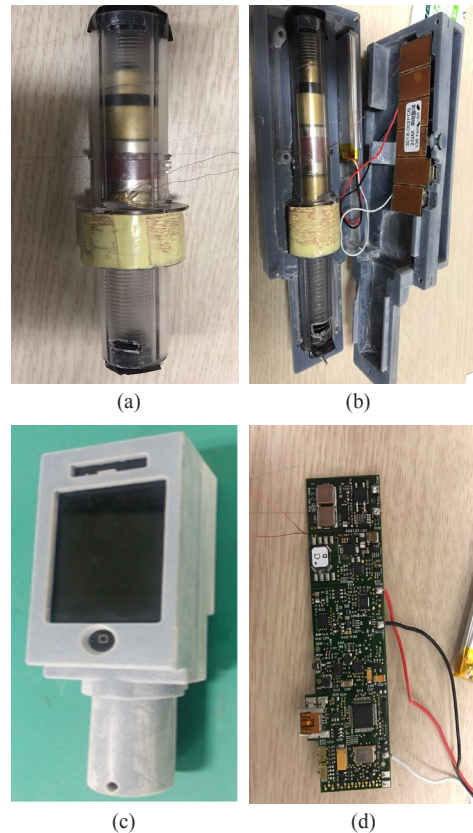


Fig 6. A prototype of Smartphone self-generator case (a) Generator (b) Rectifier circuit (c) Assembly of generator and case (d) Final prototype

Table 3. Result of voltage and power

	Result		Analysis
	Program Analysis	Experimental measurement	Error ratio(%)
Output voltage[V]	11.342	9.765	13.90
Output power[P]	1.890	1.626	13.97

5. 결론

본 논문에서는 사람의 걷는 모션에서 발생하는 진동에너지를 에너지 하베스팅 방식을 통해 휴대폰용 휴대용 발전기를 제작하는 과정을 서술하였다. 먼저, 상용 전자기 해석프로그램인 MAXWELL을 사용하여 발전기의 모델링과 해석을 수행하였고, 이를 통해 생산 가능한 발전량을 측정하였다. 먼저 해석프로그램을 사용하여 생산 가능한 발전량을 예측하였을 때는 1.89W라는 결과 값을 얻을 수 있었다. 또한 발전기 시제품을 제작하여 얻은 발전량은 1.626W로 측정되었다. 따라서 프로그램 해석과 시제품의 오차는 약 13%로 나타났다. 본 논문에서 제안한 스마트폰 자가발전기는 최대 1W 가량의 출력전력을 생산하므로 긴급 시 스마트폰의 충전의 가능성을 보여주었다.

References

- [1] Francesco Cottone, "Introduction to Vibration energy Harvesting," NiPS Energy Harvesting Summer School, 2011.
- [2] Dibin Zhu, Michael J Tudor, Stephen P Beeby, "Strategies for increasing the operating frequency range of vibration energy harvesters: a review," Measurement Science and Technology, vol. 21, pp. 1-29, 2009.
- [3] Lars-Cyril Julin Blystad, "Piezoelectric MEMS Energy Harvesting Systems Driven by Harmonic and Random Vibrations," IEEE Transactions on Ultrasonics, vol. 57, no. 4, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TUFFC.2010.1495>
- [4] S P Beeby, M J tudor and N M White, "Energy harvesting vibration sources for microsystems applications," Measurement Science and Technology, vol. 17, pp. 175-195, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/17/12/R01>
- [5] S. Roundy, E. S. Leland, J. Baker, E. Carleton, E. Reilly, E. Lai, b. Otis, J. M. Rabaey, P. K. Wright, v. "Sundararajan, Improving power output for vibration-based energy scavengers," Pervasive Computing, IEEE, vol. 4, issue 1, pp. 28-36, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1109/MPRV.2005.14>
- [6] Whelan, P. M.; Hodgson, M. J., "Essential Principles of Physics (2nd ed.)", 1978.

- [7] Nave, Carl R. "Faraday's Law," HyperPhysics, Georgia State University. Retrieved 29 Aug. 2011.

김 진 호(JIN HO KIM)

[정회원]



- 1999년 2월 : 한양대학교 공학사 (기계설계전공)
- 2002년 2월 : 미) U.C. Berkeley 공학 석사(기계공학전공)
- 2002년 9월 ~ 2005년 9월 : 미) U.C. Berkeley 공학 Ph.D.(기계공학전공)
- 2007년 9월 ~ 현재 : 영남대학교 기계공학부 부교수

<관심분야>

초정밀 모터 및 액츄에이터 설계

박 창 형(Chang Hyung Park)

[정회원]



- 2012년 3월 ~ 현재 : 영남대학교 기계공학부 (첨단기계전공)

<관심분야>

초정밀 모터 및 액츄에이터 설계

한 승 철(Seung-Chul Han)

[정회원]



- 2000년 2월 : 영남대학교 기계공학과 (기계공학석사)
- 2007년 2월 : 영남대학교 기계공학과 (기계공학박사)
- 2007년 4월 ~ 현재 : 영남이공대학교 자동차과 부교수

<관심분야>

자동화, 제어공학