

신개념 휴대용 파워팩을 위한 초소형 발전기 설계 연구

정학근, 정봉만, 한수빈, 송유진, 박석인, 이정훈*

한국에너지기술연구원, *서울대학교

Generator Design for the Portable Power Pack

Hak-Geun Jeong, Bong-Man Jung, Soo-Bin Han, Yu-Jin Song,

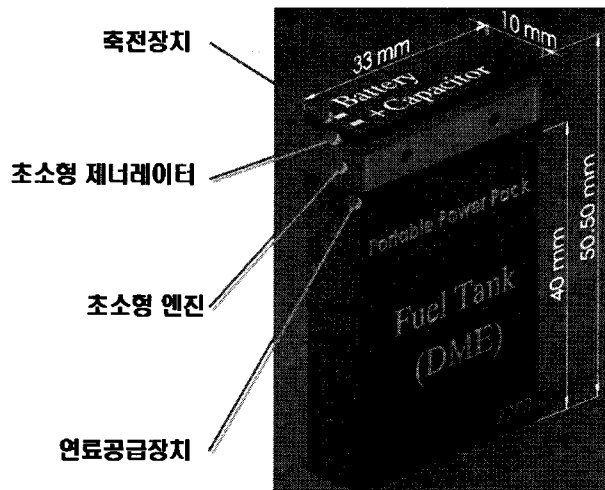
Sukin Park, Junghoon Lee*

Korea Institute of Energy Research, Seoul National University

1. 서론

과거에는 휴대용품의 범위가 호출기, 라디오, 카세트 플레이어, CD 플레이어 등의 비교적 소형-저전력 제품에 제한되었지만, 최근 들어, IT 산업의 눈부신 발전으로 인해 MP3 플레이어, 휴대전화기, 디지털 카메라, 캠코더, 게임기, 심지어 노트북까지 종류가 다양해지고 그 크기가 대형화되는 추세이다. 보다 최근에는 이러한 휴대장비들을 하나로 통합하고자 하는 노력이 진행되고 있고 일부 통합기술을 확보하고 있지만, 아직 해결되지 않은, 그리고 가장 중요한 문제점으로 지적되고 있는 것이 충분한 용량의 휴대용 전원장치 개발이다. 휴대장비의 특성상 이동이 용이해야 하므로 최대한 부피와 무게를 줄여야 하는 이유로, 단위 부피당 에너지 밀도가 큰 전원장치가 필요하게 된다. 그러나, 기존의 배터리는 에너지를 집적화시키기에는 그 한계에 다다르고 있으며, 이로 인해 새로운 개념의 전원장치의 개발이 요구되고 있다.

기존의 배터리를 대체하기 위한 노력으로 마이크로 연료 셀, 마이크로 터빈 등의 기술이 개발되고 있으나 제작공정이 복잡하고 생산 단가가 높다 뿐만 아니라, 이러한 제품은 주로 MEMS 기술을 이용하여야 하기 때문에 수율면이나 내구성면에서 실용화하기에는 다소 제약이 따른다. 따라서 본 연구에서는 제작이 간단하고 내구성 면에서 신뢰할 수 있는 새로운 개념의 휴대용 파워팩을 제안하고 이에 적합한 발전 유닛을 설계하고자 한다. [그림 1]은 새롭게 제안하는 휴대용 파워팩의 구성도이다.



[그림 1] 초소형 파워팩의 구성도 및 크기

새롭게 제안하는 휴대용 파워팩은 초소형 엔진, 엔진에 연료를 공급하는 연료공급장치 기계적 운동을 전기적인 에너지로 변환하는 초소형 발전기 및 외부의 급속한 부하변동에 대응하기 위한 축전장치로 구성된다. 본 논문에서는 초소형 파워팩의 크기에 적용 가능한 리니어 발전기의 구조를 설계하고, 그 성능을 모의실험을 통하여 알아보려고 하였다.

2. 초소형 발전기의 설계

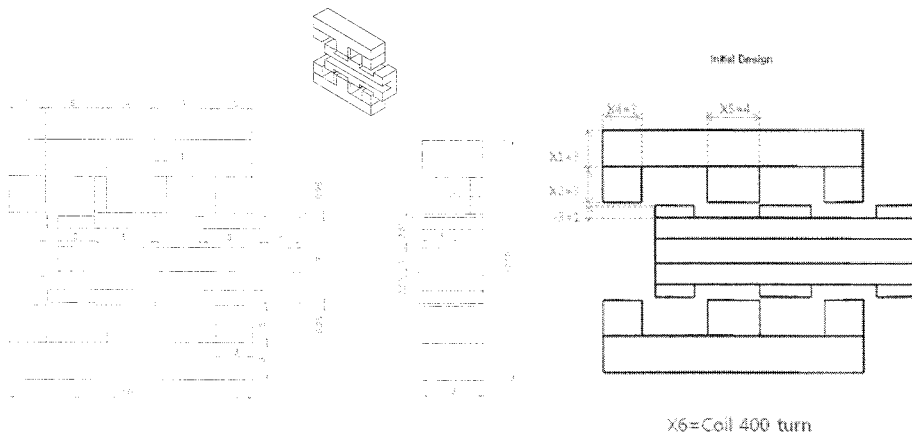
2.1 초기 모델 설정

시간적으로 변화하는 자계는 자계내에 있는 일정한 폐회로에 전류를 흐르게 하는 기전력(electromotive force : emf)을 일으킨다. 이 유도 기전력은 자계내에서 이동시키거나 자계를 변화시킬 때 도체에 발생하는 전압이며, 이러한 현상은 다음과 같이 Faraday의 법칙에 의해 나타내어진다.

$$emf = - \frac{d\lambda}{dt} [V] \quad (1)$$

여기서, λ 는 자속이고 t 는 시간이다. 즉, 유도 기전력은 도체를 통과하는 총자속의 시간변화율과 같으며, 음의 부호를 가진다.

휴대용 전원장치의 발전 유닛의 설계는 [그림 1]과 같은 초기 설계에서 시작한다. [그림 1]에서 보는 것과 같이, 해석 시간을 줄이기 위해 half-model analysis 를 수행하였고, 휴대용 전원장치에서 발전 유닛의 요크는 (20mm X 10mm X 20mm)의 부피 내에서 제작되도록 하였다. 구조가 간단하기 때문에 형상 설계 변수 5개(X1~X5)와 코일 턴수(X6) 만으로 형상이 결정된다. 몇 번의 기호 해석을 통해, 초기값으로 <표 1>과 같이 공극은 0.25mm로 고정시켰으며, 요크의 높이(X1)는 3mm, 자석의 높이(X2)=3mm, 운동자의 극높이(X3)=1mm, 자석의 폭(X4)=3mm, 요크의 극높이(X5)=4mm, 그리고 코일의 턴수(X6)=400 로 정한다.



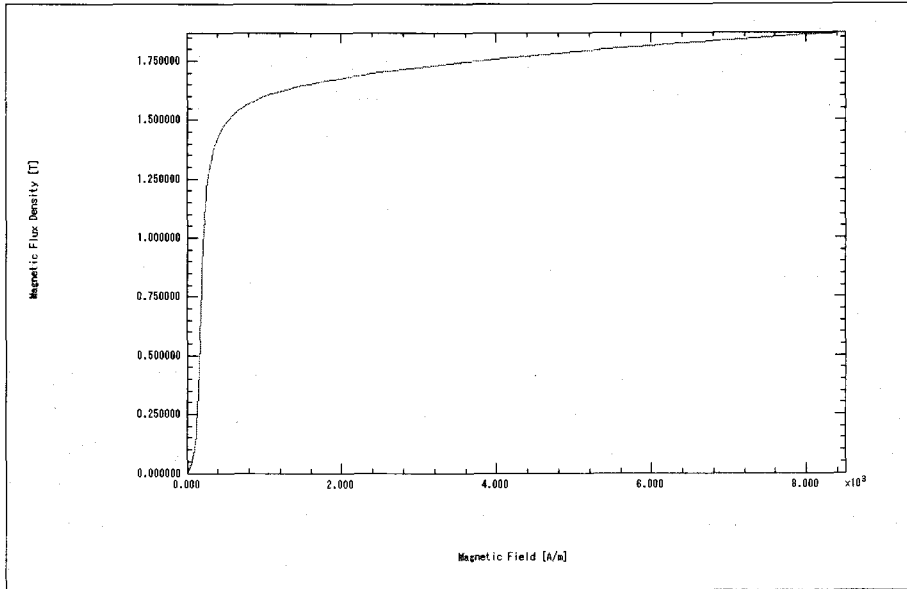
[그림 1] 발전 유닛의 초기 설계

<표 1> 발전 유닛의 초기 설계값

설계변수명	요크의 높이	자석의 높이	운동자의 극높이	자석의 폭	요크의 폭	코일턴수	공극
기호	x1	x2	x3	x4	x5	x6	-
값	3mm	3mm	1mm	3mm	4mm	400turn	0.25mm

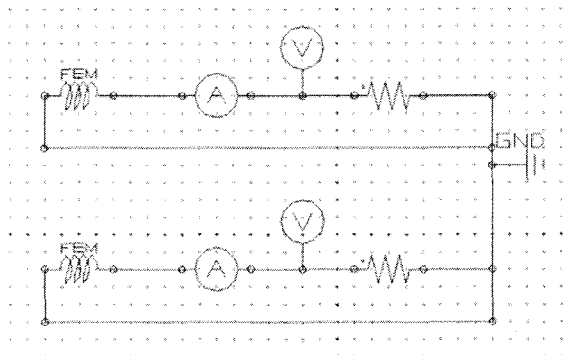
2.2 해석에 사용된 물성치

앞에서는 해석을 수행하기 위한 모델을 생성하였고 여기서는 해석에 사용된 물성치들을 정리하고자 한다. 우선, 요크와 운동자의 재질은 철손을 최소화하기 위해 규소강판(50H1300)을 사용한다. [그림 2]는 50H1300의 비선형 B-H 선도를 보여준다. 유한요소해석에서는 위의 B-H 선도를 이용하여 비선형해석을 수행하게 된다.



[그림 2] 50H1300의 B-H 선도

영구자석은 Nd-Fe-B 재질로 표면자속밀도는 1.3T로 가정하였고, 온도에 따른 표면자속밀도의 변화는 고려하지 않았다. 운동자의 운동속도는 $\pm 11.31\text{m/s}$ 이고 정속으로 펄스구동한다고 가정하였다. 그림 3.에서 보인 전기회로에서 코일은 400 턴 감겨있고, 내부저항은 2Ω 이며, 전압을 측정하기 위한 센싱 저항으로 10Ω 을 채택하였다. [그림 3]에서 위쪽(또는 아래쪽) 회로는 [그림 1]에서 위쪽(또는 아래쪽) 요크에 해당하는 부분이다.

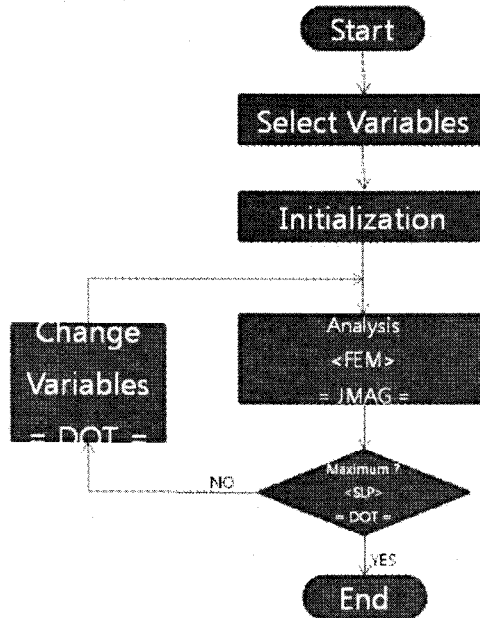


[그림 3] 유한요소해석에 사용된 전기 회로

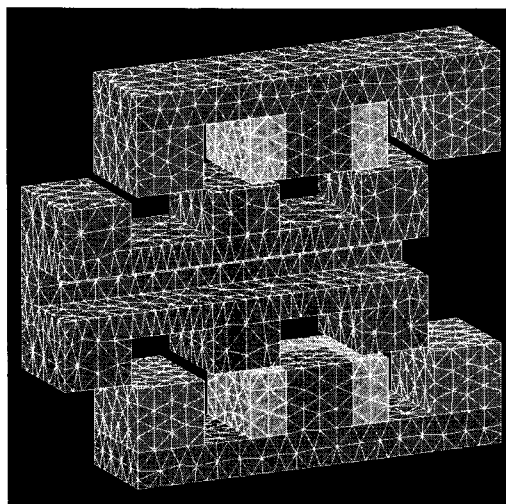
2.3 발전 유닛의 최적 설계

몇 번의 기초 해석을 통해 설계변수 6개($X_1 \sim X_6$)를 선택하였고, 앞에서 초기값을 부과하였다. 이러한 초기설계에 기초하여 최적설계를 수행하였다. 전자기 유도현상을 이용하고 있으므로 3차원 해석을 수행하였고, 해석 시간을 줄이기 위해 half-model에 기반한 해석을 수행하였다.

최적화 문제는 다음과 같이 유도전류의 합이 최대가 되도록 하고, 앞에서 말했듯이 요크의 부피가 $20\text{mm} \times 10\text{mm} \times 20\text{mm}$ 안에 들어가야 하므로 g_1 과 같은 구속조건이 필요하다. $g_2 \sim g_7$ 은 각각의 설계변수의 범위를 규정하는 구속조건이다

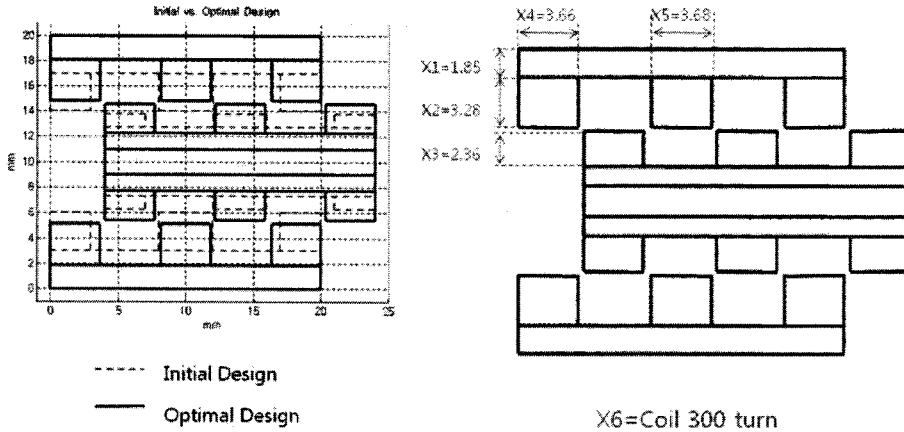


[그림 4] 발전 유닛의 최적설계 흐름도



[그림 5] FEM 해석 모델과 Mesh

총 604회의 iteratin 을 통해 다음과 같은 최종 설계변수값을 구했다

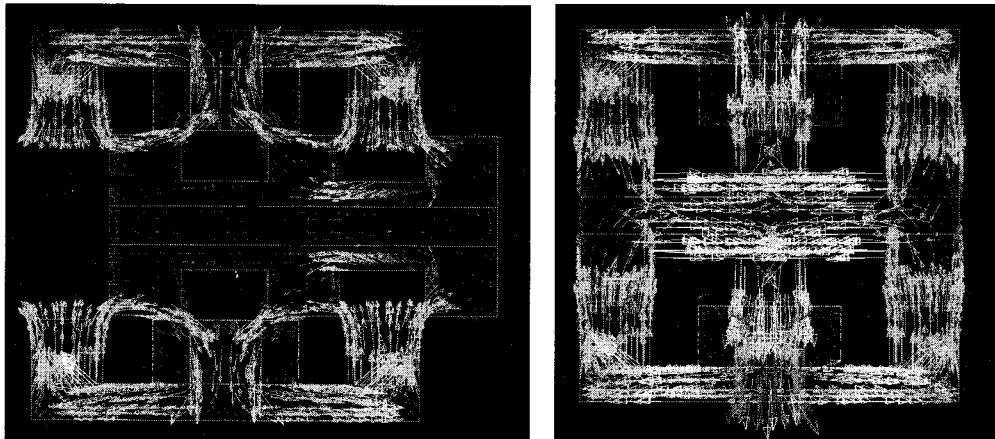


[그림 6] 최적설계 결과

<표 2> 발전 유닛의 최적 설계값

설계변수명	요크의 높이	자석의 높이	운동자의 극높이	자석의 폭	요크의 폭	코일턴수	공극
기호	x1	x2	x3	x4	x5	x6	-
값	1.85mm	3.28mm	2.36mm	3.66mm	3.68mm	300turn	0.25mm

[그림 7]은 비정렬 상태와 정렬 상태에서의 자속선을 비교하고 있다 비정렬 상태에서 자속선이 최소화 되기 위해 요크부의 자석과 요크극의 간격이 운동자 극의 폭과 거의 동일함을 알 수 있고, 정렬 상태에서는 자속선이 최대화 되기 위해 자석의 폭과 요크 극의 폭이 거의 동일함을 알 수 있다.



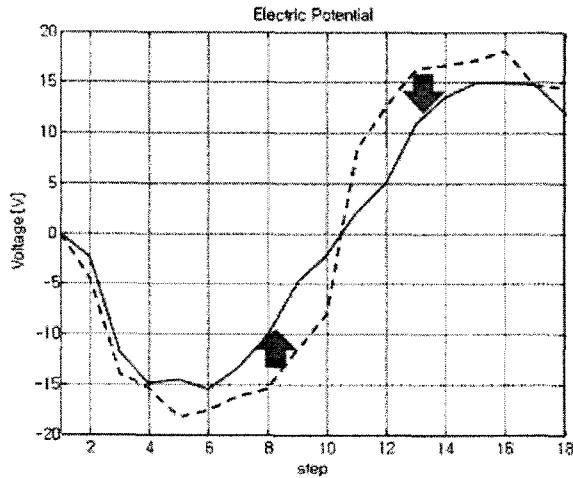
(a) 비정렬 상태에서의 자속선 분포

(b) 정렬 상태에서의 자속선

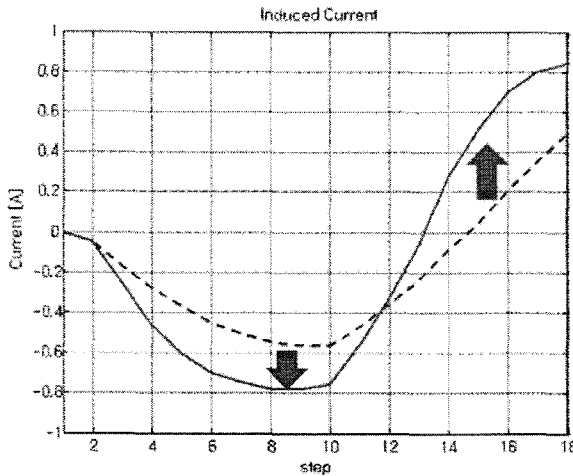
[그림 7] 비정렬 상태와 정렬 상태에서의 자속선 비교

[그림 8]과 [그림 9]는 각각 유도 전압과 유도 전류량을 보여준다. 초기 설계에 해당하는 값이 점선으로 표시되었으며 최적설계에 해당하는 값이 실선으로 표시되었다. [그림 8]에서

유도전압은 다소 감소하였으나 코일의 턴수가 줄면서 동적시스템에서의 인덕턴스가 감소하여 [그림 9]와 같이 유도 전류가 증가함을 알 수 있다. [그림 9]에서 최적설계에서 구한 유도 전류는 초기 설계에서 구한 값보다 peak 값 기준으로 25%증가했고, RMS값 기준으로는 43%가 증가하였다.



[그림 8] 유도된 전압의 파형



[그림 9] 유도 전류의 파형

3. 결론

FEM 해석을 이용하여 초소형 파워팩의 발전 유닛에 대한 최적 설계를 수행하였다. 유도 전압은 코일을 가로지르는 자속의 변화량에 비례하기 때문에, 변화가 가장 크게 설계가 이루어졌다. [그림 6]과 <표 2>에서 알 수 있듯이 자속의 포화를 방지하기 위해 요크의 두께 (X1)가 두꺼워졌고, 극을 통하지 않은 자속의 흐름을 최소화하기 위해 운동자 극의 높이 (X3)가 커졌다. 또, 자석의 폭(X4)과 요크의 폭(X5)은 거의 동일한 치수를 나타낸다. 결과적으로 유도 전압은 다소 감소하였으나, 코일의 턴수가 줄어들어 결과적으로 코일에 발생한 유도 전류는 peak 값 기준으로 25%증가했고, RMS값 기준으로는 43%가 증가하였다.