

81MM 고폭탄의 ASRP를 위한 포구속도 평가기준 연구

윤근식*, 김원석, 최준혁
국방기술품질원

A study on the Evaluation Criteria of ASRP for the Muzzle Velocity of Cartridge 81mm, HE

Keun-Sig Yoon*, Won-Seok Kim, Jun-Hyeok Choi
Defense Agency for Technology and Quality

요약 저장탄약신뢰성평가(이하 ASRP)는 군에 저장 중인 탄약의 성능, 안정성, 신뢰성을 평가하는 업무이다. 군에 저장 중인 탄약의 성능과 안정성은 장기간의 저장 중에 서서히 떨어지므로 저장탄약의 평가기준은 제조 당시의 성능과 안정성을 평가하는 국방규격에서의 기준과 비교하여 동등하거나 낮은 수준으로 정한다. 본 논문에서는 81MM 고폭탄의 평가 항목인 포구속도와 사거리를 대상으로 시험방법과 평가기준을 연구하였다. 포구속도와 사거리에 대한 국방규격 등 관련 기술자료에 따라 두 시험 간 측정방법과 정확성을 분석하고 포구속도와 사거리 시험데이터간 비교, 분석하였다. 연구 결과, ASRP에서 포구속도를 측정하는 것이 시험의 신뢰성과 효율성을 높일 수 있다는 것을 확인하였고, 포구속도 표준 편차의 평가기준은 4.78 m/s로 제시하였다.

Abstract The Ammunition Stockpile Reliability Program (ASRP) is a task to evaluate the performance, stability, and reliability of ammunition stored in the military. The evaluation criteria of stored ammunition are set to be equal to or lower than the acceptance test standard of the national defense standard that evaluates the performance and stability at the time of manufacture because the performance and stability of ammunition stored in the field gradually deteriorate as the storage time increases. This study examined the test method and evaluation criteria for the muzzle velocity and range, which are the evaluation parameters of cartridge 81mm, HE(High Explosive). The test method and accuracy between the muzzle velocity and range were compared according to related technical references, such as the defense standards, and correlation analysis of test data between muzzle velocity and range was performed. Therefore, measuring the muzzle velocity is a test method that efficiently evaluates the reliability of ammunition stockpiles, and the evaluation criteria of standard deviation for a muzzle velocity were presented.

Keywords : Muzzle Velocity, Range, Cartridge 81mm, HE, ASRP, Ammunition, Reliability, Criteria

1. 서론

저장탄약신뢰성평가(ASRP, Ammunition Stockpile Reliability Program)는 군에 저장 중인 탄약에 대하여 주기적으로 탄약의 성능과 안전성을 평가하는 업무로 저

장탄약에 대해서 육안, 측수검사로 확인하는 비기능시험, 탄약의 신관, 뇌관, 추진장약 등 성능 여부를 평가하는 기능시험, 이화학시험을 통한 저장성시험을 포함하고 있다. 각 시험을 수행하여 획득된 데이터는 통계적/기술적 분석을 통해 탄약의 안정성, 신뢰성, 저장 가능성 등을

*Corresponding Author : Keun-Sig Yoon(Defense Agency for Technology and Quality)

email: ksyoon@dtq.re.kr

Received August 16, 2023

Accepted October 6, 2023

Revised September 11, 2023

Published October 31, 2023

분석하여 최종 평가하고 평가결과에 따라서 해당탄약을 계속 저장 및 사용, 우선 사용, 제한사용, 정비, 폐기 처리 등을 결정한다. ASRP는 국방 비용절감과 전력향상에 기여하고 있으며 이를 재무적 성과로 환산하면 5,000억 원 이상인 것으로 분석한 바 있다[1].

ASRP는 각 품목별로 제정되어 있는 저장탄약시험절차서에 따라 정해진 절차에 따라 시험하고 평가를 진행한다. 저장탄약시험절차서는 비기능, 기능, 저장분석시험을 수행하기 위한 시험항목, 시험절차가 제시되어 있고 시험데이터를 분석하고 등급을 판정할 수 있는 평가기준도 포함되어 있다[2]. 저장탄약시험절차서의 시험항목 및 절차는 국방규격과 거의 유사하며 평가기준은 ASRP대상 탄약이 생산 후 장기간 저장된 상태이므로 국방규격의 수락시험 기준과 비교하여 동등하거나 보다 낮은 기준을 적용하는 것이 일반적이다.

81MM 고폭탄의 경우, 주요 기능시험 항목은 뇌관의 기능, 신관의 기능, 포구속도, 사거리 등이다. 이 중 사거리는 포에서 발사된 탄약이 목표물에 명중하는지에 대한 여부를 결정하는 중요 요소이다. 따라서 사거리는 국방규격의 수락시험 항목에도 포함되어 있으며, 저장탄약의 평가에도 해당항목을 반영하여 측정하여야 한다. 그런데 사거리는 화포나 탄약의 고유특성에 따라 변동될 뿐 아니라 바람의 방향이나 속도, 대기 밀도 등 외부의 영향에 따라서도 변하는 특성도 가지고 있다[3]. 또한 사거리는 측정방법이 복잡하고[4] 측정에 시간이 소요되는 단점이 있다. 그리고 포탄이 떨어지는 실제 위치에 접근할 수 없으므로 원거리에서 LRF(Laser Range-Finder) 등을 이용하여 탄착 위치의 좌표를 측정하여 사거리를 계산하는데 측정자의 위치좌표, 방위각 등에 따라서 측정오차가 발생한 가능성이 높아 측정정확성 향상을 위한 연구가 진행되었다[5].

사거리에 영향을 미치는 가장 중요한 인자는 포구속도이다[3]. 따라서 사거리는 포구속도와 높은 상관관계를 가지고 있다. 포구속도는 사거리와 비교하여 측정이 쉽고 측정오차가 적은 장점이 있다. 그리고 사거리는 풍향이나 풍속, 기온 등 시험 시 기상조건에 따라 영향을 받지만[6] 포구속도는 영향이 없으므로 시험평가를 위한 측정요소로서 사거리보다 유리하다.

본 논문에서는 먼저 포구속도와 사거리에 대한 측정방법에 대한 측정정확도와 효율성을 비교하여 효과적인 측정방법을 제안하였다. 그리고 81MM 고폭탄 수락시험 평가기준 연구, 사표와 실측데이터를 이용한 포구속도와 사거리간의 상관관계와 분산값을 비교, 분석하여 선정된

측정방법에 맞는 평가기준을 설정하고자 한다.

2. 81MM 고폭탄의 포구속도 및 사거리

2.1 81MM 고폭탄

81MM 고폭탄은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 신관, 추진장약, 점화약통, 뇌관, 날개결합체 등으로 구성되어 있다.

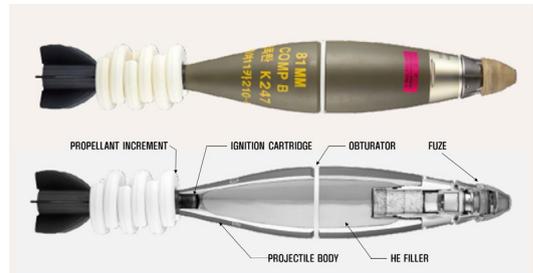


Fig. 1. The shape of 81MM HE

탄체 앞쪽에 신관이 결합되며 충격신관이나 다중선택신관이 사용된다. 탄체 뒤쪽에는 뇌관, 점화약통, 추진장약이 결합된 날개결합체가 연결되어 있으며, 탄체 내부에는 고폭화약이 충전되어 있다. 추진장약은 소진용기형으로 제조되며, 소진용기는 기계적 강도를 가질 수 있도록 수지로 만들어지고 왁스 등의 첨가제를 사용한다. 소진용기 내부에는 추진제가 충전되어 있다. 박격포탄의 발사는 박격포탄이 박격포 포신 안으로 미끄러져 내려가 포 바닥에 있는 공이에 의해 뇌관이 타격되어 점화됨으로써 시작된다. 뇌관화염이 점화약통을 점화시키고, 연이어 점화약통 화염이 추진장약을 점화시키게 된다. 추진장약 연소로 고압가스가 생성되고 그 압력으로 박격포탄이 빠른 속도로 발사되고 관성으로 비행하게 된다. 박격포탄의 비행은 포물선을 그리는 탄도를 가지게 되며, 비행 중에 중력과 공기저항의 영향을 받아 비행속도가 변하게 된다.

2.2 포구속도 및 사거리

2.2.1 포구속도

포구속도란 박격포에서 완성탄이 발사되어 비행하는 초기의 속도를 말한다. 탄이 높은 포구속도를 가지기 위해서는 힘이 필요한데 이러한 힘을 제공하는 에너지의 원천은 추진제의 화학에너지이다. 화학에너지를 가진 추진제가 빠르게 연소되는 과정을 거쳐 기계적 에너지를

가진 고온고압의 기체로 되고 고압의 기체는 포강내에 있는 탄을 포구 쪽으로 이동시키고 점점 가속시켜 고속으로 탄을 발사시킨다. 자동차에서는 고온의 가스가 피스톤을 밀어내는데 반해 총포에서는 탄을 밀어 움직이게 하는 것이 다를 뿐이다. 추진제 점화가 시작되면 추진제의 입자 표면에서부터 연소가 시작되고 연소기체가 발생하고 그로 인한 압력은 빠른 속도로 약실 내부를 채우게 될 것이다[3]. 탄이 크게 이동하기 전까지 즉 탄의 초기 운동에 필요한 저항력보다 압력이 더 커지면 탄의 이동이 시작되고 연소기체의 증가에 따라 압력은 더 높아지고 탄은 포구 쪽으로 가속되고 탄의 이동에 따라 약실의 부피도 증가하는데 이에 따라 기체압력이 최대값에 이른 후 다시 감소하게 된다. 약실 내 최대압력 점 이후에 압력은 떨어지고 탄이 포구에 이르면 최대압력과 비교할 때 작은값을 가지며 그 값은 최대압력의 약 10~30 % 정도의 비율을 가진다. 또한, 이러한 메카니즘은 포구까지의 짧은 거리에서 탄에 집중적으로 작용하며 그로 인해 탄은 포구를 떠나기 전까지 가속된다. 포강 내에서의 가스의 압력과 탄의 움직임에 대해서는 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = PA = m \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

Where, P : Pressure

A : Cross sectional area of ammunition

m : Ammunition weight

v : Velocity

Fig. 2와 같이 추진제의 연소로 인해 강내의 가스압력은 초기에 급격히 올라가고, 압력에 의해 탄이 포구쪽으로 이동함에 따라 강내 압력은 최고점을 찍은 후 감소하게 된다. 그리고 탄의 속도는 계속 가속되어 포구를 벗어날 때 최고값을 가지게 된다.

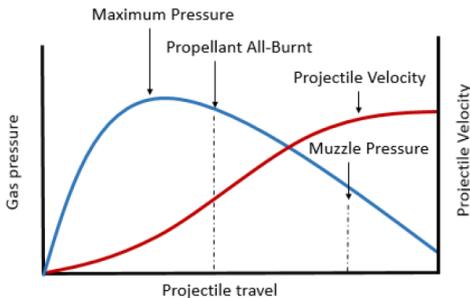


Fig. 2. Internal Ballistics Curve

2.2.2 사거리

박격포탄의 발사 후 비행은 포물선운동 궤적을 그린다. 실제 비행은 공기저항을 받지만, 공기저항이 없다고 가정하면 포물선운동 궤적방정식으로부터 수평 이동 거리, 즉 수평사거리를 구할 수 있으며 Eq. (2)와 같이 초기속도, 발사 각도로부터 수평사거리를 구할 수 있다[3].

$$x_s = \sin 2\theta \frac{v_0^2}{g} \quad (2)$$

Where, x_s : Travel distance

v_0 : Initial velocity

θ : Firing elevation

g : Acceleration of gravity

Eq. (2)에서 보는 바와 같이 수평사거리는 초기속도의 제곱에 비례하고 발사각도 \sin 값에는 비례하여 변하는 것을 알 수 있다. 즉 공기저항이 없다면 수평사거리는 발사속도와 발사각도에 따라 달라지는 것을 알 수 있다.

실제 비행시에는 공기저항이 있으므로 뉴턴의 운동 법칙으로부터 Eq. (3)의 식으로 사거리를 구할 수 있다[7].

$$x_D = \frac{m}{k} \ln \left(1 + \frac{\sin 2\theta \cdot v_0^2 \cdot k}{m \cdot g} \right) \quad (3)$$

Where, k : $\frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot A$

공기저항은 비행체의 항력계수(C_d)와 단면적에 따라 증가하고 공기의 밀도(ρ)가 높을수록 증가하는 것을 알 수 있다.

항력계수와 단면적은 탄약 고유의 특성이며 수락시험 및 ASRP시험에서는 품질관리가 된 동일한 로트를 대상으로 하고 있으므로 같은 로트에서는 거의 동일한 것으로 볼 수 있다. 그러나 공기의 밀도는 대기의 기온과 기압에 따라 변하는 자연환경적인 요소이다. 기온과 기압 외에도 탄의 비행에 영향을 미치는 자연환경적인 인자로는 바람이 있는데, 바람의 방향과 속도에 따라서 사거리가 달라질 수 있다. 이러한 외부 환경요인에 의한 영향을 정리하여 사표(range table)가 각 탄종별로 운용되고 있다. 81MM 고폭탄의 경우에도 사표[8]에 각각의 조건에 따라 변화하는 사거리가 제시되어 있다. Table 1이 6호 장약에 대한 일부 사거리에서의 바람방향과 속도, 공기 온도, 공기밀도의 변화량별 사거리 변화량을 예로 나타내었다. 고각이 높아질수록 사거리가 짧아지고, 맞바람(전풍)이 있을 때, 공기온도가 낮아지고 밀도가 증가하면

사거리는 감소하는 것을 보여준다.

Table 1. Example of range table

range (m)	Angle of elevation (mil)	wind(knot)		Air Temp. (75°F, %)		Air density (%)	
		tail	head	up	down	up	down
6250	853	12.5	-11.4	14.7	-5.0	-23.9	22.4
6275	839	12.5	-11.4	14.7	-5.0	-23.9	22.4
6300	822	12.5	-11.4	14.7	-5.1	-24.0	22.4
6325	800	12.5	-11.4	14.7	-5.1	-24.1	22.4

Fig. 3은 Eq. (3)로 계산한 포구속도별 사거리와 사표에 제시된 장약별 포구속도별 사거리를 도시한 것이다.

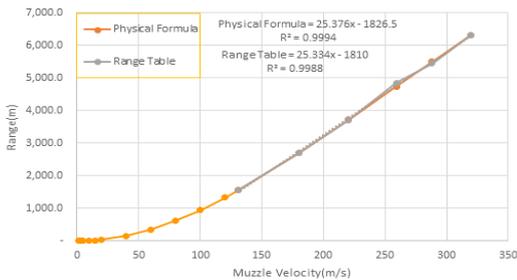


Fig. 3. Muzzle Velocity vs. Range

포구속도 범위 130.8~320.08 m/s에서는 1차식으로 회귀분석을 해도 이론식에 의한 사거리와 사표에 의한 사거리 모두 상관계수가 거의 1에 가깝게 나타났다. 이론식에 따르면 속도제곱의 지수로그에 비례하지만 위 범위의 포구속도에서는 1차 회귀직선식에 따라 사거리를 추정할 수 있다. 사표와 이론식으로 계산한 포구속도와 사거리의 기울기도 25.376과 25.334로 거의 유사하였다. 다만, 차이점은 4호 장약과 5호 장약의 포구속도에서 이론식에 의한 계산 사거리와 사표에 의한 사거리가 차이가 있으며 4호 장약의 포구속도인 259.3 m/s에서 사표 사거리가 약간 길고 5호 장약의 포구속도인 288.2 m/s에서는 사표사거리가 짧은 것으로 나타났다.

3. 포구속도 및 사거리 측정방법

3.1 포구속도 측정방법

박격포탄은 추진제 연소가스의 압력으로 매우 빠른 속도로 포에서 발사되는데 포구에서 발사되어 날아가는 속도를 포구속도라고 한다. 포구속도는 주로 도플러레이다를 이용해서 측정하고 있다.

도플러레이다는 전파가 송/수신되는 과정에서 물체의 이동에 의해 발생하는 도플러 효과를 이용하여 속도를 측정하는 시험 장비이다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 송신 안테나에서 이동하는 물체에 연속으로 전파(f_t)를 송신하면 이 전파는 물체에서 반사되어 수신 안테나로 수신되고, 송신 주파수와 수신 주파수의 차이인 도플러 주파수(f_d)를 얻을 수 있다. 송신 주파수와 도플러 주파수로부터 물체의 이동속도의 관계식은 다음과 같고, 이러한 관계식에 의하여 물체의 속도를 계산할 수 있다[9].

$$V = \frac{Cf_d}{2f_t} \tag{4}$$

Where, V : Velocity

C : Speed of light

f_t : Transmit frequency

f_r : Receive frequency

f_d : Doppler frequency($f_d = f_t - f_r$)

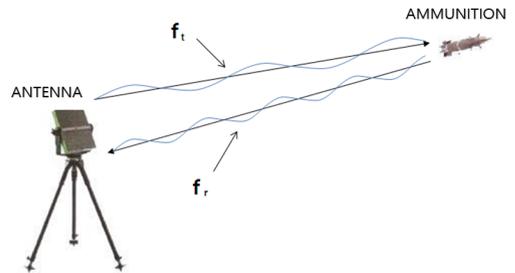


Fig. 4. Measurement principle of Doppler radar

Table 2. Doppler Radar spec for muzzle velocity

Spec		SL-520P	SL-525P	
RF/IF	Output Power[W]	0.5	0.5	
	Antenna gain[dBi]	20	25	
	Beam width [deg]	Vertical	10	10
		Horizontal	20	10
	Measure range(km) *155MM projectile	4	6	
	type	Microstrip array		
Operating Frequency	10.525 GHz±6 MHz			
Signal processor	A/D transformation	12 bit		
	sampling rate	1.6~3,000 μs/sample		
	Triger source	sound / FOT-2		

도플러레이다는 안테나로부터의 도플러 신호를 이용하여 포구로부터 일정거리까지의 속도를 측정한다. 다음 이 측정된 속도 포인트에 짧은 단위시간 간격으로 샘플링해서 속도(V)를 계산한다. 포구속도 측정에 주로 이용하는 도플러레이다의 제원은 Table 2와 같다.

안테나의 이득이 높을수록 측정 거리는 길어지나 빔폭이 좁아져 측정 가능한 각도는 좁아진다. 각각의 도플러레이다에 대해서 검토정한 결과 오차는 0.01 m/s이다[10].

3.2 사거리 측정방법

박격포탄의 시험은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 포가 발사되는 사격위치와 포탄이 떨어지는 탄착지 사이에 산으로 가로막혀 있는 지역에서 이루어진다. 시험장의 지형적인 제한으로 인하여 탄도추적 레이더를 사용할 경우 음영지역 발생으로 사거리 측정이 불가능하기 때문에 GPS좌표를 활용한 사거리 측정 기법을 사용하고 있다. 탄약을 발사하는 포가 위치한 사격진지는 GPS로 직접 좌표를 측정하고 탄착점의 GPS좌표는 관측소에서 Gonio-Light(측각기+레이저거리측정기)를 사용하여 GPS좌표를 획득하고 사격진지와 탄착점간의 수평거리를 계산한다. 수평거리는 GPS좌표 중 격자화된 UTM좌표계(Universal Transverse Mercator Coordinate System)나 MGRS 좌표계(Military Grid Reference System)에서 피타고라스 정리를 사용하여 계산할 수 있으며 각 지점의 GPS 좌표에는 표고값이 있으므로 표고차 계산이 가능하다.

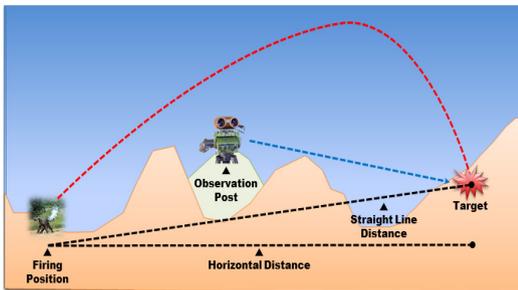


Fig. 5. Range measuring method

사거리 계산은 앞서 산출된 수평거리와 표고차와 사표에서의 낙각인수를 이용하여 보조사거리만큼 더하여 계산하며 Fig. 6과 같다. 보조사거리 산출은 “표고차 × 낙각인수”로 하며 낙각인수는 낙각의 코탄젠트(cot)값이다. 사표상의 낙각과 측정된 표고차를 반영하여 보조사거리를 산출하고 이를 GPS좌표로 계산한 수평거리에 더하여 보정된 수평사거리를 구하게 된다.

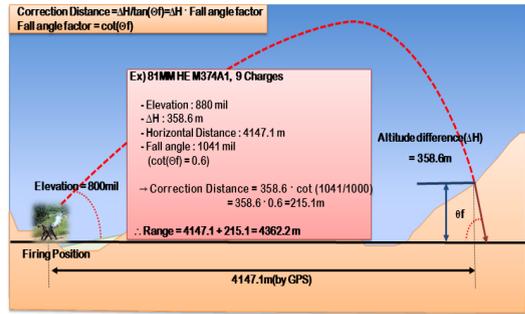


Fig. 6. elevation difference correction method

사거리측정은 포탄이 떨어지는 탄착점의 GPS좌표를 관측소에서 GonioLight(측각기+레이저거리측정기)를 사용하여 획득하기 때문에 여러 가지 측정오류가 발생할 수 있다. 원거리 좌표획득 시 정확성을 높이기 위한 연구가 진행되었으나 시험장비에서 1.6 km 사거리일 경우 거리 0.93 m, 표고 0.98 m의 오차가 발생할 수 있다[5]. 이를 사거리로 환산한 합산오차는 1.35 m이다. 또한 사거리 측정은 포탄이 표적지에 명중하여 폭발하는 순간 그 위치의 좌표를 획득해야 하므로 측정자에 의한 인적 오류가 생길 수 있고, 폭발 시 발생하는 폭연과 파편 등으로 인해 레이저로 측정한 거리에 오류가 발생할 수 있는 문제점을 내포하고 있다. 사거리 측정을 위해서는 표적지를 관측할 수 있는 곳에 측정원이 배치되어야 하므로 인원의 분산배치에 따른 업무효율 저하와 안전성 위험성을 가지고 있다.

3.3 측정방법 간 비교

포구속도와 사거리 측정법 간에 측정 오차와 소요시간을 비교하면 다음과 같다.

먼저 측정오차를 보면 포구속도 측정에 사용하는 도플러레이다에 대한 검토정 결과 오차는 0.01 m/s였고, 사거리 측정방법은 측정장비에 의한 오차가 1.35 m로 산출되었다. 포구속도의 측정오차가 사거리 측정 오차에 비해 1/1,350로 매우 작은 것을 알 수 있고 포구속도와 사거리 간의 측정단위를 고려해도 포구속도 측정의 오차가 작은 것으로 나타났다. 그리고 측정자에 의한 오차의 경우에도 포구속도 측정에서는 거의 없으나, 사거리 측정에서는 발생할 수 있다.

측정에 소요되는 시간을 비교해 보면 포구속도 측정은 도플러레이다를 이용해서 실시간 측정이 가능하지만, 사거리는 실시간 좌표 측정 후 거리로 환산하는 과정이 추가되어 더 많은 시간이 소요되므로 포구속도를 측정하는

것이 효율적 방법이다.

4. 수락시험 기준 비교

군이 사용하는 모든 탄약은 국방규격 기준에 따라 로트 단위로 수락시험을 실시하여 요구조건을 충족한 탄약이다. 수락시험은 완성탄을 구성하는 각각의 구성품과 완성탄에 대해서 별도로 실시한다. 각 구성품에 대해서 수락시험을 통해 규격일치성을 확인하고, 규격을 충족한 구성품으로 조립된 완성탄에 대해서도 수락시험을 다시 실시하여 최종적으로 규격일치성을 확인한다. 완성탄 및 추진장약, 추진제, 신관, 뇌관, 점화약통 등 다양한 구성품에 대하여 각각의 국방규격이 제정되어 있으며 국방규격 현황은 Table 3과 같다[11].

Table 3. Mil-specs of 81mm HE

Spec No.	Spec title
KDS 1315-1087	Projectile, 81MM HE, K00 Loading, Assembling and Packing
KDS 1315-1092	Charge, Propelling, K00 Loading, Assembling and Packing
KDS 1315-1094	Propellant KM00 for 81MM Mortar K00 Propelling Charge
KDS 1390-3001	Multi-Option Fuze, K00 Loading, Assembling and Packing
KDS 1315-1090	Cartridge, Ignition, K00 Loading, Assembling and Packing

국방규격에 명시된 수락시험 항목에 사거리, 포구속도 관련시험항목이 있는 구성품은 완성탄, 추진장약, 추진제가 있으며 각 품목의 관련 시험항목과 기준을 정리하면 Table 4와 같다. Table 4를 보면 완성탄에서는 사거리 표준편차에 대해서 저장약(0호)과 고장약(6호)로 구분하여 각각 20 m 이하, 100 m 이하로 상한값이 정해져 있다. 그리고 추진장약은 포구속도를 측정하며 평균 상, 하한값과 로트추정불량률 상한값(Acceptance Quality Limit)이 기준으로 정해져 있다. 추진제도 추진장약처럼 포구속도를 측정하는데 평가기준은 표준편차에 대해서만 2.19 m/s 이하로 되어 있다. 이는 추진장약 제조 시 추진제량을 조정하여 포구속도 평균값을 323.05 m/s로 맞출 수 있기 때문이다.

Table 4. Range and muzzle velocity of 81mm HE K247

Item	Test Item	Zero charge	Full charge
Projectile	S.D of range	≤ 20m	≤ 100m
Charge, Propelling	Muzzle Velocity	Mean	317.3~328.8m/s
		Quality Limit	≤ 2.86m/s
Propellant	S.D of Muzzle Velocity		≤ 2.19m/s

수락시험에서 완성탄은 평가항목이 사거리 표준편차이고, 추진제 및 추진장약의 평가항목은 포구속도로 서로 다르게 되어 있다. 추진장약이 하는 역할은 포구 내에서 연소하여 고압가스를 발생시키고 압력에너지로 탄약을 일정수준의 속도로 발사시키는 것이기 때문에 이러한 목적에 맞게 추진장약 외 다른 부품은 기준탄을 사용해서 영향을 최소화하여 포구속도를 측정하고 평균의 상, 하한 범위와 로트추정불량률 상한 기준을 규정하고 있다. 그리고 추진제는 추진장약을 구성하는 부품으로서 추진제량을 조정하여 포구속도의 평균값은 조정할 수 있으므로 포구속도 균일성을 확인할 목적으로 표준편차만 상한값으로 설정되어 있다. 추진제나 추진장약의 수락시험에서 포구속도를 적용하는 것은 사거리에 비해서 외부 환경의 영향이 적고 앞장에서 살펴본 바와 같이 시험 시 측정소요시간이 짧고 측정결과가 정확하기 때문이다.

따라서 저장탄약을 평가하는 ASRP에서도 시험항목을 포구속도로 하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 장기저장으로 인해서 탄도에 영향을 미칠 탄두의 형상변화는 없고 추진제의 화학적 특성에 기인한 자연분해 반응[12]으로 성능저하가 일어나므로 이를 확인할 수 있는 항목인 포구속도 측정이 최적의 방법이다. 그리고 완성탄 수락시험에서는 사거리 표준편차를 사용하므로 적절한 방법으로 포구속도 표준편차로 환산하는 방안을 연구해야 한다.

5. 포구속도 및 사거리간 상관성 분석

ASRP는 생산 후 수락시험을 거쳐 규격기준을 만족하여 군으로 납품되어 10년 이상 장기간 저장된 로트에 대해서 시험하고 평가를 수행한다. 따라서 저장신뢰성평가를 수행하는 기준은 주로 완성탄 수락시험 기준을 활용하고 있다. 81MM 고폭탄의 완성탄 수락시험 기준은 사

거리 표준편차이다. 앞서 살펴본 바와 같이 사거리 측정하는 방법이 포구속도를 측정하는데 비해 그 과정이 복잡하고, 측정결과의 오차발생 가능성도 높아 시험항목을 포구속도로 전환하면 시험의 효율성과 평가의 신뢰성을 높일 수 있다. 포구속도 표준편차의 평가기준을 설정할 수 있도록 사거리와 포구속도와의 상관성을 비교, 분석하였다. 상관성 비교는 두가지 방법으로 했는데 먼저 사표를 이용하여 포구속도와 사거리와의 상관성을 확인하였고, 수락시험에서 측정한 포구속도와 사거리 시험데이터간 상관성을 분석하여 포구속도와 사거리간의 표준편차를 서로 비교하였다.

5.1 사표를 이용한 포구속도 표준편차 환산

81MM 고틱탄 사표를 이용하여 포구속도와 사거리간의 상관관계를 비교할 수 있다. 사표에는 추진장약 호수별로 고각, 포구속도, 풍속, 공기 온도, 공기밀도의 변화량에 따른 사거리 변화량이 제시되어 있는데 이중 주로 시험이 이루어지는 6호 장약의 포구속도 변화에 따른 고각별 사거리 변화량을 발취하여 정리하면 Table 5와 같다.

Table 5. Variation of range according to muzzle velocity

Range	Angle of Elevation (mil)	Δx for muzzle velocity	
		- 1m/s	1m/s
		6.000m	943
6.100m	913	-22.5m	17.7m
6.200m	846	-22.5m	18.0m
6.300m	822	-22.5m	18.3m
6.325m	800	-22.5m	18.3m

포구속도 증감에 따른 사거리 변화량은 포구속도 감소 시 사거리 감소량이 증가 시와 비교하여 더 커지는 것을 알 수 있다. 또한, 고각이 높아져서 사거리가 짧아질수록 그 폭이 감소하는 것을 보여준다. 고각에 따라 다르지만, 최대사거리가 나오는 고각인 800 mil에서 포구속도가 1 m/s 감소하면 사거리는 22.5 m가 감소하고, 포구속도가 1m/s 증가하면 사거리가 18.3 m 증가한다.

포구속도 증감에 따른 사거리 변화량을 이용하면 국방규격의 사거리 표준편차 기준을 포구속도 표준편차 기준으로 환산할 수 있다.

먼저, 포구속도 1 m/s 증감에 따른 사거리 증감량을 보면 사거리 6,200 m, 고각 846 mil일 경우, -22.5 m/s, 18.0 m/s이다. 이러한 증감 비율을 이용하여 사거

리 표준편차가 100m일 때 포구속도 표준편차 증감량을 구하면 평균사거리가 6,200 m일 경우 |4.44| m/s 감소, |5.56| m/s증가이고 평균값은 |5.00| m/s이다.

다음으로 실제 수락시험 시와 같이 로트별 시료수 24 발, 20개 로트에 대해서 포구속도 모의데이터를 생성하여 포구속도 변동에 따른 사거리의 변동을 모사하였다. 포구속도 모의데이터는 정규분포를 따르는 조건으로 생성하였으며 이는 사거리공산오차가 정규분포를 따르기 때문이다[12]. 포구속도 모의데이터의 범위는 323.05±2.08 m/s이며 수락시험 데이터의 로트별 표준편차 평균값인 1.06 m/s의 1.96배(95%신뢰수준)를 적용하였다. 난수로 생성된 포구속도 각각에 대한 사거리를 사표에 따라 계산한 후 로트별로 평균 및 표준편차를 구하여 정리한 결과를 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Range table based range variation simulation

Factor		Muzzle Velocity, m/s	Range, m (846 mil)
Lot Mean	Mean	322.92	6,195.12
	S.D	0.25	5.01
	Max	323.37	6,204.24
	min	322.40	6,184.31
Lot S.D	Mean	1.18	24.23
	S.D	0.10	2.03
	Max	1.42	29.19
	min	1.04	21.19
S.D Multiple (Range /M.V)	Mean	-	20.53
	S.D	-	20.30
	Max	-	20.56
	min	-	20.38

포구속도의 로트평균은 최소 322.40 m/s에서 최대 323.37 m/s로 나타났으며 전체 평균은 322.92 m/s이다. 그리고 로트별 포구속도의 표준편차는 평균 1.18 m/s이고 최소 1.04 m/s, 최대 1.42 m/s이다. 이에 대응하는 사거리의 로트별 표준편차는 최소 21.19 m, 최대 29.19 m이고 평균은 24.23 m였다. 포구속도의 표준편차와 사거리의 표준편차간 비율을 계산해 보면 평균적으로 20.53배이고, 최소 20.38배, 최대 20.56배로 나타났다. 사거리 표준편차 100 m에 상응하는 포구속도 표준편차는 평균 4.87 m/s이고 최소 4.86 m/s, 최대 4.91 m/s이다. 포구속도 증감에 따른 사거리 증감비율에 따른 단순 산술평균값으로 구한 포구속도 증감량인 |4.44| ~ |5.56| m/s보다 좁은 범위의 값으로 나타났다. 따라서 포구속도 표준편차의 규격기준으로 단순 비례관계로 구한 값보다는 많은 수의 모의데이터로 모사하

여 구한 평균값인 4.87 m/s를 적용하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

5.2 실측데이터를 이용한 포구속도 환산

81MM 박격포탄에 대한 수락시험을 2016년부터 2020년까지 22개 로트를 수행하였다. 수락시험 시 로트당 24발을 시험하였고 포구속도와 사거리를 측정하였다. 포구속도와 사거리의 로트별 평균과 표준편차를 나타낸 그래프가 Fig. 7이다.

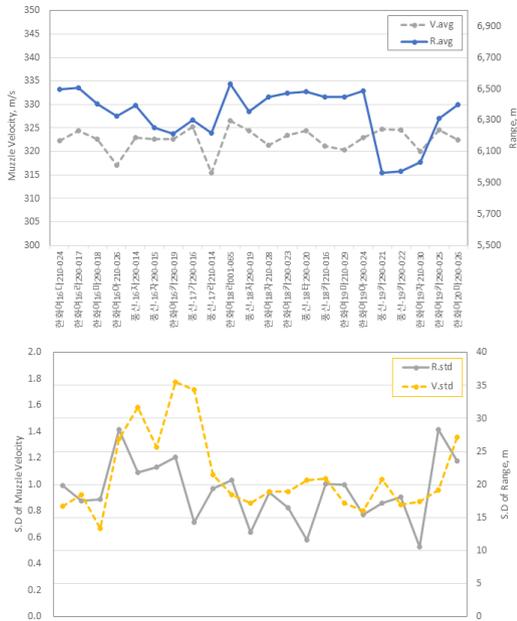


Fig. 7. Test results of muzzle velocity and range

Fig. 7에서 보면 각 로트별 포구속도 평균값의 증감에 따라 사거리 평균값도 유사한 방향성을 가지고 증감한다. 포구속도값의 증감정도와 사거리 증감정도가 정확히 일치하지 않는 것은 Table 1에서 본 바와 같이 사거리가 포구속도에만 영향을 받는 것이 아니라 풍향과 풍속, 공기의 밀도, 온도 등에도 영향을 받기 때문이다. 그리고 각 로트별 포구속도 표준편차와 사거리 표준편차값도 유사한 방향성을 보여주고 있다. 그러나 평균값의 증감과 같이 그 정도가 일정하게 유지되고 있지는 않다.

수락시험 결과에 대해서 평균값과 표준편차를 정리하면 Table 7과 같다. 포구속도와 사거리의 로트별 평균값의 전체 평균과 표준편차를 보면 평균의 비율에 비해 표준편차의 비율이 훨씬 크게 나타나는데, 이는 사거리가 포구속도 외에 각 로트별로 시험이 수행될 때의 공기온

도와 밀도, 바람의 방향, 속도에 따른 영향을 받아 분산이 증가한 것으로 추정해 볼 수 있다. 그리고 로트별 표준편차의 전체 평균과 표준편차는 그 비율은 거의 유사하다.

Table 7. Acceptance test results for 81mm HE

Factor		Muzzle Velocity	Range
No. of Lot		22	
No. of Sample		24	
Lot Mean	Mean (rate)	322.56 m/s (1.0)	6,339.5 m (19.6)
	S.D	2.60 m/s	170.1 m (65.4)
Lot S.D	Mean (rate)	1.08 m/s (1.0)	19.06 m (17.6)
	S.D	0.30 m/s	4.69 m (15.6)

국방규격에서 수락시험 평가기준인 사거리 표준편차 100 m에 상응하는 적절한 포구속도의 표준편차 기준을 구하기 위해 포구속도 및 사거리 표준편차간의 비율을 이용하였다. Table 7에서 표준편차의 포구속도와 사거리간 비율이 1:17.6이었으므로 사거리 표준편차 100m 수준의 포구속도 표준편차는 5.68 m/s였다.

Table 8은 수락시험에서 얻은 22개 로트에 대한 포구속도와 사거리 측정결과를 이용해서 실제 사거리를 측정하여 얻어진 실측값과 포구속도에서 사표를 이용해서 계산한 사거리 계산값의 표준편차와 사거리 분산을 비교한 것이다.

Table 8. Range SE Comparison between Test results and range table calculation

No.	S.D, m		Variance, m ²		R ²
	test results	calculation	①test results	②calculation	
Mean	26.41	20.59	683.1	460.0	0.78
min	14.14	12.25	200.0	150.1	0.22
Max	37.80	35.35	1,429.1	1,249.5	2.74

로트별 사거리 실측값의 표준편차가 각 포구속도를 사표로 환산하여 계산한 표준편차보다 컸으며 평균값, 최소, 최대값도 같은 경향을 보이고 있다. 이는 실제시험에서는 바람, 온도 등 외부요소영향을 받은 것으로 추정할 수 있다. 즉 Eq. (5)과 같이 실측값의 분산($V_{Test\ results}$)은 포구속도 변화로 발생한 계산값의 분산($V_{Calculation}$)과

공기저항과 같은 외부요소에 의한 분산($V_{External\ effect}$)의 함으로 볼 수 있다[13]. 그리고 Eq. (6)은 실측값과 계산값의 분산비(R^2)을 나타내며 전체 사거리 분산에서 포구속도에 의해 변동되는 분산의 비율을 알 수 있다.

$$V_{Test\ results} = V_{Calculation} + V_{External\ effect} \quad (5)$$

$$R^2 = V_{Calculation} / V_{Test\ results} \quad (6)$$

Table 8에서 사거리 계산값과 실측값의 분산비(R^2)를 보면 범위가 0.22~2.74이고 평균값은 0.78이었다. 이는 실제 사거리의 분산에 포구속도가 영향을 미치는 정도가 평균적으로 78 %이고 공기저항 등 외부환경요소가 미치는 영향이 평균 22 %로 해석할 수 있다. 즉, 실측 데이터에서 구한 포구속도 표준편차인 5.68 m/s에는 외부환경요소에 의한 22 %의 변동이 포함된 값이므로 이를 제외하고 보정하면 4.43 m/s이다. 한편, 분산비가 1 이상인 일부 로트는 실제 시험 시 측정된 사거리 분산이 포구속도에 의해 발생할 수 있는 분산보다 작다는 의미이므로 포구속도에 의한 분산을 외부 환경요소가 감쇠시킨 것으로 볼 수 있다. 이러한 결과를 볼 때 외부 환경요소는 대부분 사거리의 변동을 확대시키지만 일부는 감쇠시키는 사례도 있음을 알 수 있다.

수락시험 실측데이터를 분석한 결과 사거리 표준편차에는 외부영향에 의한 표준편차 증가가 포함되므로 실측 데이터 상관관계 분석에 의한 값을 적용할 경우 포구속도 표준편차를 크게 설정할 위험이 있다. 따라서 포구속도 표준편차를 평가하기 기준은 외부영향에 의한 표준편차 증감이 배제된 조건에서 수행하는 것이 적절하다.

6. 결론

81mm 고폭탄 K247 완성탄의 사거리 국방규격 기준을 ASRP 시 포구속도 기준으로 전환하기 위하여 측정방법의 검토, 사표 분석, 그리고 수락시험 시 포구속도 및 사거리 실측 데이터를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 제시한다.

포구속도와 사거리를 측정하는 시험방법을 비교한 결과 도플러레이다를 이용한 포구속도 측정방법이 측정오차가 현저히 적어 시험의 신뢰성과 효율성이 높은 것으로 분석되었다.

사표의 포구속도 증감에 따른 사거리 증감률을 기준으

로 포구속도와 사거리의 표준편차를 모사하여 사거리 표준편차 100 m에 상응하는 포구속도 표준편차는 4.87 m/s로 추정되었다.

수락시험 실측데이터로부터 포구속도와 사거리간 상관성을 분석하여 포구속도 표준편차 평가기준을 추정한 결과는 5.68 m/s이었으나 이는 외부환경요소에 의한 영향이 약 22% 포함된 것으로 분석되었다.

ASRP를 위한 포구속도 표준편차 평가기준은 외부 환경요소에 의한 영향을 배제해야 하므로 포구속도와 사거리의 표준편차 상관관계만으로 구한 4.87 m/s가 적절한 것으로 판단되었다.

본 연구로 ASRP시험 시 외부환경의 영향은 줄이고 소요시간은 줄여 시험의 신뢰도와 효율성을 높일 수 있었다. 다만, 외부환경이 미치는 영향을 정확히 파악하기 위해서는 보다 많은 실측데이터를 확보하여 추가분석이 필요하다.

References

- [1] S. W. Park, K. S. Yoon, H. D. Kwon, "An Empirical Study on the Financial Performance of Ammunition Stockpile Reliability Program upon the Defense Management", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 16, No. 1, pp. 266-273, Jan. 2015.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.1.266>
- [2] K. S. Yoon, T. M. Kwon, B. C. Park, "The Study on the Grade System and the Grading Criteria of Ammunition Stockpile Test Procedures", Journal of the Korea Science and Technology, Vol. 7, No. 4, pp. 26-35, Dec. 2004.
- [3] C. L. FARRAR, D. W. LEEMING, "MILITARY BALLISTICS", Brassey's Publishers Limited a member of the Pergamon Group, pp. 9-35, 72-100, 1982.
- [4] W. S. Goo, D. N. Lee, S. Y. Lee, "The Study of Test & Evaluation Technology for Mortar Range in Mountainous Areas, DTaQ-13-3767-R, 2013.
- [5] D. N. Lee, K. S. Yoon, "Study for the Improving Accuracy of Target Coordinate Acquisition from Long Distance Using by VRS RTK", Journal of the KIMST, Vol. 21, No. 4, pp. 471-480, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.9766/KIMST.2018.21.4.471>
- [6] S. B. Ha, O. J. Kwon, N. S. Cho, "The Study of Weather Effects on Artillery Fire", Vol. 46, No. 1, pp. 69-80, 2020.
- [7] S. Y. JEONG, D. K. CHWA, "Real-time Projectile Motion Trajectory Estimation Considering Air Resistance of Obliquely Thrown Object Using Recursive Least

Square Estimation", The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 67, No. 3, pp. 427-432, 2018.

- [8] "81MM Mortar Ballistic Tables", Republic of Korea Army, 2004.
- [9] Y. I. Park, G. I. Son, "A report on Quality Improvement for Muzzle Velocity Radar of K9", DTaQ-13-3665-Q, pp. 5-6, 2013.
- [10] "Calibration Results", KM23-3402-0001('23.6.), Korea Research Center for Measuring Instruments.
- [11] "81MM, HE K247 LOADING, ASSEMBLING AND PACKING(1315-1087-2)", "Charge, Propelling, K675 Loading, Assembling and Packing(1315-1092-1)", "Propellant KM10 for 81MM Mortar K675 Propelling Charge(1315-1094-0-2)", "MULTI-OPTION FUZE K589 LOADING, ASSEMBLING AND PACKING(1390-3001-0)", "CARTRIDGE, IGNITION, K2 LOADING, ASSEMBLING AND PACKING(1315-1090-1)", Korean Defense Specification.
- [12] J.E. Lee, Artillery shooting Analysis simulation development and application research, Master's thesis, Hansung University, pp. 18~19, 2020.
- [13] Y. S. Kim et al, Introduction to Defense Quality Management, Hyungseul publishing, pp. 210, 2010.

윤 근 식(Keun-Sig Yoon)

[정회원]



- 2003년 8월 : 충남대학교 대학원 화학공학과 (공학석사)
- 2010년 8월 : 충남대학교 대학원 화학공학과 (공학박사)
- 2013년 11월 : 품질관리기술사
- 1995년 12월 ~ 현재 : 국방기술품 질원(DTaQ) 책임연구원

<관심분야>

시험평가, 신뢰성, 품질경영, 고에너지물질

김 원 석(Won-Seok Kim)

[정회원]



- 2020년 2월 : 금오공과대학교 기계공학과 (학사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 연구원

<관심분야>

품질경영, 기계공학, 신뢰성공학

최 준 혁(Jun-Hyeok Choi)

[정회원]



- 2017년 9월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 선임기술원
- 2022년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학 석사과정

<관심분야>

신뢰성 평가, 시스템 시뮬레이션, 통계적 품질관리