

충격파의 전달특성이 포구속도에 미치는 영향

The Effect of Shockwave on the Muzzle Velocity

김도형†·허동은*·이재덕*

Do-Hyung Kim, Dong-Eun Hoe and Jae-Deok Lee

1. 서론

포구에너지 증대에 따른 화포·탄약 무기체계의 발전과 더불어 무기체계의 성능을 보다 정확히 평가할 수 있는 시험평가체계가 요구되고 있다. 시험평가 항목 중 포구속도는 탄이 포구에서 이탈하는 순간의 속도를 의미하며, 각종 화포와 탄 및 추진제 개발뿐만 아니라 수락시험의 성능평가를 위한 주요 자료로 활용되고 있다. 추진제의 연소로 탄이 발사될 때에는 고온의 화염과 충격파로 인하여 포구에서의 직접적인 속도 측정이 어려우므로 도플러효과(doppler effect)를 이용하여 포구속도를 측정한다. 포구속도 측정장비인 MVR5700 도플러레이더는 탄이 포구 이탈 시에 발생하는 충격파를 내장된 음압 트리거센서로 검출하고, 충격파가 포구에서 안테나까지 도달하는데 소요되는 시간을 보정하여 기준시각(zero time)을 계산한다. 하지만 충격파의 진행속도가 정립되지 않은 상태에서 신호처리를 수행한다면, 충격파를 획득한 시점에서 탄의 포구 이탈 시점까지 외삽법(extrapolation)을 적용하여 산출된 포구속도에는 오차를 포함하게 된다. 이 논문에서는 사격 시 발생하는 충격파의 전달특성에 따른 보정된 기준시각이 포구속도에 미치는 영향을 분석하였다. 충격파의 전달특성을 확인하기 위하여 155 mm K55 자주포 시험을 선정하였으며, 음압·IR센서, 신호획득장치를 사용하여 충격파의 신호를 획득·분석하였다.

2. 본론

2.1 포구속도 측정 원리

† 교신저자 ; 국방과학연구소 종합시험단
E-mail : cresson@add.re.kr
Tel : (041) 671-2190, Fax : (041) 673-1122

* 국방과학연구소 종합시험단

MVR5700은 전파가 송·수신되는 과정에서 탄의 이동에 의해 발생하는 도플러효과를 이용하여 속도를 측정한다. 송신안테나에서 비행하는 탄에 연속파를 송신하면 이 전파는 탄에서 반사되어 수신안테나로 수신되고, 신호분석기에서 도플러신호의 A/D 변환과 FFT 연산을 수행하여 송신주파수와 수신주파수의 차인 도플러주파수를 획득하게 된다.

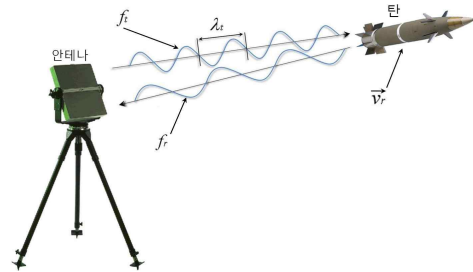


Fig. 1 도플러효과를 이용한 포구속도 측정 원리

도플러주파수와 탄의 비행속도와의 관계식은 아래와 같고, 탄의 비행속도는 전파속도에 비하여 무시할 정도로 작다고 가정하였다.

$$v_r = \frac{c}{2} \cdot \frac{f_d}{f_i}$$

여기에서, v_r 는 탄의 비행속도이며, c 는 전파속도, f_d 는 송신주파수와 수신주파수 차인 도플러주파수를 나타낸다. 도플러 관계식을 이용하여 계산된 속도 분포에 다항식 곡선적합을 수행하고, 외삽법으로 탄이 포구를 이탈하는 시점인 기준시각을 보정하여 포구속도를 산출한다.

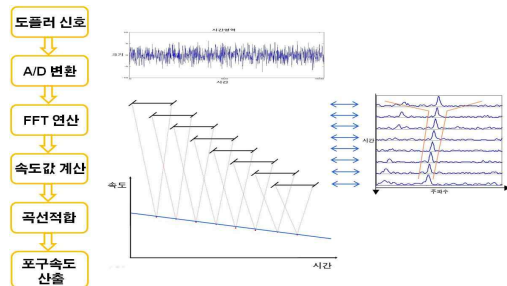


Fig. 2 신호처리과정

2.2 시험 및 계측

155 mm 구경 탄이 추진제의 연소로 발사되어 포구에서 이탈할 때에는 최소 160 dB 이상의 음압 레벨을 갖는 충격파가 발생하며, 이 때 발생한 충격파는 공기를 매개체로 초음속으로 진행한다. 충격파의 전달특성을 분석하기 위해서는 IR센서를 사용하여 탄의 포구 이탈 시의 기준시각을 획득해야 하며, 포구에서 발생한 충격파가 안테나까지 도달하는데 소요되는 시간을 음압센서로 측정하여 충격파의 진행속도를 계산한다. 음압센서로 사용되는 PCB106B의 압력 측정범위는 0 psi ~ 8.3 psi이며, 5 μ s의 짧은 상승시간을 가진다. IR센서로 사용되는 BAL615의 검출파장은 0.9 μ m ~ 1.7 μ m 대역이고, 탄이 포구 이탈 시 발생하는 화염의 적외선을 검출하여 12 V 펄스를 출력한다. 신호획득장치로 사용되는 DEWE5000은 음압·IR 센서에서 출력되는 신호를 100 kHz, 16 bit 분해능으로 획득하며, 시간·주파수영역에서 신호를 분석한다. MVR5700 신호분석기의 충격파 진행속도는 400 m/s를 기본값으로 설정되어 있으며, 신호분석기가 포구에서 안테나까지의 거리를 충격파의 진행속도로 나누고, 기준시각을 보정하여 포구속도를 산출한다.

2.3 시험 결과

155 mm K55 자주포 사격 시 발생하는 충격파를 분석한 결과는 다음과 같다.

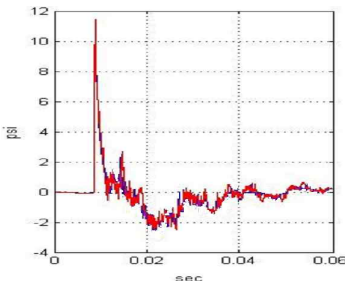


Fig. 3 충격파 분석 결과

탄이 포구 이탈 시에 발생하는 충격파가 음압센서까지 도달하는데 소요되는 시간은 13.5 ms이며, 포구에서 음압센서까지의 거리가 5.01 m이므로 충격파의 진행속도는 371 m/s가 된다.

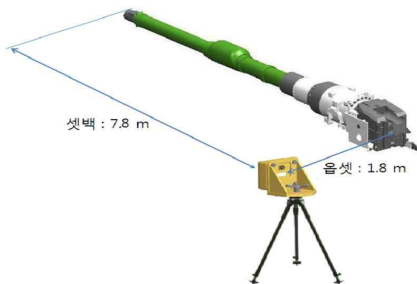
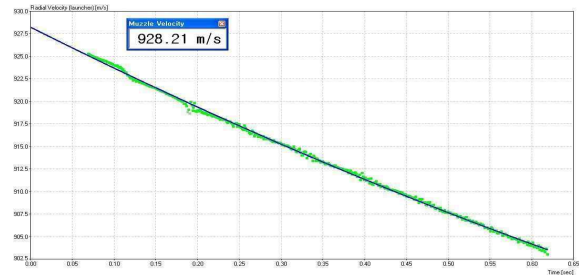
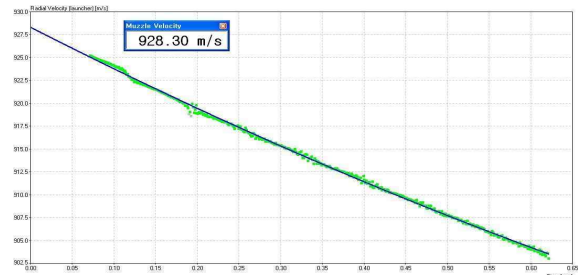


Fig. 4 안테나 설치 위치

따라서 MVR5700의 안테나를 셋백 = 7.8 m, 옴셋 = 1.8 m, 높이 = 0으로 설치 시 포구에서 안테나까지의 거리는 8 m이며, 충격파가 8 m를 진행하는데 소요되는 시간은 21.6 ms가 된다. 현재 MVR5700의 충격파 진행속도는 400 m/s로 설정되어 있으므로 충격파가 기준시각에서 안테나까지 도달하는데 소요되는 시간은 20.0 ms이며, 이는 충격파의 진행속도 371 m/s와 비교했을 때 1.6 ms 차이가 난다.



(a) 충격파 진행속도가 400 m/s일 때의 포구속도 그래프



(b) 충격파 진행속도가 371 m/s일 때의 포구속도 그래프

Fig. 5 포구속도 변화 그래프

충격파의 진행속도를 371 m/s로 설정할 경우, 기존의 포구속도 928.21 m/s보다 0.09 m/s만큼 높아지며, 이는 포구속도 측정장비의 불확도 ± 0.05 %에서 19.4 %를 차지한다.

3. 결 론

이 연구에서는 충격파의 전달특성에 따른 포구속도의 변화량을 분석해 보았다. 155 mm 구경 탄의 사격 시 포구에서 발생하는 충격파의 진행속도는 371 m/s이었고, MVR5700의 속도 설정이 포구속도 불확도에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 향후 탄의 구경과 추진장약, 사격고각 및 기상조건에 따른 충격파의 전달특성을 데이터베이스화한다면 보다 정확한 포구속도 측정이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) J. R. Hassall, K. Zaveri, 1988, "Acoustic Noise Measurements", Brüel & Kjær Korea Ltd.