

The Measurement Technique on Rate of Fire using Sound Pressure Sensor

김도형† · 김봉수* · 김응수* · 최시홍* · 김상민*

Do-hyung Kim, Bong-soo Kim, Eung-soo Kim, Si-hong Choi and Sang-min Kim

1. 서론

K21 보병전투장갑차의 주 무장시스템은 국내 개발된 K40이 장착되며, 사용가능한 탄종은 운동에너지탄(APFSDS), 고퍽탄(HE), 복합기능탄(MMFA)이 있다. 그 중에서 K236 복합기능탄은 충격·자폭·근접·시한기능이 가능한 전자식 신관을 사용하여 공중폭발에 의한 적 보병의 무력화, 지상표적의 장갑차 및 대공표적의 헬기를 효과적으로 제압할 수 있다. 국방규격 KDS 1310-4003에 명시된 K236의 시사장 성능시험 평가항목 중 연발기능(burst mode)은 무장시스템에서 5연발 발사를 2회 실시하고, 재해 없이 기능을 발휘해야 한다. 연발기능 시험 시 포구속도와 발사속도의 성능시험이 동시에 요구되는 경우에는 MVR5-700 도플러 레이더로 계측이 가능하다. 하지만 MVR5-700은 고가의 장비이며, 화포·탄약 무기체계의 포구속도 측정을 위하여 2대 이상의 장비를 상시 운용하므로 발사속도 측정을 위한 전용 계측시스템이 필요하게 되었다.

본 논문에서는 사격 시 발생하는 충격파를 음압센서로 검출하는 발사속도 계측기법에 대하여 기술하였다. 기존의 계측시스템과의 발사속도 비교를 위하여 40 mm 탄의 연발기능 시험과 병행하여 수행하였고, 두 장비에서 획득한 발사속도 데이터를 분석하여 개발 장비의 성능을 검증하였다.

2. 본론

2.1 기존의 발사속도 측정 방법

현재 국방과학연구소 안흥시험장에서는 발사속도 측정을 위하여 포구속도 측정장비인 MVR5-700을 사

용 중이며, 비행체의 속도, 회전율, 금속부품 분리현상 뿐만 아니라 연발기능 시험 시 포구속도 및 발사속도 측정이 가능하다. MVR5-700의 안테나는 무장시스템의 포이 옆에 설치하며, 다양한 트리거 입력방식으로 탄이 포구에서 이탈하는 기준시각을 획득한다.



Fig. 1. 음압 트리거센서

MVR5-700의 내장 음압 트리거센서는 설정된 트리거레벨 이상의 충격파를 트리거신호로 인식하고, 충격파가 포구에서 안테나까지 도달하는데 소요되는 시간을 보정하여 기준시각을 계산한다. 포구 화염을 검출하는 외장 트리거센서는 외부환경에 민감하게 반응하므로 발사속도 측정을 위해서는 트리거신호의 잡음이 최소화되는 충격파 검출방법을 사용해야 하며, 연발기능 시험 시 검출된 트리거신호의 시간간격을 계산하여 발사속도를 측정한다.

2.2 계측시스템 구성

발사속도 계측기법으로는 주퇴기에 LVDT센서 및 가속도 센서를 부착하여 탄의 발사 시 수행되는 주퇴운동 및 충격량을 분석하는 방법이 있다. 센서를 사용하는 방법은 신호의 획득·분석에는 용이하지만, 무장시스템에 센서를 부착해야 하므로 공간적인 제약이 있다. 또한 고속카메라를 이용하여 탄의 포구 이탈시간 및 주퇴운동을 분석하는 방법은 비접촉 방식이므로 고속영상 획득이 용이하지만, 고속영상을 분석하는데 많은 시간이 소요된다. 따라서 비접촉 방식이면서 신호의 획득·분석이 용이한 음압센서를 이용한 발사속도 계측기법이 주로 사용된다.

40 mm 구경 탄이 발사되어 포구에서 이탈 시에는 최소 160 dB_{peak} 이상의 음압레벨을 갖는 충격파가 발생하며, 이 때 발생한 충격파는 공기를 매질로 하여 초음속으로 진행한다. 충격파는 추진체의 연소 및 공

† 교신저자 ; 국방과학연구소 종합시험단

E-mail : cresson@add.re.kr

Tel : (041) 671-2190, Fax : (041) 673-1122

* 국방과학연구소 종합시험단

기 중을 초음속으로 비행하는 탄에 의해 생성되며, 충격파의 진행속도는 압력변화의 크기에 종속된다. 사격 시 발생하는 충격파의 검출 및 신호의 획득·분석을 위하여 다음과 같이 계측시스템을 구성하였다.

Table 1. 계측시스템 구성

구분	용도	사양
음압센서 (PCB-106B)	·충격파 검출	·측정범위 : 106 kPa ·감도 : 41.47 mV/kPa
A/D모듈 (cRIO-9234)	·A/D 변환	·샘플링 속도 : 50 kHz ·입력범위 : ± 5 V
신호분석장비 (cRIO-9014)	·데이터 로깅 및 분석	·프로세서 : 400 MHz ·인터페이스 : 100BaseT

음압센서로 사용되는 PCB-106B의 음압레벨 측정 범위는 190 dB_{peak} 이상이며, 9 μ s 이하의 짧은 상승시간을 가진다. 충격파의 주파수 분석을 수행한 결과, 주 신호성분이 15 kHz 이하이므로 A/D모듈에서 50 kHz의 샘플링 속도로 충격파 신호를 획득하였다. 신호분석장비는 핫스왑이 가능한 산업용 I/O 모듈을 갖춘 cRIO-9014를 선정하였고, 50 G의 충격에도 사용이 가능한 개방형 임베디드 구조이다. 소프트웨어는 A/D모듈로부터 전압을 획득하여 신호분석장비로 데이터를 보내주기 위한 FPGA 프로그램, FPGA I/O 통신 및 신호분석을 담당하는 real-time 프로그램, 시스템 모니터링 및 데이터를 전신하는 windows 프로그램으로 구성된다.



Fig. 2. 발사속도 계측시스템

2.3 시험 결과

발사율 계측시스템의 성능 검증은 40 mm K236 복합기능탄 수막시험과 병행하여 실시하였고, 두 장비로 연발기능 시험 시 시간간격 및 지속시간을 측정하여 발사속도를 비교·분석하였다.

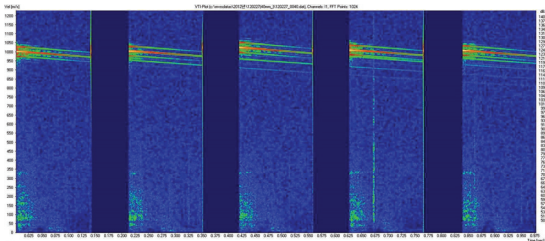


Fig. 3. MVRs-700 획득 신호

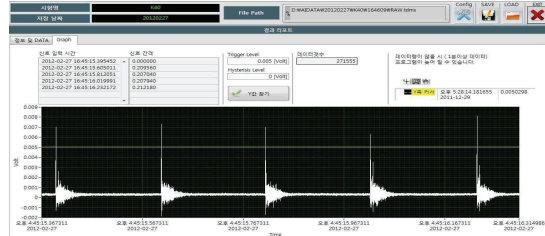


Fig. 4. 발사속도 계측시스템 획득 신호

40 mm K236 연발기능 시험 결과를 Table 2에 정리하였다. 발사속도 계측시스템으로 획득한 신호개수가 5개이고, 지속시간이 836.72 ms이므로 발사속도는 286.83 rpm이 된다. 이는 기존의 계측시스템으로 측정된 발사속도보다 0.02 rpm이 낮으며, 상대오차는 0.006972 %가 된다.

Table 2. 시험 결과

구분	MVRs-700		발사속도 계측시스템	
	신호 입력 시각	시간간격 [ms]	신호 입력 시각	시간간격 [ms]
1	16:45:15.006192	-	16:45:15.395452	-
2	16:45:15.215717	209.56	16:45:15.605011	209.56
3	16:45:15.422771	207.05	16:45:15.812051	207.04
4	16:45:15.630684	207.91	16:45:16.019991	207.94
5	16:45:15.842862	212.18	16:45:16.232172	212.19
신호개수 [N]	5		5	
지속시간 [ms]	836.67		836.72	
발사속도 [rpm]	286.85		286.83	

3. 결론

본 연구에서는 사격 시 발생하는 충격파를 음압센서로 검출하는 발사속도 계측기법에 대하여 알아보았다. 계측장비의 성능 검증을 위하여 40 mm 탄의 연발기능 시험에 적용하였고, 두 장비에서 획득한 발사속도 데이터를 분석한 결과, 상대오차는 0.007 % 이하였다. 발사속도 차이는 아날로그 신호의 트리거레벨 때문에 발생한 것이며, 향후 10연발 이상의 시험에 적용하여 두 장비를 비교한다면 보다 정확한 성능 검증이 가능할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- (1) 김도형, “충격파의 전달특성에 따른 보정된 기준 시각이 포구속도에 미치는 영향”, 군사과학기술학회.