

전자기형 진동 에너지 하베스터의 레이아웃 비교 연구

Comparison of Layout of Electromagnetic Vibration Energy Harvesters

이한민† · 김영철* · 임재원* · 박성환*

Hanmin Lee, Young-Cheol Kim, Jaewon Lim and Seong-Whan Park

1. 서 론

본 연구에서는 자석과 코일로 구성된 전자기형 진동 에너지 하베스터 두 종류에 대해서 일정 체적 조건 하에서 전력량을 최대화시키는 최적 레이아웃을 도출하고, 이들 간의 비교를 통해 출력에 영향을 주는 요인들을 고찰한다.

2. 최적 설계

전자기형 에너지 하베스터의 일반적인 레이아웃 중에서 자석의 운동방향과 코일의 회전축이 평행하면서 자석이 코일 내부로 들어가지 않는 타입(A 타입)과 자석이 코일 내부에서 진동하는 타입(B 타입)에 대해서 각각 최적 설계⁽¹⁾를 수행하였다. B 타입의 경우 자기력을 크게 하기 위하여 두 개의 자석을 스페이서를 사이에 두고 서로 맞대어 접촉한 형태이다.

전체 체적(V_{constr})은 50cm^3 , 최대 변위(Z_{max})는 2mm , 부하 저항(R_l)은 $1\text{k}\Omega$ 으로 고정된 상태에서 부하 저항에서 계산되는 출력 파워를 최대화시키는 최적 배치를 구하였다.

Figure 1은 A 타입의 형상과 설계변수를 나타낸다. 전체 체적(V_{constr})이 고정되어 있으므로 하우징의 높이(h)가 정해지면 하우징의 반경(R_o)은 정

해지고, 최대 변위(Z_{max})도 고정되어 있으므로 코일의 높이(h_{coil})가 정해지면 자석의 높이(h_{mag})도 정해진다. 따라서 설계 변수를 h , h_{coil} , R_i 로 정하면 전체 형상을 결정할 수 있다. 다만, 최적설계 과정에서 변수의 범위를 명시적으로 지정하기 위해서 h_{coil} 과 R_i 에 대해서는 h_{coil}/h , R_i/R_o 과 같은 비율 형태를 도입하였다.

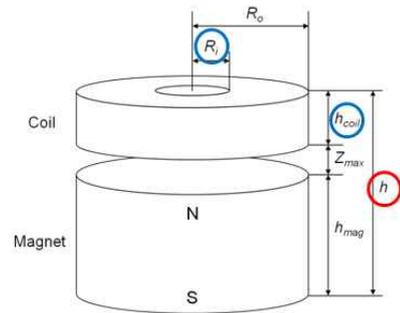


Figure 1 Design variables of type A

Figure 2는 B 타입의 형상과 설계변수를 나타낸다. 설계변수는 A 타입과 유사하지만 두 자석 사이의 스페이서의 높이(h_s)가 추가된 것을 알 수 있다.

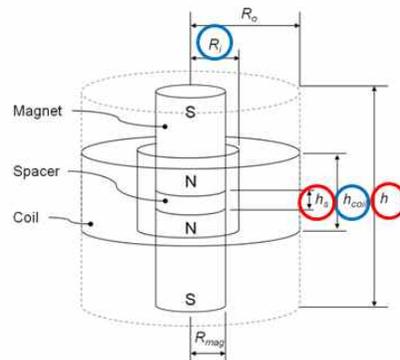


Figure 2 Design variables of type B

† 교신저자; 정회원, 한국기계연구원 기계시스템안전연구본부

E-mail : hmlee@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7812, Fax : 042-868-7186

* 한국기계연구원 기계시스템안전연구본부

Table 1은 최적 설계에 사용한 파라미터의 고정값을 보여준다. 가진 환경은 60Hz, 5m/s²이며, 기계적 감쇠비는 0.01로 가정하였다.

Table 1 Fixed parameters of the overall boundary conditions used for optimization

Item	Symbol	Description	Value	Unit
Geometry	V_{constr}	Construction volume	50	cm ³
	Z_{max}	Maximum inner displacement	2	mm
	$R_{i,min}$	Minimum inner radius	2	mm
Magnet	B_r	Residual flux density	1.1	T
	ρ_{mag}	Density of magnet	7.6	g/cm ³
Coil	k_{co}	Copper fill factor	0.6	-
	d_{co}	Wire diameter	0.1	mm
	R'	Resistance per unit length	2.177	Ω/m
Other	Y_{acc}	Excitation acceleration	5	m/s ²
	f	Excitation frequency	60	Hz
	ζ_m	Mechanical damping ratio	0.01	-
	R_l	Load Resistance	1000	Ω

3. 결과 고찰

Figure 3은 A 타입의 초기 설계안과 최적 설계안의 형상과 자기장 분포에 대한 비교를 나타낸다. 최적 설계안은 초기 설계안에 비해 전체적으로 높이가 늘어난 형상을 얻었으며, 초기 설계안(9mW, 3V)에 비해 출력 전력이 57mW(8V)로 6배 이상 향상된 결과를 얻었다. 전체적으로 높이가 커짐으로써 진동 방향으로의 자속 변화율 (magnetic flux gradient)가 늘어났고 이를 통해 기계-전기 변환 계수가 높아져 출력 파워가 향상된 것으로 분석할 수 있다. 또한, 코일의 높이가 커지고 내경이 줄어들었으므로 코일 단면을 지나는 유효 자속의 수가 늘어난 것도 출력 향상의 원인이라고 볼 수 있다.

한편, Figure 4는 B 타입의 초기 설계안과 최적 설계안의 형상에 대한 비교를 나타낸다. A 타입과 마찬가지로 전체 높이가 늘어났으며, 초기 설계안의 출력 전력이 19mW(4.6V) 정도였던 반면, 최적 설계안은 출력 전력이 32mW(6.6V)로 2배 가까이 향상된 결과를 얻었다. A 타입과 마찬가지로 전체적으로 높이가 커짐으로써 기계-전기 변환 계수가 높아져 출력 파워가 향상된 것을 알 수 있다. 또한,

스페이서는 자속이 포화되지 않고 자연스럽게 흐를 수 있도록 높이가 늘어났으며 이는 보다 효율적인 자기 에너지 활용이라는 측면으로 해석할 수 있다.

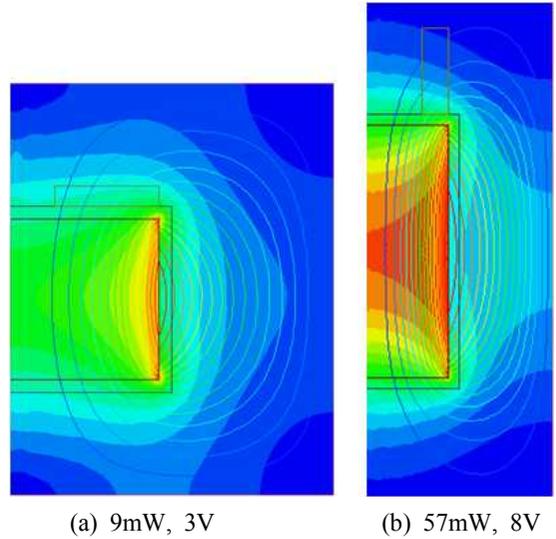


Figure 3 Layout and output performance of (a) Initial design and (b) Optimized design of type A

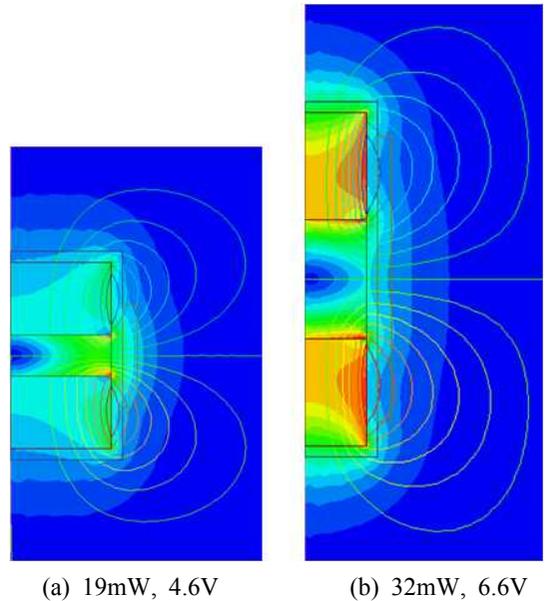
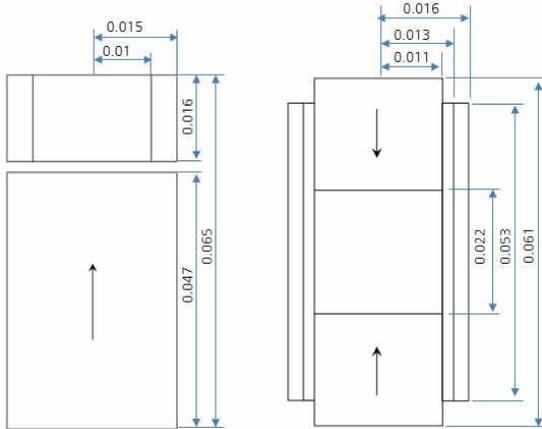


Figure 4 Layout and output performance of (a) Initial design and (b) Optimized design of type B

Figure 5는 A 타입과 B 타입의 최적 설계안에 대한 비교를 나타낸다. 전체 높이와 직경은 유사하

지만, A 타입이 B 타입에 비해 출력 파워와 전압이 더 높은 것으로 나타난다. 이는 기존연구⁽²⁾의 결과와도 일치하며, 일반적으로 같은 조건일 경우 코일 내부에서 진동하는 타입보다는 코일 바깥에서 진동하는 타입이 더 유리하다고 판단할 수 있다.



(a) 57mW, 8V

(b) 32mW, 6.6V

Figure 5 Layout and output performance of optimized design of (a) Type A and (b) Type B

4. 결 론

본 연구에서는 자석과 코일로 구성된 전자기형 진동 에너지 하베스터 두 종류에 대해서 일정 체적 조건 하에서 전력량을 최대화시키는 최적 레이아웃을 도출하고, 이들 간의 비교를 통해 출력에 영향을 주는 요인들을 고찰하였다. 자석이 코일 내부에서 진동하는 타입보다 코일의 바깥에서 진동하는 타입이 더 높은 파워와 전압이 나오며, 두 타입 모두 전체 체적이 일정할 경우 하우징의 반경보다는 높이를 크게 설계하는 것이 출력 전압 및 전력을 최대화할 수 있다는 특성도 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 2013년도 한국기계연구원 자체사업의 지원을 받아 수행한 연구입니다.

참 고 문 헌

- (1) Lee, H., Kim, Y., Lim, J. and Park, S.,

2013, Optimum Design of Electromagnetic Vibration Energy Harvesters Using Finite Element Method, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 337~339.

(2) Spreemann, D., Folkmer, B. and Manoli, Y., 2008, Comparative Study of Electromagnetic Coupling Architectures for Vibration Energy Harvesting Devices, Proceeding of PowerMEMS 2008, pp. 257~260