

원환형 영구자석을 이용한 관성력 발전장치 소형화 설계

Miniaturized Setback Generators Using Ring-Shaped Magnet for Power Supply of Small-Caliber Electronic Fuze

윤상희*

Yoon, Sang-Hee

ABSTRACT

This paper presents miniaturized setback generators based on the conversion of mechanical energy into electrical energy for military applications, especially power supply for electronic fuzes. In order to minimize the volume of setback generators, a ring-shaped magnet enclosing a coil assembly is adopted. A mechanical safety system, shear plate, is used as a release mechanism of the setback generators to prevent the generators from operating accidentally. The setback generators are intended not to ignite an electrical detonator but to charge a capacitor which is capable of driving electronic circuit of fuze. We design the setback generators using the simulation results of an electromagnetic analysis tool, Maxwell[®] 2D. In experimental study, we perform safety tests of the shear plate and firing tests of the fabricated setback generators. The present setback generators show that the voltage of 14.2V is charged at the capacitor of 30 μ F within the charging time of 0.68msec and the critical acceleration for safety is 5,000G, thus verifying that the setback generators with a ring-shaped permanent magnet can be applicable to the power supply of small-caliber electronic fuze.

주요기술용어(주제어) : Electronic Fuze(전자식 신관), Firing Test(발사시험), Miniaturization(소형화), Setback Generator(관성력 발전장치), Shear Plate(전단판)

1. 머리말

최근 전자공학의 발달로 인하여 신관의 발전추세가 기계식 신관에서 전자식 신관으로 변화됨에 따라 신관의 전자부를 구동하기 위한 전원에너지의 개발은 신관 연구에 있어 필수불가결한 요소가 되었다. 소구

경 신관용 전원의 요구조건으로는 신관 운용시간에 부합하는 충분한 전기적 용량, 소형화, 경량화, 짧은 활성화 시간, 내충격성 및 10년 이상의 저장수명 등이 있다.

현재까지 사용된 신관용 발전장치로는 풍력 발전기(wind-driven generator)^[1], 가스 발전기(gas-driven generator)^[2], 압전식 발전기(piezoelectric generator)^[3], 및 보존형 전지(reserve battery)^[4] 등이 있었다. 상기 신관용 전원장치 중에서 풍력 발전기와 가스 발전기는 소형화 및 경량화가 어려우며,

† 2005년 5월 16일 접수~2005년 6월 7일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD) 기술연구본부 3부 4팀

주저자 이메일 : shyoon@add.re.kr

압전식 발전기는 발생전압은 높지만 충전과정에서의 손실이 크며, 보존형 전지는 활성화 시간이 길고 제조단가가 높은 문제점을 가지고 있었다. 영구자석과 코어에 권선된 유도코일 조립체로 구성되어, 탄 발사시 영구자석의 기계적 에너지(관성력)를 패러데이 법칙에 기초하여 전지적 에너지로 변환시키는 관성력 발전장치는 신관 전원의 일반적인 요구조건을 만족시키고 있다. 참고로 현재까지 관성력 발전장치는 대구경 충격신관의 전기식 기폭관에 대한 기폭에너지원으로 적용되거나 중구경 신관의 구동에너지원^[5]으로 활용예정인 것으로 알려져 있다. 이러한 관성력 발전장치는 무기체계 적용시 적당한 안전장치(release mechanism)가 필요하고 소구경 전자식 신관에 적용하기 위해서는 소형화 및 경량화가 요구되며 신관 전자부의 안정적인 구동을 위해 충전에너지를 극대화시켜야 하는 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서 설계 및 제작한 원환형 영구자석을 이용한 관성력 발전장치는 다음 3가지 특성을 가지고 있다. 첫째, 관성력 발전장치의 소형화 및 경량화를 위해 원통형 영구자석 대신에 원환형 영구자석(ring-shaped magnet)을 적용한다. 둘째, 관성력 발전장치가 신관을 저장 및 운반하는 동안에 부주의에 의해 작동하는 것을 방지하기 위해 전단판(shear plate)이라는 안전장치를 적용한다. 셋째, 관성력 발전장치의 에너지는 전기식 기폭관을 작동시키기 위한 것이 아니라 신관 전자부의 구동에너지(driving energy of fuze electronic circuit)로 사용하기 위해 충전 커패시터의 용량을 최적 설계한다. 본 논문은 소구경 전자식 신관의 에너지원으로 원환형 영구자석을 이용한 관성력 발전장치를 설계 및 제작하여 발사시험을 수행한 결과에 대해 기술하고 있다.

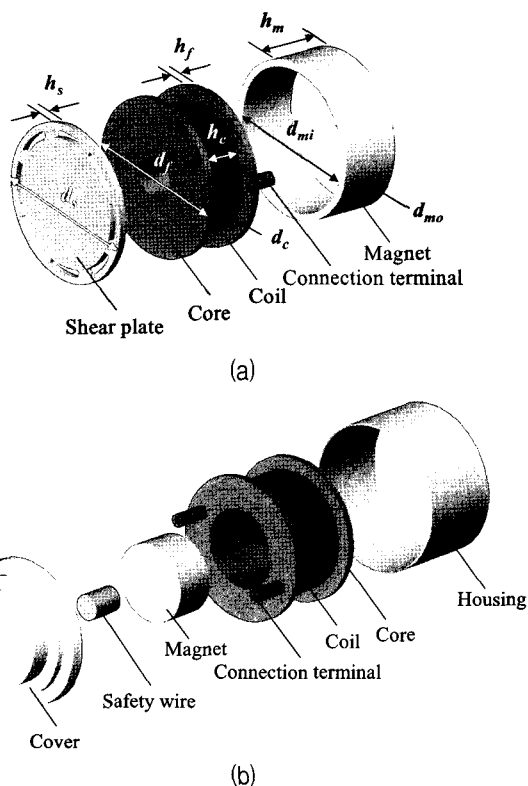
2. 관성력 발전장치의 구조 및 작동원리

일반적으로 관성력 발전장치는 영구자석, 코어 및 유도코일로 구성된다. 관성력 발전장치의 원리는 영구자석이 탄 발사시 고속이동하여 유도코일 주변의 자기장이 변화하면 패러데이 법칙에 의해 코일 양단에 전압이 발생하는 것을 기초로 하고 있다. 관성력

발전장치는 탄이 발사되는 순간에만 작동하기 때문에 발생한 전압은 충전 커패시터에 저장시켜 사용하게 된다.

가. 관성력 발전장치의 구조

본 논문에서 제안하는 관성력 발전장치는 그림 1(a)와 같이 원환형 영구자석, 코어와 유도코일로 구성된 유도코일 조립체 및 전단판으로 구성되어 있다. 원환형 영구자석은 축방향(axial direction)으로 자화되어 있으며 코어에 자속을 포화시키는 역할을 한다. 코어는 유도코일 권선시 틀 역할을 하고 자속을 유도코일에 전달하는 역할을 하며, 전단판은 관성력 발전장치의 안전장치이다. 기존 관성력 발전장치^[6]는 그림 1(b)와 같이 유도코일 내부에 원통형 영구자석을 조립한 구조로 되어 있다. 이런 관성력 발전장치는 신



[그림 1] Structure of the setback generator with
(a) Ring-shaped magnet,
(b) Cylindrical magnet.

관 구성품 조립과정에서 많은 제약이 따르고 공간활용의 효율성이 낮다는 문제점을 가지고 있다. 이는 탄 발사시 영구자석이 신관 후방의 중앙부로 이동하므로 그 공간을 활용할 수 없기 때문이다.

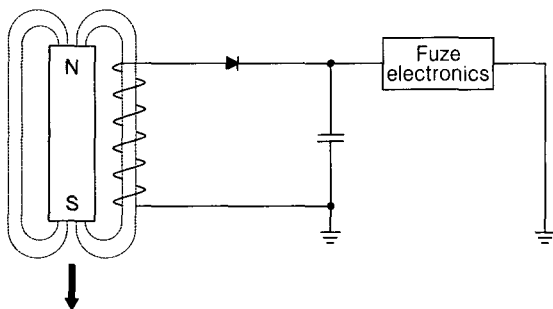
본 연구에서는 사용빈도가 높은 신관의 중앙부를 효율적으로 사용하고 관성력 발전장치의 구조를 단순화하기 위해 영구자석과 유도코일 조립체의 위치를 변경한다. 제안된 구조에서 영구자석은 사용빈도가 낮은 신관 외부로 따라 이동하게 되고 관성력 발전장치의 하우징 및 마개를 탄 구조체와 다른 신관 구성품으로 대신할 수 있는 장점을 가진다. 따라서 관성력 발전장치를 소형화 및 경량화 할 수 있고 부품 수 및 제조단가를 줄일 수 있다.

나. 관성력 발전장치의 작동원리

뉴턴의 운동법칙에 의해 탄 발사시 탄체에 고정된 관성력 발전장치는 탄의 이동방향으로, 관성력 발전장치내의 영구자석은 그 반대방향으로 고속이동하게 된다. 이 때 자기적으로 폐회로를 구성하고 있던 관성력 발전장치에서 그림 2와 같은 영구자석의 움직임에 의해 자속이 변화하게 되고 이 자속의 변화량에 상응하는 유도기전력이 유도코일에 발생하게 된다. 이 유도기전력을 충전커패시터에 저장하여 신관 전자부의 구동에너지로 사용하게 된다.

관성력 발전장치의 기본모델은 식 (1)의 패러데이 법칙에 기초하고 있다.

$$V = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(N A \mu_0 \mu_r H)}{dt} \tag{1}$$



[그림 2] Working principle of the setback generator.

여기서 V 는 유도기전력, Φ 는 자속, N 은 코일의 권선수, A 는 코일의 유효 단면적, μ_0 는 절대 투자율, μ_r 은 상대 투자율이고 H 는 자기장의 세기이다.

식 (1)에서 유도기전력은 코일의 권선수, 코일의 유효 단면적, 코어의 투자율 및 자기장의 세기와 비례하고 또한 자석의 이동속도와 관련이 있음을 알 수 있다. 식 (1)에 의해 발생한 관성력 발전장치의 유도기전력은 충전 커패시터에 저장하여 사용하게 되므로 충전 커패시터의 용량은 저장에너지가 최대가 되도록 결정하여야 한다. 이는 유도기전력이 크게 발생하더라도 충전효율이 낮으면 저장에너지가 작기 때문이다.

그림 3은 관성력 발전장치의 등가회로도이다. 충전 커패시터의 저장에너지를 극대화하기 위해서는 충전 커패시터의 용량에 대해 최적설계를 수행해야 한다. 본 연구에서는 관성력 발전장치에서 발생한 유도기전력이 충전 커패시터에 저장되는 과정을 RLC 직렬연결회로에 반주기 정현파 신호가 가해졌을 때의 반응으로 가정하였다.

유도기전력(V_s)은 식 (2)와 같이 표현된다.

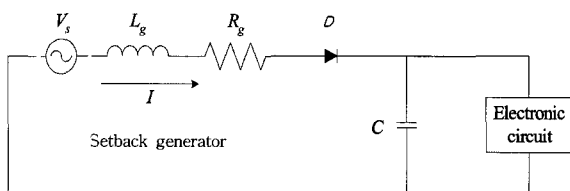
$$V_s = E_0 \sin(\omega t) \quad (0 \leq t \leq \pi/\omega) \tag{2}$$

여기서 E_0 와 ω 는 유도기전력의 진폭 및 주기이다.

등가회로의 반주기 정현파 입력에 대한 반응은 다음과 같다. 단, 본 연구에 사용된 다이오드는 역 회복 시간(reverse recovery time)이 매우 짧고 유도기전력의 주파수는 수백Hz 수준이기 때문에 다이오드에 의한 영향은 무시한다.

$$\begin{aligned} \text{CASE 1: } (0 \leq t \leq \pi/\omega) \\ L_g \dot{I}_1 + R_g I_1 + \frac{1}{C} \int I_1 dt = E_0 \sin(\omega t), \\ I_1(0) = 0, \dot{I}_1(0) = 0, I_1 \geq 0 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} \text{CASE 2: } (\pi/\omega \leq t \leq \infty) \\ L_g \dot{I}_2 + R_g I_2 + \frac{1}{C} \int I_2 dt = 0, \\ I_2(\pi/\omega) = I_1(\pi/\omega), \dot{I}_2(\pi/\omega) = \dot{I}_1(\pi/\omega), I_2 \geq 0 \end{aligned}$$



[그림 3] Equivalent circuit of setback generator.

여기서 L_g , R_g , C , I_c 는 관성력 발전장치 자기회로에서 유도코일 조립체의 인덕턴스, 저항, 커패시턴스 및 전류이다.

식 (3)에 의해 충전 커패시터에 충전되는 전압(V_c)은 식 (4)와 같이 표현되고 저장된 에너지(E)는 식 (5)와 같이 표현된다.

$$V_c = \frac{1}{C} \left(\int_0^{\pi/\omega} I_1 dt + \int_{\pi/\omega}^{\infty} I_2 dt \right) \quad (4)$$

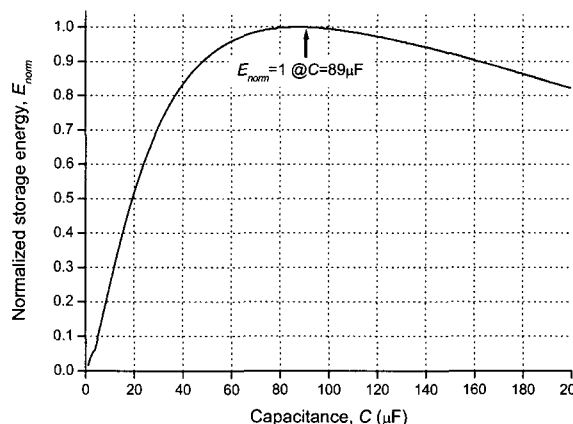
$$E = 0.5 C V_c^2 \quad (5)$$

식 (5)에 의해 충전 커패시터에 저장된 에너지가 최대일 때의 충전 커패시터의 용량은 식 (6)과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial E}{\partial C} = \frac{1}{2} V_c^2 + C V_c \frac{\partial V_c}{\partial C} = 0 \quad (6)$$

식 (3), (4), (5) 및 (6)에 기초하여 충전 커패시터에 저장된 에너지가 최대가 되도록 충전 커패시터의 용량을 결정해야 한다. 그림 4는 유도기전력의 주파수가 500Hz이고 코일 조립체의 인덕턴스는 1.01mH이며 저항이 3.81Ω일 때 표준화된(normalized) 저장 에너지와 충전 커패시터 용량과의 관계를 보여주고 있다.

관성력 발전장치는 사용자의 부주의에 의해 원하지 않는 순간에 동작하는 것을 방지하기 위한 안전장치가 요구된다. 본 연구에서는 탄 발사시 영구자석이 고속 이동하는 특성과 금속의 전단응력 특성을 이용하여 전단판을 적용한다. 전단판은 식 (7)에 의해 재질과 전단면적을 조절하는 것에 의해 작동가속



[그림 4] Normalized storage energy as a function of the capacitor's capacitance.

도(critical acceleration)를 조절할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{m \times a}{A} \quad (7)$$

여기서 τ 는 전단판의 전단응력, F 는 전단면에 접선 방향으로 작용하는 힘, A 는 전단면적, m 은 영구자석의 질량이고 a 는 영구자석의 작동가속도이다.

3. 설계 및 제작

본 연구에서는 2종류의 원환형 영구자석을 이용한 관성력 발전장치를 설계 및 제작한다. 시제 SB4는 직경이 17.7mm이고 높이가 4.1mm이며 중량이 6.0g인 소형화 관성력 발전장치이고, 시제 SB8은 직경은 동일하나 높이가 8.1mm이고 중량이 12.0g인 관성력 발전장치이다.

관성력 발전장치는 표 1에 정리된 소구경 전자식 신킨관의 일반적인 요구조건을 기초로 하여 설계한다. 참고로 충전전압 및 시간조건은 저소모전력형 마이크로프로세서의 구동조건을 기초로 하고 있다.

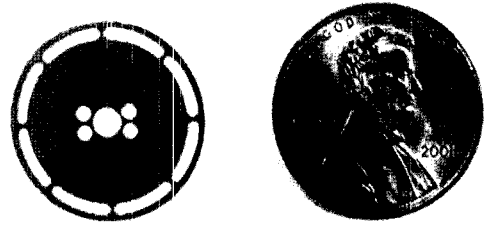
관성력 발전장치 구성품의 설계내역은 다음과 같다. 영구자석은 알리코(Alnico) 자석보다 보자력(coercive force), 최대 에너지적(maximum energy

[표 1] Design requirements of the setback generator used as the opwer source of small-caliber electronic fuze.

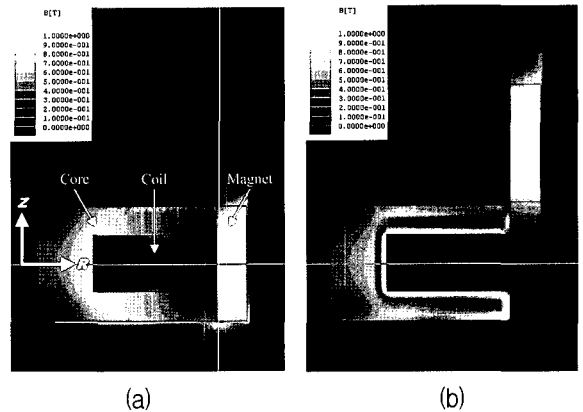
항 목	제 원
직경 / 높이	≤18mm / ≤10mm
중량	≤12g
충전전압 / 시간 @100μF	≥2.0V / ≤1.0ms
작동가속도	≥5,000G

product) 및 경도 특성이 우수한 네오디뮴(Nd-Fe-B) 자석을 적용하며 표면은 니켈 코팅처리를 하여 산화를 방지하고 영구자석의 마찰계수를 감소시킨다. 코어는 자속이 누설되지 않고 유도코일에 전달될 수 있도록 투자율이 큰 황복합 패삭강을 사용한다. 코어 역시 부식을 방지하고 전기절연 및 윤활특성을 고려하여 PTFE 코팅처리를 한다. 유도코일은 제한된 공간에 권선할 때 선경이 가늘면 권선수가 증가하여 유도기전력이 커지지만 이와 동시에 저항이 커져서 충전 커패시터에 충전효율이 저하된다. 유도코일의 선경 및 권선수는 상용 유도코일을 이용하여 제한된 권선공간에서 권선수는 최대화하되 동시에 전기저항이 최소가 되도록 설계하였으며 실험을 통해 SB4는 직경 0.18mm의 코일을 180번 권선하고, SB8은 400번 권선하였다. 전단판은 5,000G 이하의 가속도 환경에서는 관성력 발전장치가 작동하는 것을 방지하고 15,000G 이상의 가속도 환경에서는 완전히 전단되도록 설계한다. 식 (7)을 기초로 두께 2mm의 베릴륨 동판을 적용하여 전단면적이 0.66mm²이 되도록 그림 5와 같이 설계 및 제작한다. 충전 커패시터의 용량은 식 (6)에 의해 결정한다. SB4의 경우 유도기전력의 주파수가 500Hz이고 인덕턴스는 1.01mH이며 저항은 3.81Ω이므로 식 (6)에 의해 저장 에너지가 최대가 되는 충전 커패시터의 용량은 89μF이다. 본 연구에서는 89μF의 근사치인 100μF의 커패시터를 적용한다. SB8의 경우 인덕턴스는 3.91mH이고 저항은 8.34Ω이므로 식 (6)에 의해 최적설치치는 32μF이지만 근사치인 30μF의 커패시터를 이용한다.

관성력 발전장치의 설계에서 영구자석 및 유도코



[그림 5] Photograph of the fabricated shear plate.

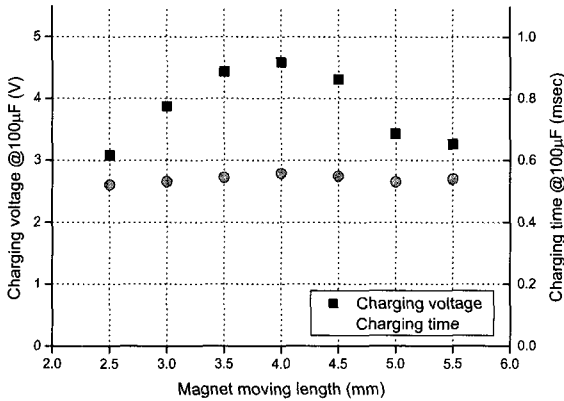


[그림 6] Estimated magnetic flux density distribution around the SB4 in RZ plane (a)Before magnet motion, (b)After magnet motion.

일 조립체의 치수 및 이동거리와 관련된 사항은 전자기장 해석 상용프로그램인 Ansoft사의 Maxwell[®] 2D로 예측한 결과를 기초로 결정한다. 관성력 발전장치에 대한 천이(transient) 해석에서 영구자석은 잔류자속밀도(B_r)이 1.3Tesla이고 보자력(H_c)이 -8.76×10^5 A/m인 Nd-Fe-B자석으로, 코어는 철로, 유도코일은 구리로, 주위는 대기로 모델링한다.

또한 경계조건은 관성력 발전장치 주위에 다른 자기장과 분리된(isolated) 것으로 가정하고 유도코일은 그림 3의 외부회로와 연결된 것으로 설정한다. 외부회로에서 유도코일 조립체의 인덕턴스 및 저항값은 1V, 500Hz 조건에서 측정된 값을 입력한다. 그림 6은 관성력 발전장치를 해석한 결과로 영구자석 동작 전·후의 자속 분포 결과를 보여주고 있다.

영구자석의 이동거리를 결정하기 위해 그림 7과 같이 Maxwell[®] 2D를 이용하여 원환형 영구자석을 이

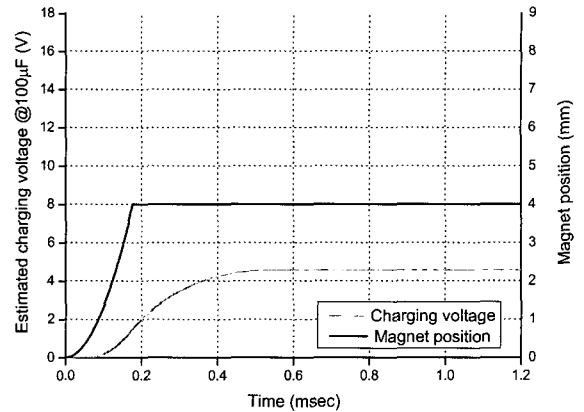


[그림 7] Estimated charging voltage and charging time as a function of magnet moving length for prototype SB4.

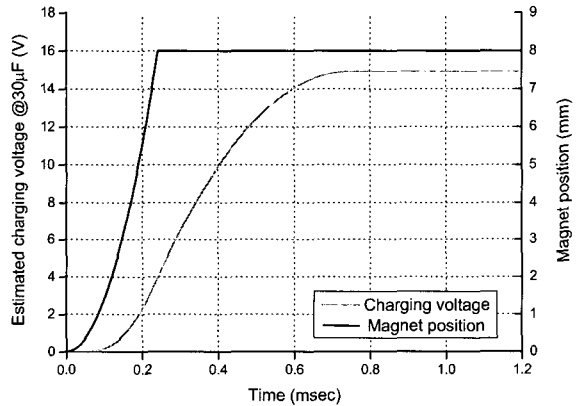
[표 2] Dimensions of the setback generators(Refer to Fig. 1)

구성품	항목	제원	
		SB4	SB8
영구자석	내경, d_{mi}	14.8mm	15.7mm
	외경, d_{mo}	16.8mm	17.7mm
	높이, h_m	3.9mm	7.9mm
코어	플랜지 외경, d_f	14.75mm	15.6mm
	플랜지 높이, h_f	0.7mm	1.0mm
	코어 외경, d_c	6.5mm	7.5mm
	코어 높이, h_c	2.5mm	5.9mm
코일	선경	0.18mm	
	권선수	180회	400회
전단판	외경, d_s	16.8mm	17.7mm
	두께, h_s	0.2mm	
	전단면적	0.66mm ²	
저항		3.81Ω	8.34Ω
인덕턴스		1.01mH	3.91mH

용한 관성력 발전장치의 성능을 예측하고 이를 기초로 SB4는 4mm로, SB8은 8mm로 결정한다. 이는



(a)

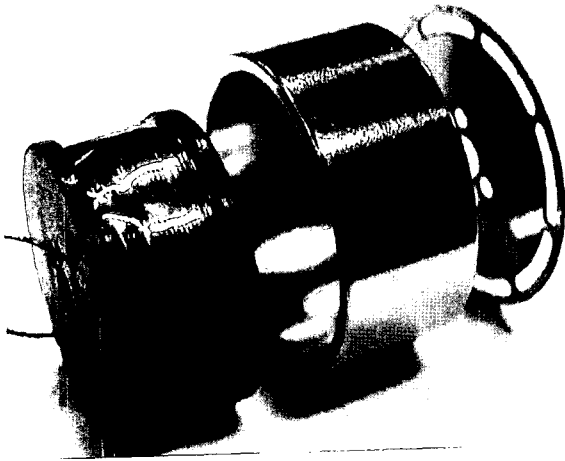


(b)

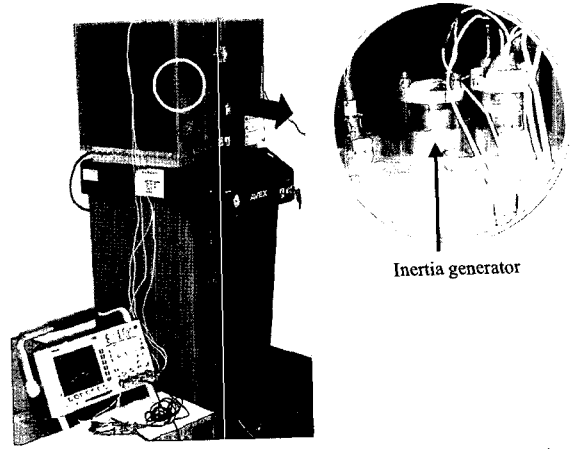
[그림 8] Estimated charging voltage and magnet position as a function of time (a)SB4, (b)SB8.

영구자석이 최초위치에서 영구자석의 길이만큼 이동했을 때 유도기전력이 최대가 되기 때문이다. 그림 8은 SB4와 SB8에 각각 100µF와 30µF의 충전커패시터를 적용한 경우에 Maxwell® 2D로 예측한 충전전압 및 자석 이동거리의 시간곡선이다. 시뮬레이션을 통해 SB4는 100µF의 충전커패시터에 4.6V의 전압이 0.56ms이내에 충전되는 것으로 예측되었으며 SB8은 30µF의 충전커패시터에 15.0V의 전압이 0.70ms이내에 충전되는 것으로 해석되었다. 관성력 발전장치 나머지 구성품의 상세치수도 이와 동일한 방법으로 결정하였다.

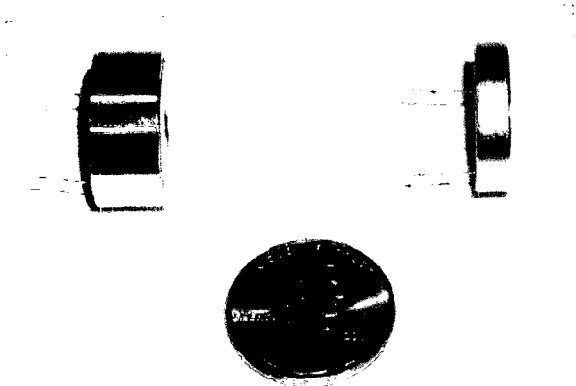
표 2는 관성력 발전장치 구성품의 재질 및 상세치



[그림 9] Photograph of the fabricated setback generator before assembling.



[그림 11] Experimental setup for the shear plate characterization showing enlarged view of sample setback generator.

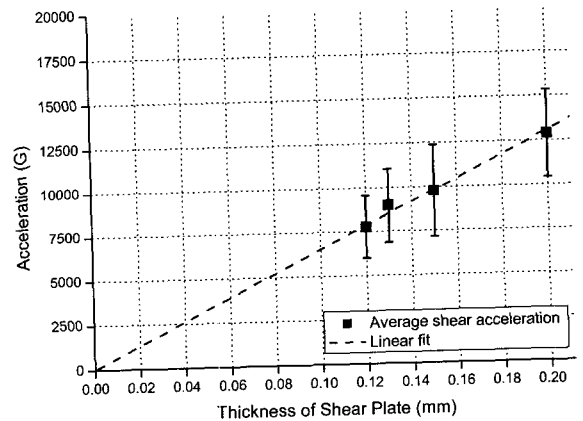


[그림 10] Photograph of the setback generators including SB4(right) and SB8(left).

수 설계내역을 정리한 표이다. 그림 9는 SB8의 조립 전 사진이고, 그림 10은 제작된 관성력 발전장치 시제품인 SB4와 SB8의 사진이다.

4. 시험 및 결과분석

제작한 관성력 발전장치에 대해 2종류의 시험을 진행하였다. 먼저, 전단판 안전시험으로 이는 관성력 발전장치가 5,000G의 안전조건을 만족시키지 여부를 확인하는 시험이고, 다른 하나는 탄 발사시험으로 이는



[그림 12] Measured operational acceleration as a function of shear plate thickness of SB8.

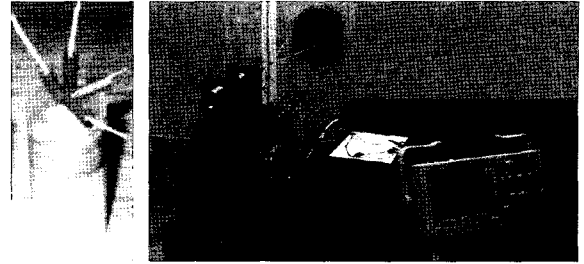
탄 발사환경에서 제작한 관성력 발전장치의 동작특성을 확인하기 위한 시험이다.

가. 전단판 안전시험

그림 11은 전단판 안전시험을 위한 시험구성도이다. 제작한 관성력 발전장치를 공압식 충격장비에 장착시킨 후 0~20,000G 범위의 충격가속도를 가해준 후 관성력 발전장치 전단판의 전단유무를 확인한다.

고충격 반복시험을 통해 5,000G 이하의 충격가속도에 대해서는 전단판이 전단되지 않아 관성력 발전

장치가 오작동하는 것을 방지하고 조립된 상태를 유지시키고 있음을 확인하였으며 15,000G 이상의 충격 가속도에서는 완전히 중단되어 관성력 발전장치가 정상적으로 작동하는 것을 확인하였다. 이는 설계한 진단판이 관성력 발전장치에 대한 작동가속도 조건을 만족시키고 있음을 보여주는 시험결과이다. 그림 12는 SB8 시료에 대해 측정된 진단판 진단가속도와 진단판 두께와의 관계를 정리한 그래프이다. 위와 같은 시험결과를 통해 진단판을 이용한 관성력 발전장치용 안전 메커니즘의 구현은 30,000G 이상의 후진 가속도가 동반되는 탄 발사환경에 적합한 것으로 판단하였다.



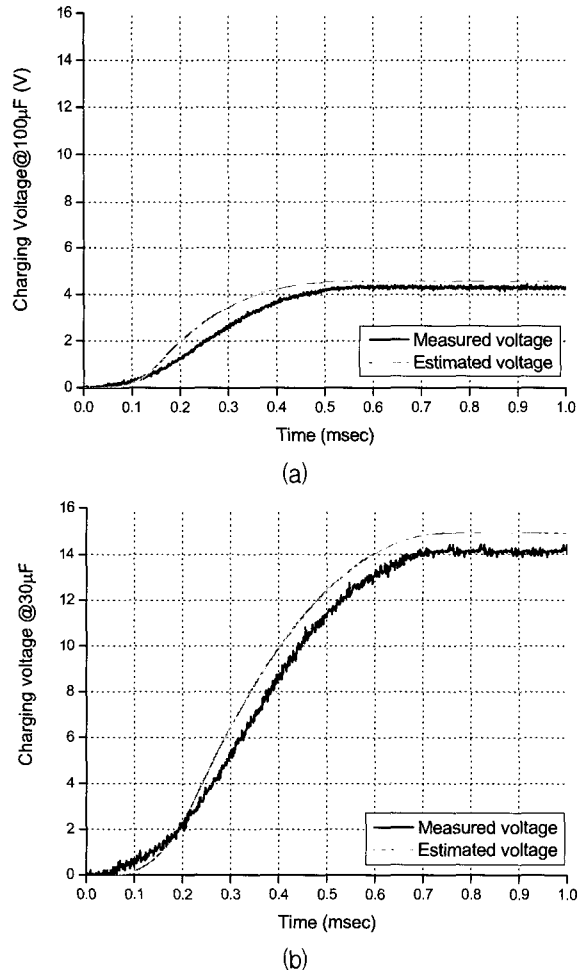
(a) (b)
[그림 13] Characterization of the fabricated setback generators (a)Sample projectile with the setback generator, (b)Experimental setup.

나. 탄 발사시험

설계 및 제작한 관성력 발전장치에 대해 탄 발사환경에서의 동작특성을 확인하기 위해 탄 발사시험을 수행하였다. 발사시험에서 충전 커패시터의 충전시간 및 충전전압을 측정하였다. 그림 13은 탄 발사시험의 시험구성도이다. 탄 발사시 관성력 발전장치의 충전 특성을 측정하기 위해 관성력 발전장치가 조립된 신관시료에서 측정선을 인출하여 충열을 통해 계측기에 연결할 수 있도록 시험장비를 구성하였다.

발사시험 결과 SB4는 100 μ F의 충전 커패시터에 0.57ms이내에 4.3V가 충전되었으며, SB8은 30 μ F의 충전 커패시터에 0.68ms이내에 14.2V가 충전되었다. 이런 시험결과는 저소모전력형 마이크로프로세서를 기반으로 한 소구경 전자식 신관의 구동조건인 1ms 이내에 2.0V이상의 전압충전 조건을 만족시키는 결과이다. 그림 14는 제작된 관성력 발전장치에 대한 발사시험 결과와 Maxwell[®] 2D를 이용한 시뮬레이션결과를 비교한 그래프이다. 측정된 파형과 예측된 파형을 비교해 보면 약 6.9%의 편차를 보이고 있음을 알 수 있다. 그 이유는 시뮬레이션에서 유도코일 조립체의 인덕턴스와 저항값을 1V, 500Hz 조건에서 측정값으로 사용했는데, 발사시험의 유도기전력의 주파수가 500Hz보다 약간 높았기 때문이다. 따라서 예측된 충전파형에서 충전전압이 더 높고 충전시간이 더 길게 해석되었다.

탄 발사시험을 통해 제작한 관성력 발전장치는 소구경 전자식 신관의 에너지원으로의 기술적 활용가



[그림 14] Measured and estimated charging voltages of (a)SB4, (b)SB8.

능성을 확인하였으며, 추가적으로 30,000G 이상의 고충격 환경에 대한 내충격성을 시험적으로 증명하였다.

5. 맺음말

본 연구에서는 소구경 전자식 신관용 전원장치를 개발하기 위해 탄 발사시 수반되는 기계적 에너지를 패러데이 법칙에 기초하여 전기적 에너지로 변환하는 원환형 영구자석을 이용한 소형화 관성력 발전장치를 설계, 제작 및 특성평가 시험을 수행하였다. 제안한 관성력 발전장치는 원통형 영구자석 대신에 원환형 영구자석을 적용하고 전단판이라는 간단한 구속 메커니즘을 개발하여 관성력 발전장치를 소형화 및 경량화 하였고 발생한 전원 에너지를 전기식 기폭관의 기폭에너지가 아닌 신관 전자부 구동 에너지원으로 이용한다는 특징을 가지고 있다. 설계과정에서는 전자기장 해석 상용프로그램인 Ansoft사의 Maxwell[®] 2D로 모델링 및 시뮬레이션을 수행하였고 그 결과를 기초로 최적설계를 수행하여 설계과정에서 있을 수 있는 시행착오를 최소화하였다. 설계 및 제작된 관성력 발전장치에 대해 발사시험을 수행한 결과 30 μ F의 충전 커패시터에 14.2V의 전압이 0.68ms 이내에 충전되는 것을 확인하였다. 이를 통해 원환형 영구자석을 이용한 소형화 관성력 발전장치를 소구경 전자식 신관을 구동에너지원으로의 활용하는 방안의 기술적 적용가능성을 확인하였으며 추가적으로 30,000G 이상의 고충격 환경에 대한 내충격성을 시험적으로 증명하였다. 추후에는 관성력 발전장치의 무기체계 적용성을

향상시키기 위해 영구자석의 자기장 세기를 극대화하기 위한 연구에 심층적으로 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] Military Handbook Active Fuze Catalog, MIL-HDBK-145A, U. S. Department of Defense, 1987, pp. 249~250.
- [2] Lorant, L., and Johnson, N., "Sidewinder Turbine-driven Generator", Symposium on Auxiliary Power for Guided Missiles, vol. 2, 1957.
- [3] Kim, K.-H., Lee, Y.-H., and Lee, S.-W., "Energy Storage Characteristics and System Design of a Piezo-Generators for Small-Arm Fuze", Technical Report, TEDC-419-011191, Agency for Defense Development, 2001, pp. 2~28.
- [4] Peabody, M., Griffin, T., and Outt, K., "Advanced Lithium Oxyhalide Reserve for the M80 PIP Proximity Fuze", NDIA 46th Annual Fuze Conference, San Antonio, 2002.
- [5] Buckley, A., and Freymond, P., "Air Bursting Munition ABM Medium Calibre Applications", NDIA 45th Annual Fuze Conference, Long Beach, 2001.
- [6] Wyser, G., "Projectiles Fitted with an Electric Generator of the Inertia Type", U. S. Patent 3120187, February, 1961.