

소구경 화기 사격 시 발생하는 사격충격에 대한 연구

Introduction to the Study of the Firing Shock of Small Arms

이준호†
Joon-Ho Lee

1. 서 론

개인 병사가 휴대하여 운용하는 소구경 화기 사격 시 발생하는 사격충격(반동, recoil, kick)은 모든 작용력에는 같은 크기를 가지고 반대방향으로 작용하는 반작용력이 있다는 뉴턴의 제 3법칙(작용-반작용 법칙)과 밀접한 관련이 있다. 즉, 화기 반동의 운동량(momentum)은 탄의 운동량과 총열로부터 분출되는 추진가스의 운동량의 합과 같게 된다. 사격 시 사수는 반동에 의해 뒤로 밀리게 되는데, 추진가스(추진제)의 양이 많을수록, 추진가스 분출 속도가 빠를수록, 탄이 무거울수록, 총구 속도가 빠를수록, 화기가 가벼울수록 반동은 커지게 된다. 사격에 의해 사수가 체감하는 반동은 인지 반동(felt recoil)이라고 하며, 이로 인해 사수가 느끼는 고통/불쾌감은 사격 시 사수 쪽으로 후퇴(주퇴)하는 화기를 사수가 힘으로 저지함으로써 견착 부위의 피부에 작용하는 압력과 연관되어 있다. 인지 반동을 저감하기 위해서 Fig. 1과 같은 반동판(recoil pad), 제퇴기(muzzle brake), 충격 완충기(shock absorber) 등이 소구경 화기에 적용되고 있다.

저자의 연구 경험 상, 총포 분야에 종사하지 않는 일반인들이 사격충격을 의미하고자 할 때 충격, 반동, 충격량, 충격값 등의 용어를 명확한 정의를 알지 못한 상태에서 사용하는 경우가 많이 있어 왔다. 따라서 본 논문에서는 소구경 화기 사격 시 발생하는 사격충격 및 사격충격의 수준을 나타내기 위해 사용되는 5가지 물리량에 대해 간단히 설명하였고, 이를 통해 일반인들이 사격충격에 대한 정의를 명확히 하는데 도움을 주고자 하였다.

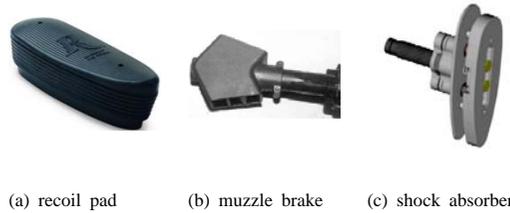


Fig. 1 Accessories for small arms to reduce the felt recoil

2. 사격충격 관련 물리량

사격충격과 관련된 물리량은 아래와 같이 총 5가지로 분류될 수 있다.

- 1) 충격량(Impulse) : 단위 N·s
- 2) 주퇴에너지(Free recoil energy) : 단위 J
- 3) 주퇴속도(Free recoil velocity) : 단위 m/s
- 4) 충격력(Firing shock force) : 단위 N
- 5) 충격가속도(Firing shock acceleration) : 단위 m/s² 또는 g

2.1 충격량, 주퇴에너지 및 주퇴속도

충격량(I)은 사격에 의해 화기가 보유하게 되는 운동량으로써 운동량 보존법칙에 의해 식 (1)과 같이 표현된다.

$$I = m_{rifle} \cdot v_{rifle} = m_{projectile} \cdot v_{projectile} + m_{powergases} \cdot v_{powergases} \approx m_{projectile} \cdot v_{projectile} \quad (1)$$

위에서 m_{rifle} , v_{rifle} , $m_{projectile}$, $v_{projectile}$, $m_{powergases}$, $v_{powergases}$ 는 각각 화기 질량, 화기 주퇴 속도, 탄두 질량, 탄두 속도(총구 속도), 추진가스 질량 및 추진가스 배출속도를 의미한다. 소구경 화기에서는 추진가스에 의한 운동량이 탄두가 가지는 운동량에 비해 매우 작으므로, 화기의 충격량은 총

† 교신저자; 정회원, 국방과학연구소
E-mail : justinlee@add.re.kr
Tel : (042)821-2769, Fax : (042)823-3400

구 속도 및 탄두 질량의 곱으로 일반적으로 표현된다.

주퇴에너지(E)는 사격 충격에 의해 주퇴하는 화기가 갖는 운동에너지로써, 식 (2)와 같이 표현된다.

$$E = \frac{1}{2} m_{rifle} \cdot v_{rifle}^2 = \frac{(m_{rifle} \cdot v_{rifle})^2}{2 \cdot m_{rifle}} = \frac{I^2}{2 \cdot m_{rifle}} \quad (2)$$

주퇴에너지는 식 (1)에서 구해지는 운동량 및 화기 질량을 이용해서 계산된다.

주퇴속도(v_{rifle})는 사격에 의해 주퇴하는 화기의 속도로 식 (3)과 같이 표현된다.

$$v_{rifle} = \frac{I}{m_{rifle}} \quad (3)$$

상기 언급한 세 가지 물리량은 인지 반동과 연관된 지표이다. 미 육군 시험평가절차서인 TOP 3-2-826(Kinetic test for small arms)에 의거 Fig. 2와 같은 진자시험기(recoil pendulum)를 이용해서 식 (4)와 같이 충격량을 측정할 수 있으며, 측정된 충격량을 이용해서 식 (2) 및 (3)을 통해 주퇴에너지와 주퇴속도를 계산할 수 있다.

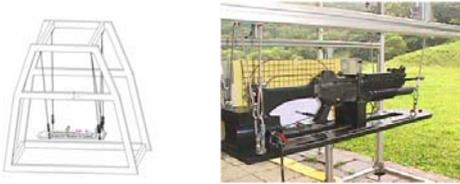


Fig. 2 Recoil pendulum to measure impulse, recoil energy and recoil velocity

$$I = \frac{2\pi(m_{rifle} + m_{cradle})}{T} \cdot (1.5d_1 - 0.5d_2) \quad (4)$$

위에서 m_{cradle} , T , d_1 및 d_2 는 각각 진자시험기(화기 미장착 상태)의 질량(kg), 진자시험기(화기 미장착 상태)의 주기(sec.), 사격에 의한 진자시험기(화기 장착 상태)의 최대 후퇴 거리(meter) 및 최대 전진 거리(meter)를 의미한다.

현재 소구경 화기 분야에서 공식적으로 제시된 견착 사격 가능 수준에 대한 평가 기준은 TOP 3-2-504(Safety evaluation of hand and shoulder weapon)에 나와 있는 주퇴에너지가 유일하며, 주퇴에너지에 따라 병사 한명이 하루에 사격 가능한 발수가 Table 1과 같이 규정되어 있다.

참고로 미 육군 Human Engineering Laboratory

at Aberdeen Proving Ground(1)의 충격량 권고 수준은 3.0 lb-s (13.34 N-s)이다. 또한 미국 총기전문가(www.chuckhawks.com)에 의하면 주퇴에너지가 20 ft-lb (27.12 J) 이상 시 반동에 의해 정확도가 저하될 수 있으며, 사수가 편안하게 사격할 수 있는 주퇴에너지 및 주퇴속도는 각각 15 ft-lb (20.33 J), 10 ft/s (3 m/s)라고 경험적으로 제시하고 있다. 그러나 동일한 사격충격에 대해서 사수에 따라 느끼는 인지 반동의 수준 차이가 발생하므로 객관적으로 정량화된 견착 사격 가능 수준에 대한 평가 기준 설정은 어려운 문제이다.

Table 1 Firing limitations for test weapons

Computed Recoil Energy	Limitations on Rounds
Less than 15 ft-lb (20.3 J)	Unlimited firing
15 to 30 ft-lb (20.3 to 40.7 J)	200 rounds/day/man
30 to 45 ft-lb (40.7 to 61.0 J)	100 rounds/day/man
45 to 60 ft-lb (61.0 to 81.4 J)	25 rounds/day/man
Greater than 60 ft-lb(81.4 J)	No shoulder firing

2.2 충격력

충격력(F)은 화기 작동방식에 따라 차이가 발생하긴 하나, 식 (5)와 같이 사격 시 약실에 작용하는 약실압력(p) 및 구경(d)에 의해 지배적으로 결정되는 물리량이며, 총몸 등 화기 구조물에 걸리는 응력을 바탕으로 화기의 구조 안정성 평가 및 반동판 성능평가 시 활용된다.

$$F = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot p \quad (5)$$

견착 사격 시 사수에게 전달되는 충격력은 Fig. 3과 같은 슬라이딩 사격마운트를 이용한 시험 장치를 통해 측정할 수 있다.⁽²⁾

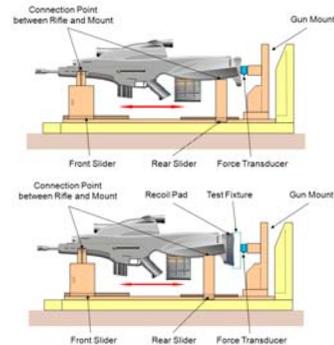


Fig. 3 Experimental setup to measure firing shock force without and with recoil pad

2.3 충격가속도

충격가속도는 전자광학 주야조준경, 레이저거리측정기 및 표적지시기 등 소구경 화기에 장착되는 전자광학장비의 구조 안전성을 평가할 때 활용되는 물리량이다.⁽³⁾

충격가속도는 이론적으로 식 (6)과 같이 화기 질량, 탄 1발의 질량 및 충격력에 의해 결정된다.

$$a = \frac{F}{(m_{rifle} + m_{projectile})} \quad (6)$$

상기 식 (6)은 화기 사격 시 발생하는 충격가속도로써, 화기에 장착되는 전자광학장비 설계 시에 전자광학장비가 노출되는 충격가속도의 설계 기준값으로 사용될 수 있다.

참고로, M16/M203 화기 시스템 사격 시의 사격충격가속도의 이론값 및 측정값은 Table 2와 같으며⁽⁴⁾, 이론값이 측정값을 근사적으로 잘 모사하고 있음을 알 수 있다. 참고로 사격 시의 총구방향(수평, 상향, 하향) 및 거치조건(어깨, 겨드랑이밀, 허리)에 따라 측정되는 충격가속도값에는 차이가 없음을 참고문헌에서는 기술하고 있다.⁽⁴⁾

일반적으로 충격가속도 시험규격은 크기, 지속시간(duration time) 및 파형 (예 : 2 g, 10 msec. half-sine)으로 제시된다. 만일 서로 다른 크기, 지속시간, 파형을 갖는 충격가속도값이 존재할 경우, 각각의 충격가속도값이 구조물(예 : 전자광학장비)에 미치는 영향성은 시험규격만으로는 판단하기 어려우며, 영향성 평가를 위해서는 구조물의 고유진동수 및 SRS (shock response spectrum) 분석이 수행되어야 한다.^(5,6)

3. 결 론

본 논문에서는 소구경 화기 사격 시 발생하는 사격충격 및 사격충격에 연관된 5가지 물리량에 대해 간단히 소개하였다. 본 논문이 사격충격에 대한 명확한 개념 정립에 도움이 되길 바란다.

참 고 문 헌

- (1) K. Blankenship et. al., 2004, Shoulder-Fired Weapons with High Recoil Energy: Quantifying Injury and Shooting Performance, ADA425518, US Army Medical Research and Materiel Command
- (2) Joon-Ho Lee et. al., 2008, Experimental Performance Analysis on Recoil Pad for Reducing Firing Shock Force, NDIA International Infantry & Joint Services Small Arms System Symposium
- (3) Joon-Ho Lee et. al., 2012, Firing Shock Measurement and Shock Response Spectrum Analysis of Small Arms, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 583~593
- (4) Goldman, H. I., 1976, Firing Shock Measurement on the M16 Rifle/M203 Grenade Launcher System, AD-A030059, US Army Armament Command
- (5) MIL-STD-810G, 2008, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, US Army Developmental Test Command
- (6) Irvine, T., 2010, An Introduction to the Shock Response Spectrum, www.vibrationdata.com

Table 2 Firing shock acceleration of M16/M203 (peak acceleration, half-sine duration time)

Ammunition	Predicted	Measured		
	Longitudinal (barrel axis)	Longitudinal (barrel axis)	Vertical (relative to barrel axis)	Transverse (left-right)
5.56 mm	180 g	250 g, 1 msec.	100 g, 0.5 msec.	100 g, 1 msec.
40 mm	487 g	400 g, 0.5 msec.	250 g, 0.5 msec.	100 g, 1 msec.