

지구자기장을 이용한 소구경 탄약 신관용 소형 회전수 계수 센서

윤상희[†] · 이석우 · 이영호 · 오종수

A miniaturized turn-counting sensor using geomagnetism for small-caliber ammunition fuzes

Sang-Hee Yoon[†], Seok-Woo Lee, Young-Ho Lee, and Jong-Soo Oh

Abstract

This paper presents a miniaturized turn-counting sensor (TCS) where the geomagnetism and high-rpm rotation of ammunition are used to detect the turn number of ammunition for applications to small-caliber turn-counting fuzes. The TCS, composed of cores and a coil, has a robust structure with no moving part for increasing the shock survivability in the gunfire environments of $\sim 30,000$ g's. The TCS is designed on the basis of the simulation results of an electromagnetic analysis tool, Maxwell[®] 3D. In experimental study, the static TCS test using a solenoid-coil apparatus and the dynamic TCS test (firing test) have been made. The presented TCS has shown that the induction voltage of $6.5 \text{ mV}_{p,p}$ is generated at the magnetic flux density of 0.05 mT and the rotational velocity of $30,000 \text{ rpm}$. From the measured signal, the TCS has shown the SNR of 44.0 dB , the nonlinearity of 0.59% and the frequency-normalized sensitivity of $0.26 \pm 0.01 \text{ V/T} \cdot \text{Hz}$ in the temperature range of $-30 \sim +43 \text{ }^\circ\text{C}$. Firing test has shown that the TCS can be used as a turn-counting sensor for small-caliber ammunition, verifying the shock survivability of TCS in high-g environments.

Key Words : fuze, geomagnetism, turn-counting sensor

1. 서 론

소구경 탄약은 폭발 위력이 제한적이기 때문에 그 살상 능력을 극대화하려면 목표물 상공에서 정확히 공중폭발해야 한다^[1]. 탄약의 폭발 위치를 결정하기 위해 기존에 적용했던 시한방식^[2]은 탄약의 비행시간이 설정 시간과 일치하는 순간에 탄약을 폭발시키는 방식으로, 이는 외부 환경요인에 의해 총구 속도 편차가 발생할 경우 폭발 위치가 변하는 치명적인 문제점을 가지고 있었다. 최근에 그 대안으로 탄약의 누적회전수가 설정 회전수와 일치하는 순간에 탄약을 폭발시키는 회전수 방식^[3]이 제안되었으며, 이는 탄도학적으로 1회전 당 비행거리는 총구 속도 편차에 둔감하다는 물리적 특성에 기초하고 있다. 따라서 소구경 정밀 탄약을 개발하기 위해서는 소구경 탄약의 회전수를 감지할 수 있는 센서의 개발이 필연적으로 요구된다.

고속 이동하는 비행체의 회전을 감지할 수 있는 기존 센서에는 요 존데(yaw sonde)^[4]와 자이로스코프^[5] 등이 있었다. 요 존데는 작동시 광원이 필요하고 큰 부피를 가지며, 자이로스코프는 동작 범위가 $\sim 50 \text{ rpm}$ 수준이므로 $\sim 50,000 \text{ rpm}$ 의 속도로 회전하는 소구경 탄약의 회전을 감지할 수 없다. 소구경 신관용 회전수 계수 센서는 부피 및 중량이 250 mm^3 , 1 g 이내이고 탄 발사 환경을 고려하여 동작 범위는 $100 \sim 1,000 \text{ Hz}$ 이고 작동 온도 범위는 $-30 \sim +43 \text{ }^\circ\text{C}$ 이며 $\sim 30,000 \text{ g}$ 's의 충격 가속도를 견뎌야 한다^[6].

본 논문에서는 탄약이 지구 자기장내에서 고속 회전하는 비행 환경을 고려하여, 패러데이법칙에 의해 유도 코일에 유기되는 정현파의 전압 신호를 이용하여 탄약의 회전을 감지하며 내충격성 및 잠음 특성이 우수한 소구경 신관용 회전수 계수 센서를 제안하였다. 자기 센서에서 fluxgate^[7], AMR(anisotropic magneto-resistance)^[8] 및 GMR(giant magneto-resistance)^[9] 센서는 구동 에너지가 필요한 능동형(active) 센서로 구동 에너지가 제한되는 소구경 탄약용 신관에 적용할 수 없기

국방과학연구소 신관팀 (Fuze Laboratory, Agency for Defense Development)

[†]Corresponding author: shyoon@add.re.kr

(Received : August 25, 2006, Accepted : October 17, 2006)

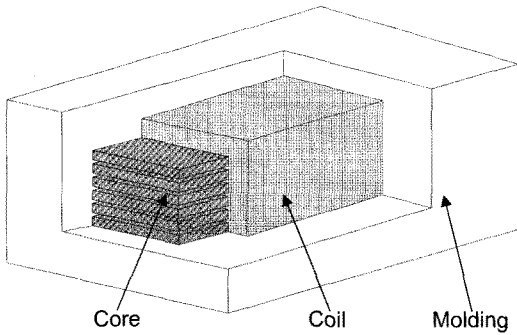


그림 1. 회전수 계수 센서의 구조
Fig. 1. Structure of turn-counting sensor (TCS).

때문에 본 연구에서는 다음과 같은 특징을 가지는 자기 유도 방식의 수동형(passive) 회전수 계수 센서를 설계 및 제작하였다. 첫째, 탄 발사시 필연적으로 수반되는 탄약의 지구 자기장내 고속 회전 환경을 이용하여 별도의 구동 에너지 없이 탄약의 회전수를 계수한다. 둘째, 센서의 구조를 이동 구조물(moving part) 없이 설계하여 30,000 g's의 고충격에 대한 생존성을 극대화하였다. 셋째, 상용 전자기장 해석 프로그램인 Maxwell® 3D의 해석 결과를 이용하여 설계 비용 및 기간을 획기적으로 단축하였다.

2. 구조 및 작동원리

회전수 계수 센서는 그림 1과 같이 내고충격 특성을 극대화하기 위해 이동 구조물 없이 비결정질 코발트 합금으로 이루어진 6개의 박판 코어, 코어를 둘러싸고 있는 유도 코일 및 몰딩재로 구성되어 있다. 고 투자율의 박판 코어는 주변 자속(magnetic flux)을 센서에 집중시켜 감도를 증가시키고 댄들이 전류에 의한 손실을 최소화하며, 몰딩재는 보관 및 취급시 발생할 수 있는 손상으로부터 센서를 보호한다. 회전수 계수 센서의 자기장원은 0.03(적도)-0.06(남·북극) mT의 지구 자기장이다.

회전수 계수 센서의 작동 원리는 그림 2와 같이 강선총(rifled gun)에 의해 발사된 탄약이 지구 자기장내에서 고속 회전하게 되면 탄 내부에 조립된 회전수 계수 센서의 주변 자속이 시간에 따라 변화하고 식(1)의 패러데이법칙에 의해 유도 코일 양단에 정현파 전압 신호가 유도된다. 소구경 회전수 방식 신관은 그 전압 신호를 신호 처리부의 증폭기 및 비교기를 통해 TTL 신호로 변환시킨 후, 그 TTL 신호를 이용하여 탄약의 회전수를 계수하고 그 값이 설정 회전수와 일치하는

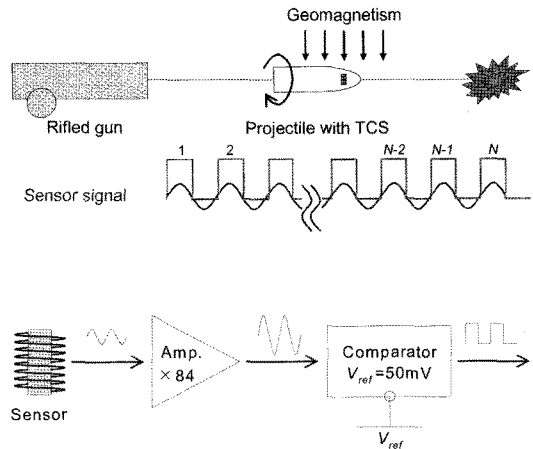


그림 2. 회전수 계수 센서의 작동원리
Fig. 2. Working principle of TCS.

순간에 작동한다.

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

여기서 V 는 권선수가 N 인 코일에 유도된 전압이고, Φ 는 코일 주변의 자속이고, A 는 유효 단면적이고, μ_r 는 투자율이며 H 는 코일 주변의 자기장 강도이다.

3. 설계 및 제작

소구경 신관용 회전수 계수 센서는 신관 내부에 실장될 수 있도록 부피 및 중량을 250 mm³ 및 1g 이내로 경박 단소화하고, 발사 환경을 고려하여 MIL-STD-810E의 표준 온도 환경 조건(-30~+43 °C)^[10]에서 ~30,000 g's의 충격 가속도를 견딜 수 있어야 한다.

회전수계수 센서의 코어는 Metglas® 2714A를 리소그래피(lithography) 및 식각(etching)공정으로 제작하는데, 이는 코어를 기계 가공할 경우 기계적 자극에 의해 코어의 특성치가 저하되기 때문이다. Metglas® 2714A는 내고충격성, 저손실 특성의 비결정질 코발트 합금으로, 0.55 T의 잔류 자석 밀도, 0.57 T의 포화 자속 밀도, -0.4 A/m의 보자력 및 1×10⁶의 자기 투자율을 가지는 물질이며 종래의 코어 재료인 Permalloy에 비해 보자력장(coercive field)이 낮기 때문에 자기 잡음 및 자기 공명으로 인한 성능저하를 줄일 수 있는 특징을 가지고 있다^[11]. 센서의 코어는 와전류에 의한 손실을 최소화하여 감도를 극대화하기 위해 20 μm 두께의 박막형 Metglas® 2714A 6장을 적층시키며, 형상 이방성(shape anisotropy)을 방지하기 위해 모서리는 모따기를 하여

길이 8.0 mm, 폭 2.2 mm의 직방체로 설계한다. 유도 코일 설계시 코일 선경과 권선수 사이에는 tradeoff 관계가 존재한다. 즉, 선경이 작을수록 제한된 공간에 대한 권선수는 증가하므로 고전압이 유도될 것으로 추정되지만, 코일 저항값의 급격한 증가로 인해 실제 유도 전압은 감소하는 현상이 있다^[12]. 코일의 저항은 최소화하면서 유도 전압은 최대화하기 위해 코일의 선경은 실험을 통해 AWG 44(선경 50 μm)로 선정하였다. 물딩재의 경우 상용 물딩수지에 대한 비교 연구를 통해 저·고온 및 고충격 환경에서 기계적 특성이 우수한 Vicrex[®] PEEK로 적용하였으며 부피를 최소화하기 위해 회전수 계수 센서는 표면실장형으로 설계하였다. 신호 처리부는 센서의 출력 전압이 매우 작기 때문에 84배 증폭한 후 비교기를 거쳐서 펄스열을 만들도록 설계했다.

회전수 계수 센서의 설계에서 코어 및 유도 코일은 전자기장 해석프로그램인 Maxwell[®] 3D의 예측값을 기초로 최적치를 결정하였다. 회전수 계수 센서에 대한 시뮬레이션은 3차원, 전이해석 모델을 적용했으며, 회전수 계수 센서는 저자기장에서 저주파수로 동작하므로 코어에서의 손실은 무시했다. 경계 조건으로는 0.05 mT의 지구 자기장(한반도 기준)을 제외한 다른 전자기장과 격리시켰다. 코어, 유도 코일 및 물딩재의 물성은 Metglas[®] 2714A, 구리 및 에폭시의 물성을 적용하였다. 탄 비행 중 센서의 출력 상태를 모사하기 위해 그림 3의 외부 전기회로를 연결시켰으며 저항과 인덕턴스는 1 V, 500 Hz 조건에서 측정된 값을 기초로 각각 31.1 Ω , 4.0 mH로 입력하고, 기생 커패시턴스는 이론추정치를 기초로 0.1 pF^[13]로 결정하였다. 마지막으로 회전수 계수 센서는 0.05 mT의 자기장과 수직 조건에서 30,000 rpm의 속도로 회전하는 것으로 설정하였다. 그림 4(a)는 회전수 계수 센서 주변의 자속 밀도 분포에 대한 해석 결과이며 그림 4(b)는 센서의 출력 전압에 대한 해석 결과로 6.8 mV_{p,p}로 예측되었다.

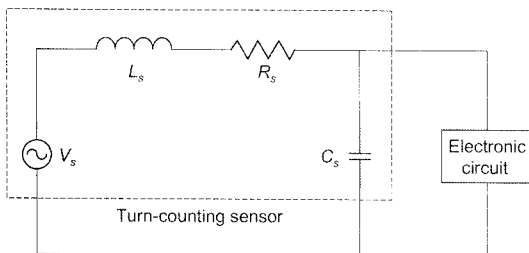


그림 3. 회전수 계수 센서의 등가 회로도
Fig. 3. Equivalent circuit of TCS.

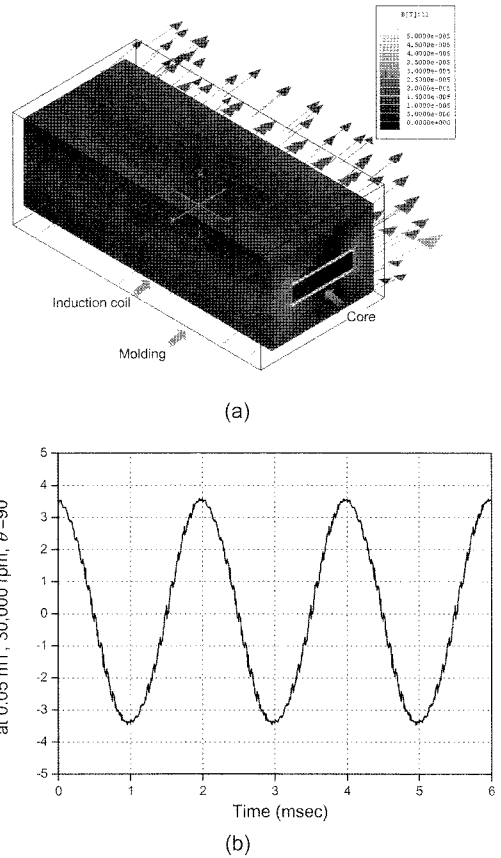


그림 4. 회전수 계수 센서의 시뮬레이션 결과: (a) 회전수 계수 센서 주변의 자속 밀도 분포 예측, (b) 0.05 mT 자속밀도, 30,000 rpm 조건에서 회전수 계수 센서의 출력특성 예측치

Fig. 4. Simulation results of TCS at magnetic flux density of 0.05 mT, rotational velocity of 30,000 rpm and angle between magnetic field and ammunition rotation axis of 90°: (a) Estimated magnetic flux density distribution and (b) Estimated induction voltage of TCS.

상기 해석과 같은 방법으로 유도 코일의 권선수도 결정하였다. 그림 5는 0.05 mT 자속 밀도, 30,000 rpm 조건에서 유도 코일의 권선수 변화에 따른 회전수 계수 센서의 출력 전압 예측치 및 저항 측정치이다. 해석 결과를 기초로 유도 코일은 AWG 44로 1250회 권선하였다. 이와 동일한 방법으로 설계 및 제작한 회전수 계수 센서의 상세치수는 표 1과 같다.

그림 6은 표면실장형으로 제작된 회전수 계수 센서 및 관련 신호 처리부의 사진이고, 제작된 회전수 계수 센서의 길이는 9 mm, 폭은 4.5 mm, 높이는 3.5 mm이며 중량은 0.55 g이다.

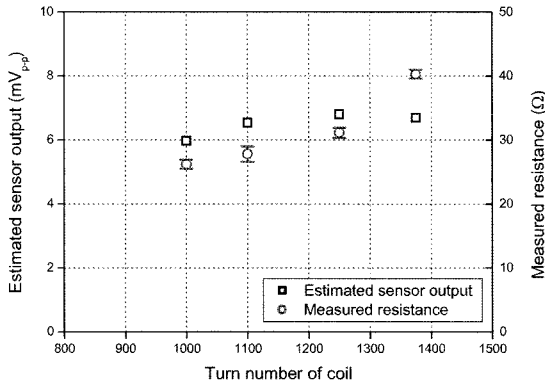


그림 5. 0.05 mT 자속 밀도, 30,000 rpm 조건에서 유도 코일 권선수 변화에 따른 회전수 계수 센서의 출력 전압 예측치 및 저항 측정치

Fig. 5. Estimated induction voltage and measured resistance of TCS as function of turn number of coil at magnetic flux density of 0.05 mT, rotational velocity of 30,000 rpm and angle between magnetic field and ammunition rotation axis of 90°.

표 1. 회전수 계수 센서의 치수 및 특성치
Table 1. Fabricated dimensions of TCS

Component	Item	Value
Core ribbon	Length/Width/Height	8.0 mm/2.2 mm /0.02 mm
	Diameter	50 μm
Coil	Turn number	1250
	Length/Width/Height	9.0 mm/4.5 mm /3.5 mm
Signal-processor	Gain	84
	Reference voltage at comparator	50 mV
Measured inductance		4.0 mH
Measured resistance		31.1 Ω

4. 시험 및 결과

4.1. 정적 특성 시험

제작한 회전수 계수 센서를 실험실 환경에서 고속으로 회전하는 것은 어렵기 때문에 센서를 정치시킨 후 그림 7의 솔레노이드 코일 장비를 이용하여 센서 주변의 자기장을 정현파 형태로 변화시키면서 센서에 대한 정적 특성 평가를 수행하였다.

정적 환경에서 회전수 계수 센서의 동작 특성을 확인하기 위해 자기장의 자속 밀도와 주파수(단 회전속도)를 변화시키면서 센서의 출력 전압을 측정하였다.

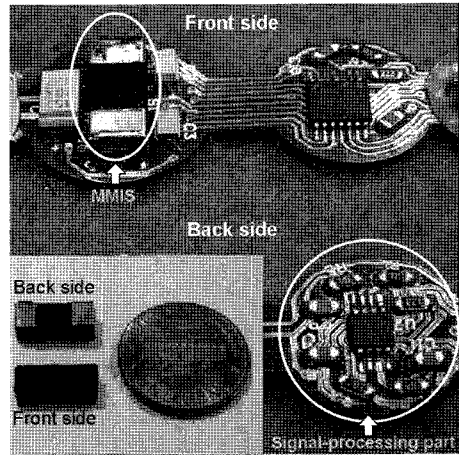


그림 6. 회전수 계수 센서 및 관련 신호 처리부 사진
Fig. 6. Photograph of TCS and signal-processor.

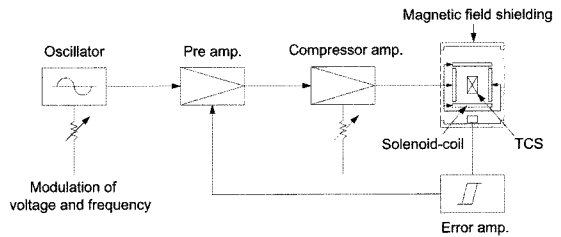
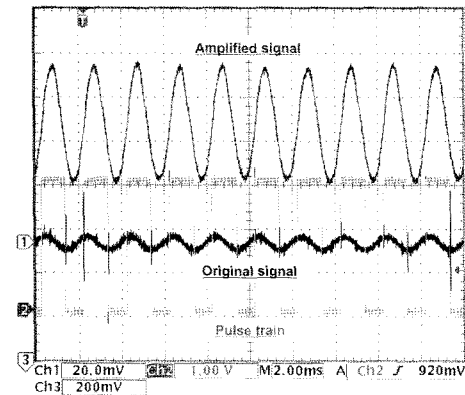


그림 7. 회전수 계수 센서의 정적 특성 시험 구성도
Fig. 7. Experimental apparatus of static TCS test.

그림 8(a)은 0.05 mT의 자속 밀도를 가지는 자기장이 500 Hz의 주파수로 변하고 있을 때 상온(18°C)에서 측정된 회전수 계수 센서의 출력 신호, 증폭신호 및 펄스 열이며 측정된 출력 신호는 6.5 mV_{p,p}로 나타나 Maxwell® 3D를 이용한 시뮬레이션 결과와 4.6%의 편차를 보였다. 그림 8(a)의 측정 신호에 대해 FFT(fast fourier transform)를 수행한 결과는 그림 8(b)와 같으며 회전수 계수 센서의 SNR(signal-to-noise ratio)은 44.0 dB로 나타나 센서의 우수한 잡음 특성을 보여주고 있다.

주변 자기장의 자속 밀도 변화에 따른 센서 출력 전압의 선형성을 확인하기 위해 저온(-30°C), 상온(+18°C) 및 고온(+43°C)에서 500 Hz 주파수의 자기장을 0~0.5 mT 범위에서 변화시키면서 센서의 출력 전압을 측정하였으며 그 결과는 그림 9와 같다. 회전수 계수 센서는 500 Hz 주파수의 자기장이 0~0.5 mT 범위에서 변화할 때 비선형도는 0.59% 이하이고, 온도변화에 따른 편차는 상온시료의 출력값을 기준으로 5.9% 이내임을 확인하였다. 이는 제작한 회전수계수 센서는 지구상의 모든지역에서 고속이동하는 비행체의 회전을



(a)

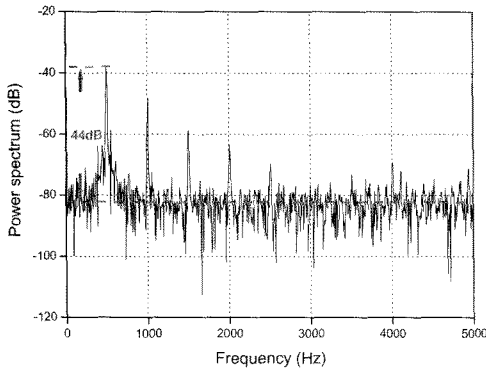


그림 8. 회전수 계수 센서의 출력신호: (a) 신호 처리부에서 측정된 신호, (b) 전력 스펙트럼
 Fig. 8. Measured output signal of TCS at magnetic flux density of 0.05 mT, frequency of 500 Hz and angle between magnetic field and ammunition rotation axis of 90°. (a) Output signals in signal-processor and (b) Power spectrum output.

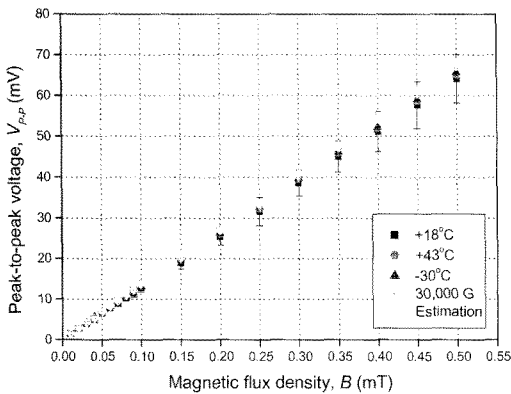


그림 9. 자속밀도 변화에 따른 회전수 계수 센서의 출력 측정치 및 예측치
 Fig. 9. Measured and estimated output signals of TCS as function of magnetic flux density.

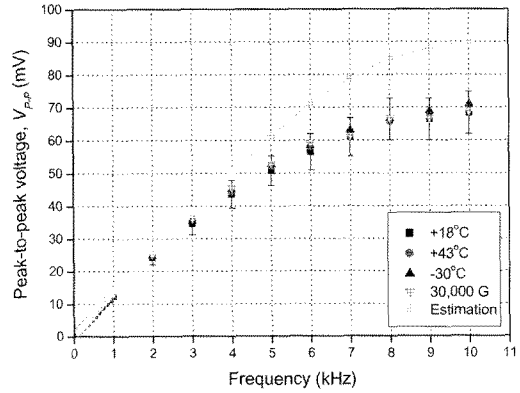


그림 10. 회전속도 변화에 따른 회전수 계수 센서의 출력 측정치 및 예측치
 Fig. 10. Measured and estimated output signals as function of rotational velocity in frequency band of 0.1~10 kHz.

감지하는 센서로 적용가능하고, 주변의 온도변화에 둔 감함을 보여주고 있다. 또한 측정결과는 Maxwell® 3D의 예측치와 약 6.1%의 편차를 보이는데, 이는 시뮬레이션에서 코어의 손실을 무시했기 때문인 것으로 판단된다.

주변 자기장의 주파수(탄의 회전속도) 변화에 따른 회전수 계수 센서의 동작 특성을 확인하기 위해 0.05 mT 자속 밀도를 가지는 자기장의 주파수를 0.1~10 kHz (600~600,000 rpm) 범위에서 변화시키면서 센서의 출력 전압을 측정하였다. 그림 10과 같이 센서의 출력은 1 kHz부터 포화되기 시작하여 9 kHz에서 완전히 포화되는 것을 알 수 있다. 일반적으로 소구경 탄약의 회전속도가 60,000 rpm 이내임을 고려하여 0.1~1 kHz 범위의 출력 신호를 분석하면, 자기장의 주파수 변화에 따른 센서의 출력은 비선형도가 1.77% 이내이고, 해석 결과와는 9.6% 이내의 편차를 보이며 식(2)의 주파수 정규화 감도(frequency-normalized sensitivity, S_f)는 0.26 ± 0.01 V/T·Hz임을 확인하였다. 이는 제작한 회전수 계수 센서는 저회전 및 고회전의 소구경 신관용 센서로 적용할 수 있음을 보여주고 있다.

$$S_f = \frac{V_{p-p}}{B \cdot f} = \frac{6.5 \times 10^{-3} \text{ V}}{(5 \times 10^{-5} \text{ T}) \cdot (500 \text{ Hz})} = 0.26 \text{ V/T} \cdot \text{Hz} \quad (2)$$

단, V_{p-p} 는 자속 밀도가 B 이고 주파수가 f 인 자기장에서 센서 출력의 peak-to-peak 값이다.

4.2. 동적 특성 시험(발사시험)

약 1 ms 동안 최대 30,000 g's의 충격 가속도가 수반

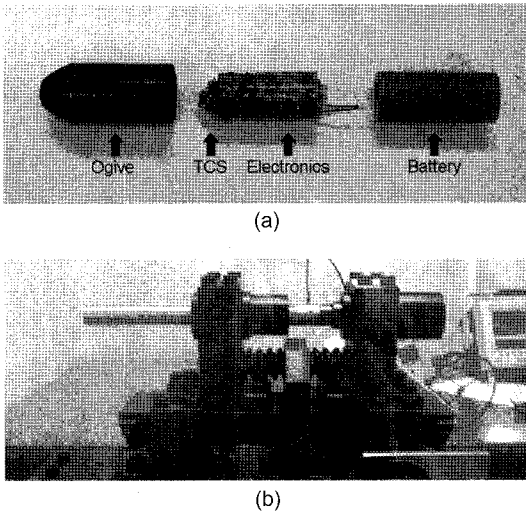


그림 11. 회전수 계수 센서의 동적 특성 시험 구성도: (a) TCS 발사 시료, (b) 발사 시험용 화기
 Fig. 11. Experimental setup of dynamic TCS test: (a) Sample projectile including TCS and (b) Prototype rifled gun.

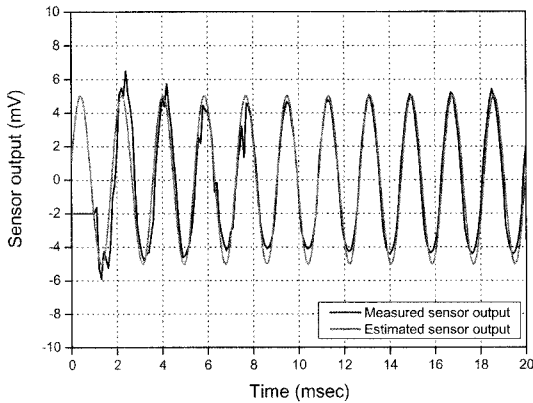


그림 12. 회전수 계수 센서 발사 시험 결과
 Fig. 12. Recorded and estimated output signals of TCS in firing test.

되는 탄 발사 환경에서 회전수 계수 센서의 동작 특성을 확인하기 위해 발사 시험을 수행하였다. 발사 시험에서 회전수 계수 센서를 포함하는 회전수 기록장치(그림 11(a))를 시험화기(그림 11(b))로 발사하며, 비행 중 회전수 계수 센서의 출력 신호는 증폭기, 저대역 통과 필터 및 아날로그-디지털 변환기를 거쳐 EEPROM에 기록된다.

발사 시험에서 회전수 계수 센서의 출력은 그림 12와 같이 정적 특성시험 결과에 비해 약 15.4% 작은

약 5.5 mV_{p-p}이었는데, 이는 발사 시험이 주변 자속 밀도가 0.036~0.040 mT인 지하실에서 수행되었기 때문이다. 참고로 정적 특성 시험은 주변 자속 밀도가 0.05 mT인 환경에서 실시하였다. 그림 12의 센서 출력에서 초기 dc 신호와 잡음을 볼 수 있는데 이는 각각 총열과 발사된 비행체의 초기 불안정 때문에 발생한 것이다. 즉, 발사체가 총열내부에 위치했을 때는 금속에 의한 자기 간섭으로 DC 신호가 출력되었고 총열에서 이탈되는 순간에 발사체가 순간적으로 요동치므로 잡음이 출력된 것이다. 고충격 환경에 의한 회전수 계수 센서의 동작 특성 변화를 확인하기 위해 시험 시료를 발사 시험 후 회수하여 정적 특성시험을 수행한 결과 그림 9와 10에 “30,000 G”로 표기된 결과에서 볼 수 있듯이 고충격에 거의 영향을 받지 않음을 실험적으로 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 강선총에 의해 발사된 고속 비행체가 지구 자기장 내에서 회전할 때 패러데이법칙에 의해 유도코일에 발생하는 전압신호를 이용하여 강체의 회전수를 측정할 수 있는 소구경 신관용 회전수 계수 센서의 설계, 제작 및 시험에 대해 기술하였다. 제작한 회전수 계수 센서는 구동 에너지가 필요없는 수동형 센서이고, 이동 구조물이 배제된 강건구조로 설계되어 30,000 g's의 고충격 환경에서의 생존성을 보장하며, 전자기장 해석프로그램인 Maxwell® 3D의 시뮬레이션 결과를 기초로 설계하여 설계 비용 및 시간을 단축시킨 특징을 가지고 있다. 회전수 계수 센서에 대한 정적 특성시험을 통하여 자속 밀도 0.05 mT, 주파수 500 Hz인 자기장에서 약 6.5 mV_{p-p}의 출력 전압이 생성되는 것을 측정하였고, 이를 통해 회전수 계수 센서의 SNR은 44.0 dB, 비선형성은 0.59%, 주파수 정규화 감도는 0.26±0.01 V/T·Hz, 작동 온도는 -30~+43 °C인 것을 확인하였다. 또한 제작한 회전수 계수 센서에 대한 발사 시험을 수행하여 30,000 g's의 고충격 환경에서의 생존성을 실험적으로 입증하였으며, 소구경 탄약용 회전수형 신관에 회전수계수 센서로 적용할 수 있음을 추가적으로 확인하였다.

참고 문헌

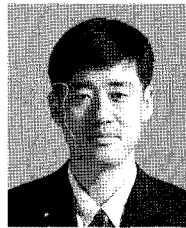
- [1] 윤상희, 이영호, 오종수, 탁연경, “소구경 탄약의 회전수 측정을 위한 자기유도센서의 소형화 설계”, 2005년도 한국센서학회 종합학술대회 논문집, pp.

- 40-44, 대전, 2005.
- [2] A. Buckley and P. H. Freymond, "30 mm air burst munition ABM", *Proceedings of the 35th NDIA Annual Gun and Ammunition Symposium*, Williamsburg, USA, 2000.
 - [3] J. C. Timmerman, "Air bursting munitions-a systems perspective", *Proceedings of the 36th NDIA Annual Gun and Ammunition Symposium*, San Diego, USA, 2001.
 - [4] R. E. Elmore, *HDL Yaw Sonde Instrumentation, HDL-TM-71-19*, U.S. Army Material Command, Washington, D.C., pp. 8-12, 1971.
 - [5] *ADIS16100 ±300%/sec Yaw Rate Gyro with SPI Interface*, Analog Devices, Norwood, pp. 1-16, 2006 (available at www.analog.com).
 - [6] 이석우, 윤상희, 오종수, "회전신호 측정장치 개발", 국방과학연구소, 대전, pp. 1-3, 2006.
 - [7] 최원열, 황준식, 최상언, "PCB 다층 적층기술을 이용한 마이크로 플렉스 게이트 자기센서", *센서학회지*, 제12권, 제2호, pp. 72-78, 2003.
 - [8] D. J. Adelerhof and W. Geven, "New position detectors based on AMR sensors", *Sensors and Actuators A-Physical*, vol. 85, pp. 48-53, 2000.
 - [9] 김청월, 구본주, 김중성, "자기 임피던스 센서를 이용한 맥박 측정 장치", *센서학회지*, 제15권, 제2호, pp. 77-83, 2006.
 - [10] *Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, MIL-STD-810E*, U.S. Department of Defense, Washington, D.C., pp. 501.3.1-13, 1989.
 - [11] P. Ripka, *Magnetic Sensors and Magnetometers*, Artech House, Norwood, pp. 57-64, 2001.
 - [12] S.-H. Yoon, J.-S. Oh, Y.-H. Lee, and S.-W. Lee, "Miniaturized Inertia Generators as Power Supplies for Small-Caliber Fuzes", *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 41, pp. 2300-2306, 2005.
 - [13] C. W. T. McLyman, *Transformer and Inductor Design Handbook*, Marcel Dekker inc., New York, pp. 200-203, 1978.



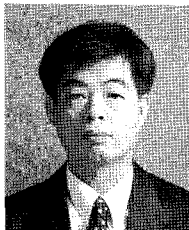
윤 상 희 (Sang-Hee Yoon)

- 2001년 연세대학교 기계설계학과 졸업 (공학사)
- 2003년 한국과학기술원 기계공학과 졸업 (공학석사)
- 2003년~현재 국방과학연구소 신관팀 연구원
- 주관심분야: High-g MEMS, Microfluidics



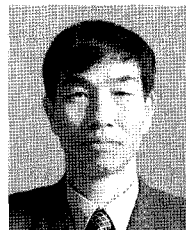
이 석 우 (Seok-Woo Lee)

- 1990년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1992년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
- 1992년~현재 국방과학연구소 신관팀 선임연구원
- 주관심분야: Statistical signal modeling and processing, Data fusion in multisensor systems



이 영 호 (Young-Ho Lee)

- 1980년 성균관대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1987년 충남대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
- 1984년~현재 국방과학연구소 신관팀 책임연구원
- 주관심분야: Electronic safety and arming device, Low power consumption design



오 종 수 (Jong-Soo Oh)

- 1978년 한양대학교 기계공학과 졸업 (공학사)
- 1995년 충남대학교 기계설계학과 졸업 (공학석사)
- 1978년~현재 국방과학연구소 신관팀 책임연구원
- 주관심분야: MEMS-based safety and arming unit, MEMS-based sensor design