

차축 진동 기반 전자기 유도 방식 에너지 하베스팅 연구

A study on the electromagnetic energy harvesting system using the vibration from axle bearings of high speed railroad vehicles

이제윤† · 김재훈* · 오재근**

Jaeyun Lee, Jaehoon Kim and Jaegeun Oh

1. 서 론

철도시스템에 있어 시스템의 고속화는 승객과 열차의 신뢰성과 안전성에 대한 절대적인 향상을 요구하며, 이를 위한 시스템 유지보수 비용의 증가는 또 다른 문제점으로 대두되고 있다. 따라서 시스템 고속화에 따른 신뢰성 및 안전성과 유지보수 비용이라는 두 가지 측면을 모두 충족시키기 위한 새로운 기술개발 노력이 필요하며, 이를 위해서는 철도차량 등의 철도시스템의 지능화가 선결 되어야 한다. 그리고 철도시스템 지능화의 기본은 지속적인 실시간 감지기술 개발에 있으며, 이를 위해 IT 기술이 융합된 지능형 모니터링 시스템 구축이 필요하다. 베어링의 경우 상태 모니터링은 기존 차량에 별도의 유선을 이용한 센서 부착이 어렵기 때문에, 무선 센서의 적용을 필요로 한다. 하지만 장기간의 모니터링을 위해서는 기존 배터리 수명의 한계로 인해 유지보수 업무 등이 수반되어야 하기 때문에 배터리를 대신하여 철도 차량 운행 시 발생하는 주변에너지를 활용할 수 있는 에너지 하베스팅 기술이 대안으로 부각되고 있다.⁽¹⁾ 이에 진동에너지를 전기 에너지로 변환시켜 줄 수 있는 전자기 유도 방식을 이용하여 자가 발전이 가능한 시스템 연구를 수행하였다

2. 전자기 유도 에너지 하베스팅 연구

† 교신저자, 교신저자 소속 : 코아칩스
E-mail : 76.jaeyun@gmail.com
Tel : 031-278-7992, Fax : 031-278-7993

* 철도기술연구원

** 코아칩스

2.1 차축 진동 환경 측정

진동 기반의 에너지 하베스팅 설계를 위해서는 적용 대상 환경의 진동 peak 주파수와 크기를 알아야 한다. 이에 실제 주행 중인 고속열차의 차축 베어링에 가속도 센서를 부착하여 진동 에너지를 측정, 분석을 수행하였다.

실차를 대상으로 측정하기 위해 차축 베어링에 1축 가속도 센서를 이용하였고, 1k sampling으로 데이터 취득하였다. 주행 차량에서 측정된 데이터의 주파수 분석을 통해 차량에서 발생하는 진동 주파수와 그 크기를 분석한 결과는 Fig.1과 같다.

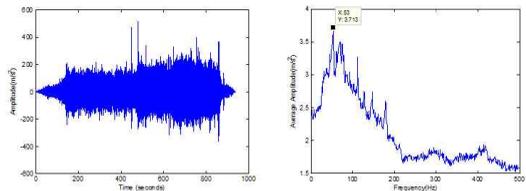


Fig.1. Axle bearing's acceleration and Average amplitude according to FFT of the acceleration

측정 결과 RMS 가속도는 46.5m/s^2 , peak 주파수는 53Hz이고, 이 때 평균 가속도는 3.71m/s^2 임을 확인하였다.

2.2 전자기 유도 방식 에너지 하베스팅 연구 (1)이론적 배경

진동 기반의 에너지 하베스팅 연구를 위해서는 기저 가진 모델을 통한 분석이 필요하다. 이 모델은 Fig.2에서와 같이 스프링-질량-댐퍼 시스템으로, 지지하고 있는 기저가 진동함으로 해서 나타난다. 여기서 스프링과 연결된 질량체는 영구 자석이 되고, 코일부는 기저에 고정 형태를 띄게 된다.

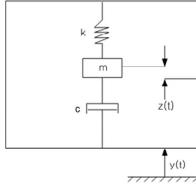


Fig.2. Schematic of the energy harvester

Fig.2.의 스프링-질량-댐퍼를 표현하는 운동 방정식은⁽²⁾

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = -m\ddot{y} = m\omega^2 Y \sin(\omega t) \quad (1)$$

와 같다. 식(1)의 방정식 해인 질량체의 변위를 미분하여 질량체의 속도를 구할 수 있고, 질량체의 속도 변화는 주변 코일에 자기력 선속의 시간적 변화에 영향을 주게 되고, 코일에 감긴 전선 수에 비례하여 전자기 유도가 된다. 유도된 전압의 크기는 식(2)와 같다⁽³⁾.

$$V = -N \frac{d\phi}{dt} = -N \frac{d\phi}{dx} \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

유도된 전압과 코일의 내부 저항, 그리고 외부 저항에 의해 자가 발전 시스템에서 생성되는 전력량을 예측할 수 있게 된다.

(2) 실험 및 결과

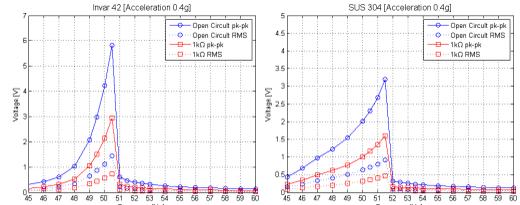
전자기 유도 방식 에너지 하베스터의 설계를 위해 Beam-mass 구조를 적용하였다. 이를 위해 적용된 외팔보의 재질은 SUS304와 Invar42이다. 각각 0.4g의 조건에서 주파수에 따른 전압 측정 및 부하 저항을 이용하여 최대 전력을 측정하였다. 아래 Table 1은 제작 설계 사양을 보여준다.

Table 1 Electromagnetic Energy Harvester Spec.

Property	Spec.
Main Frequency	51Hz
Beam material	Invar42 & SUS304
Beam Dimension	46 X 10 X 0.5mm
Magnet	10 X 5 X 2mm(6ea) Nd계열
Coil	0.075mm, 2000turn

SUS304의 경우 0.4g 가속도 인가시 45Hz에서 60Hz까지 주파수에 따른 전압 측정 결과 공진 주파수 51.5Hz에서 최대 전압 3.19V가 발생하였고, 전력 발생량은 내부저항 960Ω과 유사한 1kΩ의 저항에서 최대 전력 0.211mW가 생성되었다. 또한 Invar42는 0.4g 가속도 인가시 공진 주파수 50.5Hz에서 최대 전압 5.82V가 발생하였다. 최대 전력 발

생량은 내부저항 960Ω과 유사한 1kΩ의 부하 저항에서 0.52mW가 생성되었다.



(a) Invar42

(b) SUS304

Fig.3. Generated voltage according to input frequencies

3. 결 론

주행 중 철도 차량의 차축 진동을 이용한 에너지 하베스팅 시스템 연구를 위해 적용 대상의 진동 환경을 측정, 분석하고, 이를 바탕으로 진동형 에너지 하베스터를 설계 제작하였다. Invar42와 SUS 304 재질을 사용하여 외팔보를 제작하였는데, Invar 42를 적용할 경우 높은 전력 생성이 가능함을 알 수 있었다. 이에 효율이 높은 Invar42 모델을 실제 차량 적용을 통해 실 환경에서 공진 모드 에너지 하베스팅 시스템을 검증할 계획이다.

후 기

This work was supported by Research Program[B551179-12-07-00] funded by the Korea Research Council for Industrial Science & Technology(ISTK).

참고 문헌

- (1) Jaehoon Kim, Jaeyun Lee., 2011, "A Feasibility Study on the Energy Harvesting Technology for the Real-Time Monitoring System of Intelligent Railroad Vehicle," *Trans. Korean Soc.Mech.Eng.B*, Vol. 35, No. 9, pp. 955-960.
- (2) C. B. Williams and R.B. Yates (1996). "Analysis of a micro-electric generator for microsystems." *Sensors and Actuators*, A(52), pp. 8-11.
- (3) Giorgio Rizzoni (2004). *Principles and Applications of Electrical Engineering*, 4thed., McGraw-Hill, New York, Chapter 16, pp.788-790.