

Study on the Projectile Velocity Measurement Using Eddy Current Probe

Jungoo Shin*

Hanwha Defence R&D Center, Daejeon 305-156, Korea

Derac Son

Dept. of Photonics and Sensors, Hannam University, Daejeon 306-791, Korea

(Received 22 July 2014, Received in final form 13 May 2015, Accepted 14 May 2015)

Nowadays the weapon systems are employed air bursting munition (ABM) as smart programmable 40 mm shells which have been developed in order to hit the target with programmed munition that can be air burst after a set distance in the battlefield. In order to improve the accuracy of such a bursting time, by measuring the speed of the munition from the barrel, weapon systems calculate the exact time of flight to the target and then the time information must be inputted to the munition. In this study, we introduce a device capable of detecting a shot at K4 40 mm automatic grenade. The shot is composed of a rotating copper band to convert linear motion into rotary motion when it passes through the barrel, the steel section is exert the effect of fragment and aluminum section to give fuze information. The aluminum section was used to detect munition using eddy current method. To measure muzzle velocity by means of non-contact method, two eddy current probes separated 10 cm was employed. Time interval between two eddy current probe detection times was used as muzzle velocity. The eddy current probe was fabricated U-shape Mn-Zn ferrite core with enamelled copper wire, and 200 kHz alternating current was used to detect inductance change. Measured muzzle velocity using the developed sensor was compared to the Doppler radar system. The difference was smaller than 1 %.

Keywords : air bursting munition (ABM), eddy current probe, muzzle velocity measurement detection device

외전류 탐촉자를 이용한 총구 탄속 측정에 관한 연구

신준구*

(주)한화종합연구소, 대전 유성구 외삼로 8번길 99, 305-156

손대락

한남대학교 광·센서공학과, 대전 대덕구 한남로 70, 306-791

(2014년 7월 22일 받음, 2015년 5월 13일 최종수정본 받음, 2015년 5월 14일 게재확정)

무기체계가 첨단, 고도화되면서 탄약을 정밀 제어하여 목표를 타격하기 위하여 공중폭발탄(ABM)이 개발되어 전장에서 운용되고 있다. 이러한 공중폭발탄의 시한정밀도를 향상시키기 위하여 총구를 이탈하는 탄의 속도를 측정하여 표적까지의 정확한 비행 시간을 계산한 후 탄에 입력하여야 한다. 본 연구에서는 K4 기관총의 소염기 부분에 탄을 감지할 수 있는 장치를 도입하였다. 탄약의 주요 금속 부품은 신관 부분의 알루미늄과 파편 효과를 발휘하는 탄체의 철 부분, 총열의 강선부를 통과할 때 직진운동을 회전운동으로 전환시키는 회전탄대의 구리로 구성되어 있는데 알루미늄 부분을 탐지하기 위하여 외전류 탐촉자의 원리를 도입하였다. 탄이 총구를 벗어나는 수십 us 동안 탄속을 측정하기 위하여 U 자형의 MnZn Ferrite 코어에 코일을 권선하여 200 kHz의 교류 전류를 인가하여 탄의 총구 이탈 속도를 측정하였으며, 도플러 레이더와 병행 측정한 결과 $\pm 1\%$ 이내에서 잘 일치하였다.

주제어 : 공중폭발탄(ABM), 외전류탐촉자, 탄속측정

I. 서 론

과학기술의 발전으로 현대전의 양상은 민간인의 인명 손실을 최소화하면서 원하는 표적만을 정밀 타격할 수 있는 능력을 확보하는 것이 무기체계 개발의 중요한 목표가 되고 있으며 특히 전장에서 건물, 참호 등과 같은 엄폐물에 차폐된 표적을 효과적으로 제압하기 위한 수단으로서 목표물 상공에 정확하게 폭발하는 공중폭발탄이 요구되고 있다.

공중폭발탄의 개발을 위해서는 신관의 시한장치에 시한 정보를 입력하는 장치와 탄속을 측정하고 그 정보를 신관에 입력하는 신관 장입장치가 필요하다. 공중폭발탄의 시한 데이터 장입을 위하여 약실 접촉식 기폭 시한 장입이나, 약실 비접촉식 기폭 시한장입, 총구 유도장입, 광다이오드를 이용한 발사 후 시한장입 등 다양한 방법들이 개발되고 있다. 그 중에서 총구에서 비접촉으로 탄속을 측정하는 방법으로는 크게 광학적 방법과 자기적 방법을 사용하고 있으며 총구에 배치된 코일과 탄에 배치된 코일간의 인덕턴스 커플링에 의한 유도 기전력을 감지하는 방식을 이용한 비접촉 탐지 기술이 오랫동안 군사적으로 활용되고 있다[1-4]. 이 경우 총구에 배치한 코일을 사용할 경우 전력 소모가 많고 장착하기 어려운 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이를 개선하기 위하여 비파괴 탐상 등에 사용되는 와전류 탐촉자의 기술을 탄속 측정에 적용하기 위한 연구를 수행하였다. 이 경우 총기 끝 부분에 일정한 간격으로 2개의 센서만 장착을 하면 되기 때문에 단순한 구조로 탄속을 측정할 수 있다.

II. 와전류 탐촉자의 제작

와전류 탐촉자는 코어에 코일을 권선하고 교류전압을 인가한 상태에서 탐촉자 표면에 피측정 대상물체인 금속이 접근하면, 탐촉자에서 발생하는 교류자기장에 의하여 피측정 대상물체인 금속에 와전류가 발생하게 되고, 이에 따라 탐촉자의

인덕턴스가 변화하는 량을 측정하는 방법이다[5].

본 연구에서 대상이 되는 탄의 경우 신관 부분은 재질이 알루미늄으로 되어 있고, 주작약이 들어있는 탄체는 철로 되어 있다. 또한 총열의 강선을 따라 회전하도록 탄체 외측의 회전탄대는 구리로 되어 있다. 따라서 도체이면서 비자성인 알루미늄 및 구리와 자성체인 철은 와전류 효과가 다르기 때문에 구별하여 감지를 할 수 있다. 탄속을 측정하기 위한 와전류 탐촉자의 주파수 선정은 와전류 탐촉자를 지나가는 탄의 속도로부터 구하였다. 탄이 지나가는 속도 v_b , 신관의 알루미늄부분의 길이가 l_a 이면 탐촉자가 측정할 수 있는 시간 t_m

$$t_m = \frac{l_a}{v_b} \tag{1}$$

이 된다. 따라서 와전류 탐촉자의 주파수 f_e 는 최소한 $1/t_m$ 의 10배 이상은 되어야 한다. 즉

$$f_e > \frac{10}{t_m} \tag{2}$$

이 된다. 만약 $v_b = 300 \text{ m/s}$, $l_a = 2 \times 10^{-2} \text{ m}$ 이면 f_e 는 150 kHz가 된다. 따라서 이 주파수에서 자화가 가능한 탐촉자용 코어로 Mn-Zn 페라이트 U자형 코어를 사용하였다.

본 연구에서 탐촉자용 코어는 단면이 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 이고 길이가 10 mm인 Mn-Zn 페라이트 코어에 직경이 0.2 mm인 에나멜 동선을 100회 권선하였으며, Fig. 1은 제작된 탐촉자



Fig. 1. (Color online) Photograph of the eddy current probes.

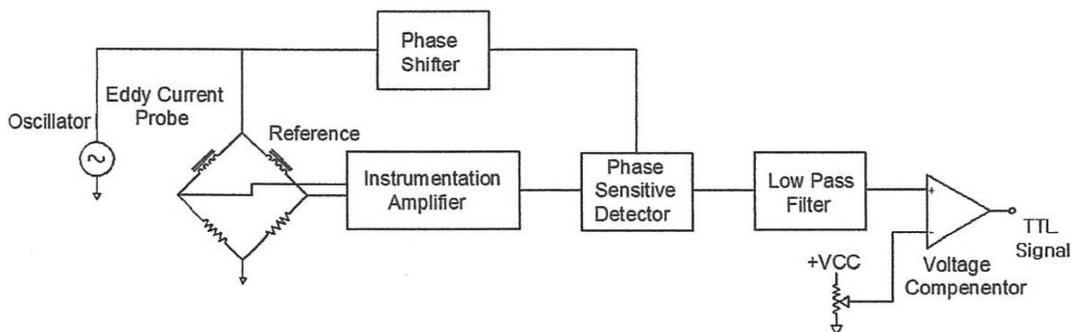


Fig. 2. Schematic diagram of signal processing electronics to get TTL signals.

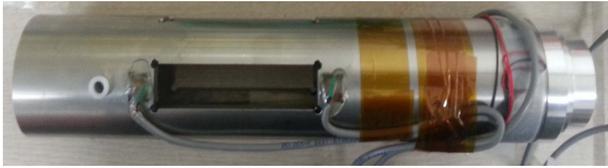


Fig. 3. (Color online) Photograph of two eddy current probes were molded in muzzle.

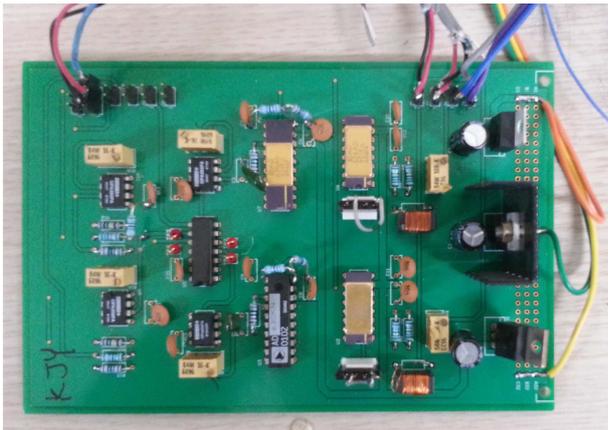


Fig. 4. (Color online) Photograph of the PCB for signal processing electronics to get TTL signals.

의 사진이다. 탄에 의한 탐촉자의 인덕턴스 변화를 측정하기 위하여 Fig. 2와 같이 인덕턴스 브리지를 구성하였다. 두 개의 동일한 탐촉자를 제작하여 한 개는 총구에 장착하고 다른 하나는 PCB에 장착하여 그 차이를 높은 감도로 측정할 수 있게 하였다. 브리지에 인가하는 교류전압은 함수 발생기를 사용하였고 주파수는 식(2)에서와 같이 150 kHz 이상이 되어야 하기 때문에, 200 kHz의 주파수를 택하였다. 브리지 양단의 전압차이는 계측증폭기를 사용하여 증폭한 다음 Phase Sensitive Detector(PSD)와 Low Pass Filter(LPF)를 사용하여 위상차의 변화를 전압의 변화로 변환시켰다. 그리고 탄속을 측정하기 위해서 Fig. 3과 같이 2개의 탐촉자는 동일하게 제작하고 총기의 소염기 부분에 탐촉자 사이의 간격을 10 cm로 하였으며, 에폭시로 몰딩하여 부착하였다. Fig. 4는 본 연구에서 제작한 신호처리 PCB의 사진이다.

III. 탄속의 측정 및 분석

탄속의 측정은 K4 기관총의 소염기 부분에 탄속측정장치를 장착하여 시험을 하였다. Fig. 5는 본 연구에서 개발한 와전류 탐촉자를 이용한 탄속 측정 센서를 부착시킨 기관총의 사진이다. 또한 기존에 탄속 측정을 위하여 사용되고 있는 도플러 레이더 장치도 설치하여 비교 측정하였다. 두 개의 와전류 탐촉자의 신호를 1개의 채널로 보고, 최종으로는 time



Fig. 5. (Color online) Photograph of the K4 40 mm attached developed muzzle velocity measuring sensors.

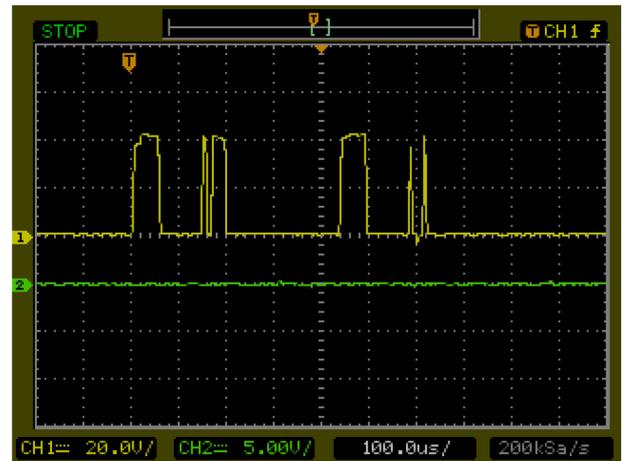


Fig. 6. (Color online) Detected TTL signal from the developed muzzle velocity measuring sensors.

interval counter를 사용하기 위하여 탐촉자의 TTL 신호를 EXOR gate에 입력하였다. Fig. 6은 이 신호를 디지털 오실로스코프로 관측한 결과이다. Fig. 6에서 오른쪽 2개의 신호는 소염기 뒷부분의 와전류 탐촉자가 감지한 신호이고 왼쪽 2개 신호는 소염기 앞부분의 와전류 탐촉자가 감지한 신호이다. 각각의 센서에 신호가 2개 나타나는데 이는 탄이 지나갈 때 와전류 탐촉자를 비자성의 도체에 맞게 조절하였기 때문에 탄의 신관부분의 알루미늄과 탄의 중심부 회전탄대의 구리 부분이 감지되어 나타난 신호이다. 탄속의 계산은 신관의 알루미늄 부분에서 탐지된 TTL 신호로부터 구하였다. 와전류 탐촉자를 이용한 탄속 측정 결과와 도플러 레이더를 이용

Table I. Comparison of muzzle velocity measured with doppler radar and developed sensor.

Number of shots	Doppler radar (m/s)	Developed sensor (m/s)	Deviation (m/s)
1	227	231	2.8
2	225	223	1.4
3	224.6	225	0.3
Average	225.53	226.3	1.5

하여 측정된 결과는 Table I과 같다. 실험에서 3발을 발사하였으며, 측정 결과를 비교하면 본 연구에서 개발한 와전류 탐촉자를 이용한 탄속측정 값과 기존의 도플러 레이더를 이용한 탄속 측정값이 ±1% 이내로 잘 일치하였다.

IV. 결 론

무기체계가 첨단, 고도화 되어감에 따라 목표를 정밀 타격하기 위하여 공중폭발탄과 같이 적의 상공에서 폭발하여 살상 능력을 증대하는 새로운 개념의 탄약들이 개발되고 있다. 이러한 공중폭발탄에 있어서 정확하게 목표물 위치에서 탄을 기폭 시키기 위해서는 시한 정밀도가 매우 중요한 요소이며 이를 만족시키기 위하여 총구에서 탄의 속도를 측정하여 탄속의 편차를 보정하는 기술이 요구되고 있다.

본 연구에서는 탄의 속도를 외부에서 측정하고 사격통제장치에서 표적에 대한 보정된 시한 값을 입력하기 위하여 기존 무기체계들에서 일반적으로 사용하고 있는 inductive coupling에 의한 탄속 감지기술을 적용하지 않고, 비파괴 탐사나 근접센서에 활용되는 와전류 탐촉자의 원리를 응용하여 총열의 소염기에 2개의 탐촉자를 장착하고 탄이 지나갈 때 발생하는

와전류신호로부터 얻은 시간차이의 신호로부터 탄의 속도를 측정하는 방법을 연구하였다. 탐촉자용 코어는 단면이 2mm × 2mm이고 길이가 10mm인 Mn-Zn 페라이트 코어에 직경이 0.2mm인 에나멜 동선을 100회 권선하여 사용하였으며, 탄에 의한 탐촉자의 인덕턴스 변화를 측정하기 위하여 인덕턴스 브리지와 신호처리장치를 제작하였다. 탄속을 측정하기 위해서는 2개의 탐촉자를 동일하게 제작하고, 총기의 소염기 부분에 탐촉자 사이의 간격이 10cm가 되게 에폭시로 몰딩하였다. 실제 운용환경을 고려하여 K4 기관총을 이용하여 실탄 사격을 실시하였으며 와전류 탐촉자를 이용한 탄속 측정 결과는 기존에 탄속 측정용으로 사용하고 있는 도플러 레이더로 비교 측정된 결과와 ±1% 이내에서 잘 일치하였다.

References

- [1] Application number: 97100016.1 (1997.01.02).
- [2] Application number: 08006652 (1996.01.18).
- [3] Application number: 08749328 (1996.11.14).
- [4] <http://www.rheinmetall-wm.com>.
- [5] Fausto Fiorillo, Measurement and Characterization of Magnetic Materials, Elsevier (2004).