

휴대용 기기 충전용 소형 선형 발전기 특성 해석

최호용, 정상용, 정현교, 최양승, 최규만
서울대학교 전기공학부, 원모콜㈜

Performance Evaluation of Permanent Magnet Linear Generator
For Charging the Battery of Mobile Apparatus

Ho-Yong Choi, Sang-Yong Jung, Hyun-Kyo Jung, Yang-Seung Choi, Kyu-Man Choi
School of Electrical Engineering, Seoul National University, Onemocall Corporation

Abstract - 본 논문은 휴대용 기기 충전을 위한 영구 자석형 선형 발전기의 특성 해석을 담고 있다. 발생된 전력의 크기와 용량, 충전 시간 측정을 포함하고 있으며, 전압 평활화에 따른 결과 역시 고려하였다.

1. 서 론

최근 들어 사회적으로 환경친화적 산업과 기술의 중요성이 점점 강조되고 있다. 특히 휴대용 기기에 사용되는 배터리 소비의 증가에 따라 환경 오염의 위험성이 높아지고 있다. 특히, 사용되는 충전용 배터리는 리튬 등의 오염 물질을 포함하고 있다. 비록, 재충전이 가능한 가역 전지가 있지만 이 역시 수명에 한계가 있어 결국 폐기를 해야만 한다.[1],[2]

본 논문에서는 가역적인 재충전을 이용하는 배터리보다 더 효율적인 새로운 충전 시스템을 제안한다. 영구자석형 선형 발전기는 작은 크기에도 일상 생활 속에서 고출력의 전력을 쉽게 생산할 수 있어 자가발전 랜턴, 휴대 전화, 휴대용 게임기 등 다양한 분야에 응용, 적용될 수 있다. 특히, 이 발전기는 직접 손으로 흔들려 줌으로써 필요한 때 원하는 전력을 생산할 수 있고, 인위적으로 흔들지 않더라도 일상 활동에서 인체의 작은 움직임을 이용해서도 발전이 가능하다.

본 논문에서는 최소 3.3V의 전압을 필요로 하는 LED로 구성된 자가발전 발광장치에 사용되는 선형 발전기의 특성을 나타낸다. 이 발전기는 몇 개의 영구자석이 포함된 원통형 형태의 구조를 가지고 있고, 발생된 전력은 장치를 밝힐 수 있을 정도의 충분한 용량의 커패시터에 저장된다.

이동자 진동시 전기자 반작용이 매우 크므로 이동자의 관성이 매우 커야하며, 또한 자기적 민감도가 큰 외부의 다른 기기에 자기적 영향을 주지 않아야 하므로, 외부 누출 자계가 없어야 한다. 따라서 이동자의 중량, 관성 특성 및 자기장 차폐 역시 설계에 고려되어야 한다.

본 논문에는 공간고조파법을 이용한 해석적인 방법과 유한요소법 및 실험을 통해 해석해의 엄정성을 나타내었으며, 전압 평활화, 운동 패턴에 따른 특성 및 충전 시간 측정도 포함되어 있다.

2. 본 론

2.1 영구 자석형 선형 발전기

2.1.1 공간고조파법을 이용한 자계 해석

일반적으로 원통형의 영구 자석형 선형 발전기는 그림 1과 같이 경방향으로 자화된 자석과 환형으로 권선된 전기자 코일로 이루어져 있다.

자기 특성을 해석하는 데에는 제한된 자석 정렬에 따른 정보를 포함하는 등가 자화 전류 밀도가 적용된 공간고조파법을 이용하였다.[3],[4]

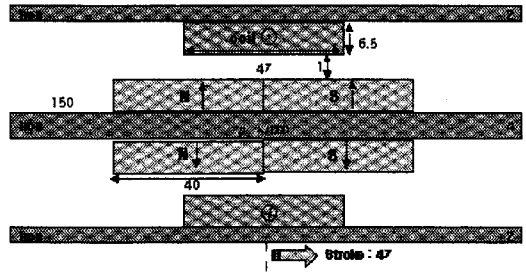


그림 1. 영구 자석형 선형 전동기의 단면

영구자석의 등가 자화 전류 밀도는 다음과 같다.

$$J_m(x) = -\frac{n\pi}{\tau_e} (\pm) H_c h_m \sum_n a_n \cos \frac{n\pi}{\tau_e} x \quad (1)$$

$$a_n = \frac{2}{\tau_e} \int_{-\frac{\tau_e}{2}}^{\frac{\tau_e}{2}} (\pm) H_c h_m \sin \frac{n\pi}{\tau_e} x dx$$

τ_e : 변형된 반파장

따라서 자석에 의한 자계 해석 일반해는 다음과 같이 유도된다.

$$A_m(x) = \mu \sum_n (A_n e^{nK_m x} + B_n e^{-nK_m x} + \frac{\tilde{J}_m}{n^2 K_m^2}) \cos nK_m x \quad (2)$$

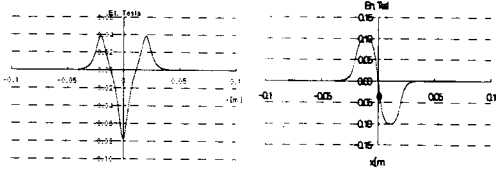
$$K_m = \frac{n\pi}{\tau_e} \quad \tilde{J}_m \text{은 } J_m(x) \text{의 크기}$$

그림2의 (a)는 식(2)에서 유도된 두 영구 자석의 자장 밀도이며, (b)는 유한요소법으로 풀이한 결과이다. 이 두 그래프는 거의 일치하며 따라서 이 경우에서 공간고조파법에 의한 해석의 엄정성을 증명할 수 있다.

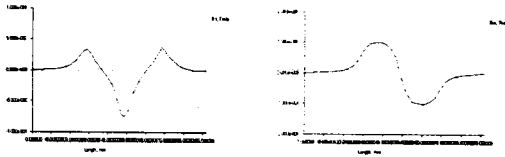
2.1.2 기전력

움직이는 자석이나 권선에는 이동 속도에 따른 기전력이 발생한다. 이동자가 선형으로 진동함에 따라 환형 권선의 쇄교 자속이 변화하게 되고, 기전력이 발생하여 전력 전달이 이루어지게 된다. 기전력의 최대값은 권선이 자석의 중앙에 위치할 때 발생하게되며 이동자의 속력이 클수록 최대 기전력값은 증가한다.

선형 발전기에 부하가 연결되면 권선에 유도된 기전력에 의해 이동자의 움직임을 방해하는 방향으로 추력이 발생한다. 따라서 이동자는 반대 방향의 추력을 이길 수 있도록 큰 기계적 관성을 가져야만 한다.



(a) 공간고조파법에 의한 결과



(b) 유한요소법에 의한 결과
그림 2. 선형 발전기의 자속 밀도

기전력 계산은 각각의 권선에 대해 이루어진다. 각각의 권선에 대한 쇄교 자속을 구한 후 모든 권선에 대해서 더한 후에, 이 쇄교 자속을 시간에 대해 미분하면 총 기전력 값을 구할 수 있다. 계산 시간이 오래 걸리기는 하나, 정확한 결과를 유도할 수 있다. 유한요소법에서는 공간고조파법에서 권선에 해당하는 모든 요소들의 중앙 노드들 사이 영역의 등가 쇄교 자속을 식 (3)과 같이 요소의 넓이로 나누어 주어야 한다.[5]

$$\phi = \frac{d}{S} \sum_e a \cdot (A_1^e + A_2^e + A_3^e) \cdot \Delta^e \quad (3)$$

S : 권선의 전체 면적, d : 권선의 길이

a = ±1 (counterpart), Δ^e : 요소의 면적

그림3과 그림4는 4Hz의 주파수로 운동하는 선형 발전기의 한 주기 동안의 기전력 변화를 공간고조파법과 유한요소법을 이용해 구한 결과를 나타낸 것인데, 두 결과는 거의 동일함을 알 수 있다.

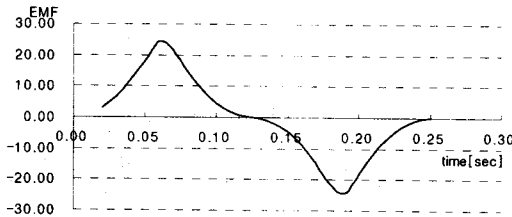


그림 3. 공간고조파법을 이용해 구한 기전력

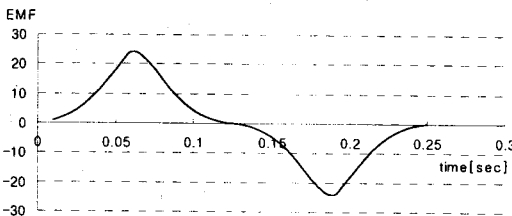


그림 4. 유한요소법을 이용해 구한 기전력

2.2 휴대용 기기용 선형 발전기

2.2.1 휴대용 발광 장치

휴대용 기기는 다양한 종류가 있지만, 짧은 충전 시간에 긴 시간 사용 가능한 자가발전 능력을 갖춘 휴대용 랜턴은 실생활에 매우 유용할 것이다. 그림5는 영구 자석형 선형 발전기를 장비한 랜턴의 단면도이다.

여기에 사용된 자석은 최대 표면 자속 밀도가 0.55(T)이고 축방향으로 자화된 4개의 영구 자석으로 이루어져 있다. 그림5에서 보이는 것처럼, 최대 표면 자속 밀도가 0.21(T)인 자석이 스프링을 장비한 것과 같은 반발력을 주기 위해서 한쪽 끝을 차단하고 있다. 권선은 850회씩 두 층으로 감겨 있어서 연결 회로의 입력 저항이나 발생하는 전력에 따라 직렬이나 병렬로 연결 가능하다.

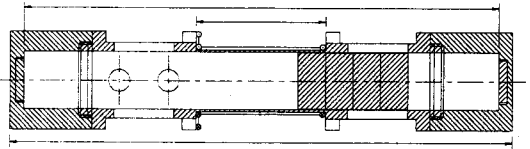


그림 5. 자가 발전 장비를 갖춘 휴대용 발광 장치

그림 6은 충전 전압에 따른 결과를 권선이 직렬, 병렬 연결되었을 경우에 따라 비교한 것이다. 권선이 두 층으로 감겨 있으니 연결 방법에 따라 다른 결과가 나온다. 위에서 보듯, 병렬로 권선을 연결했을 경우의 최대 발생 전력값이 1.1(W)로 직렬 연결했을 때의 0.922(W)보다 더 크게 나온다.

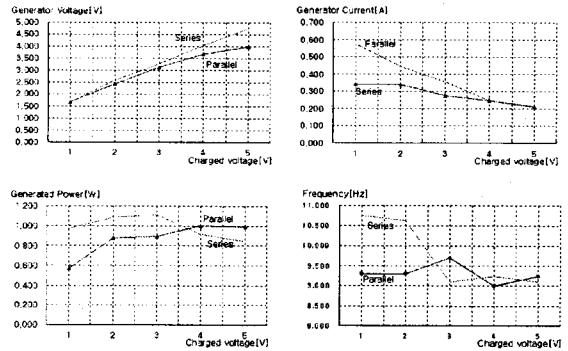


그림 6. 권선의 직렬, 병렬 연결의 따른 결과 비교

2.2.2 전압 평활화 회로

위에서 제시된 선형 발전기는 정류 회로에서 일반적으로 사용되는 전압 평활화 회로에 연결된다. 그림 7은 이 회로도를 나타내고 있으며, 충전 커패시터 C1의 용량은 2F 이다.

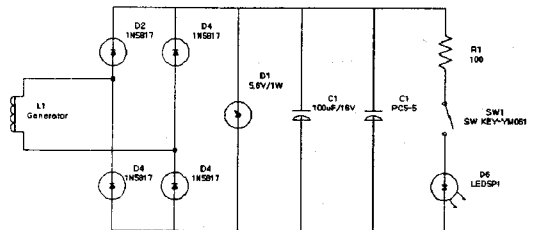
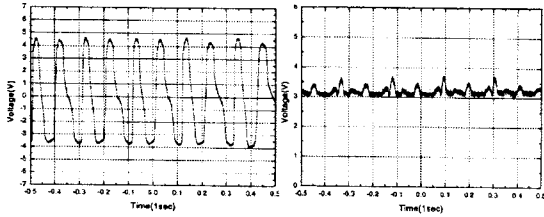


그림 7. 선형 발전기와 연결된 회로도

이 회로가 발전기에 연결되면 발광 장치의 부하인 LED가 연결되었을 때의 전력 발생 특성을 알 수 있으며, 전기자 반작용 문제 역시 발생할 수 있다.

그림8은 병렬 연결된 선형 발전기에 부하를 연결 했을 때 전압 평활화의 결과를 나타내고 있다. 부하에 필요한 최소 전압은 3[V]이며 그림 8의 결과는 저항 양단에서 측정된 값들이다. 리플이 없는 평활화 된 전압이 선형 발전기에서 부하로 전력을 전달하는 데 효율적이다. 따라서 선형 발전기에서 시간에 따라 일정하도록 원하는 역기전력 파형을 얻기 위해서는 권선과 자석의 위치 및 정렬에 초점을 맞추어야한다.



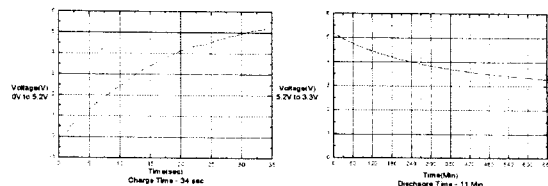
(a) 평활화 이전의 전압 (b) 평활화 이후의 전압

그림 8. 부하를 포함한 전압 평활화 결과

2.2.3 충전 및 방전 시간

휴대용 기기에서의 충전 및 방전 시간은 배터리의 수명과 깊은 관계가 있으므로 매우 중요한 요소이다. 본문에서는 휴대용 발광 장치에만 적용되었으나, 만약 충분한 방전 시간이 보장된다면 어떠한 휴대용 기기에도 적용할 수 있다.

그림9의 (a)는 배터리가 완전히 방전된 상황인 0[V]에서부터 발광에 충분한 전압인 5.2[V]까지의 충전 시간을 나타내고 있다. 평균 운동 주파수가 9[Hz]일 때 34[sec]의 시간이 걸린다. 그림9의 (b)는 5.2[V]에서 LED 장치를 동작시킬 수 있는 최소 전압인 3.3[V]까지의 방전 시간을 나타내고 있다. 방전 시간은 충전 시간에 비해 매우 긴 11[min] 정도이다. 이 결과로 보아 처음에만 어느 정도 충전이 되어 있다면, 휴대용 기기를 충분한 시간동안 사용할 수 있음을 알 수 있다.



(a) 충전시간(0[V]에서 5.2[V]) (b) 방전시간(5.2[V]에서 3.3[V])

그림 9. 충전 및 방전 시간

그림10은 충전 및 방전 시간 외에 재충전 시간까지 포함하여 나타낸 결과 그래프이다. 3.3[V]에서부터 5.2[V]까지의 재충전 시간은 겨우 13[sec]이다. 즉, 랜턴을 사용 중에 불빛이 약해졌을 경우, 짧은 시간동안만 흔들어 발전을 해주게 되면 다시 충분한 밝기로 복원될 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 휴대용 기기의 배터리 충전을 위한 영구 자석형 선형 발전기의 특성 해석을 하였다. 제안된 선형 발전기는 휴대용 기기의 전력 시스템에 매우 유용하게 사용될 수 있으며, 환경친화적 기술을 요하는 배터리 시스템에 새로운 방향을 제시할 수 있다.

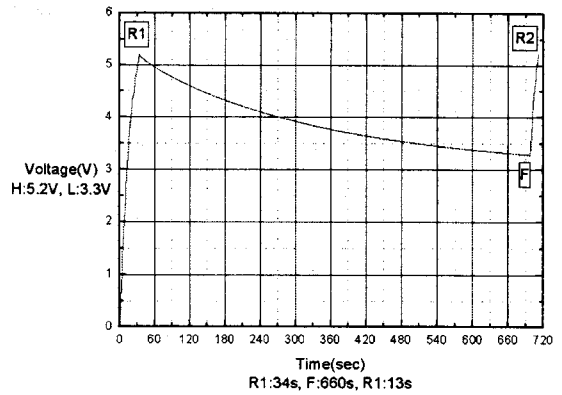


그림 10. 충전, 방전 시간 및 재충전 시간

공간고조파법과 유한요소법을 이용하여 자계 해석과 역기전력 계산을 수행하였다. 두 방식으로 계산된 자속 밀도와 역기전력 결과는 거의 일치함을 확인할 수 있어, 해석 결과의 엄정성을 나타낼 수 있다. 실제 휴대용 기기의 예로서, 휴대용 발광 장치에 대한 실험 결과를 나타냈으며, 여기에는 권선 연결에 따른 실험 전압 변화와 부하를 고려한 전압 평활화 결과, 충전 및 방전 시간이 포함되어 있다.

이러한 결과에 이어, 앞으로는 전기자 반작용에 관한 세부적인 연구와 높은 효율의 새로운 구조의 영구 자석형 선형 발전기의 실용화를 수행할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Fedrigo Caricchi, Fabio Crescimbeni, Onorato Honorati, Giulia Lo Bianco, Ezio Santini, "Performance of coreless-winding axial flux permanent-magnet generator with power output at 400Hz, 3000e/min", IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 34, NO. 6, Noember, 1998
- [2] C.B. Williams and R. B. Yates, "Analysis of a micro-electric generator for Microsystems", Proc. of The 8th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators and Eurosensors IX, pp369-372, Stockholm, Sweden, June 1995
- [3] Sang-Yong Jung, Jang-Sung Chun, Hyun-Kyo Jung, "Performance evaluation of slotless permanent magnet linear synchronous motor energized by partially excited primary current", Proc. of biennial IEEE conference on Electro magnetic field computation, pp399-402, Milwaukee, USA, June, 2000
- [4] Sang-Yong Jung, Jang-Sung Chun, Hyun-Kyo Jung, "Analysis of end-effect of permanent magnet linear synchronous motor energized by partially excited primary current", Proc. of international conference on electric machines, Vol. 1, pp333-337, Espoo, Finland, August, 2000
- [5] Z. Q .Zhu, David Howe, "Instantaneous magnetic field distribution in brushless permanent magnet dc motors, part I : open-circuit field", IEEE Tans. On Magnetics, Vol 29, No. 1 January 1993