

가상현실 사격훈련을 위한 탄종별 K2 소화기의 주퇴산출 및 분석 연구

김중환*† · 진영호** · 곽윤기***

* 육군사관학교 기계·시스템공학과

** 국방과학연구소 4본부

*** 국방기술품질원 전력지원체계연구센터

A Study on K2 Rifle Recoil Measurement and Analysis for Virtual Reality Marksmanship

Jong-Hwan Kim*† · Youngho Jin** · Yunki Kwak***

* Mechanical and Systems Engineering, Korea Military Academy

** 4th R&D Institute, Agency for Defense Development

*** Combatant Support System Research Center, DTAQ

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to present a recoil measurement and analysis of K2 rifle for the development of a virtual reality marksmanship training in the Republic of Korea Army.

Methods: For the recoil measurement, a test-bed is built by a barrel that has exact dimensions of K2 rifle and three piezoelectric pressure sensors mounted on the barrel. Data of over 200 rounds of 5.56mm M193 and K100 bullets are collected and analyzed from live fire experiments. For the recoil analysis, both the free recoil method and the gas exhaust aftereffect method are used to calculate a recoil velocity, momentum and kinetic energy of K2 rifle by applying the law of conservation of momentum. In addition, a new method is proposed that uses the third law of motion and the chamber pressure model for the recoil measurement

Results: The results show how different between the previous and proposed methods with respect to M193 and K100 bullets of K2 rifle. In M193, the free recoil method demonstrates 1.113, 4.197, and 2.335, the gas exhaust aftereffect method computes 1.698, 6.407, and 5.441, and the proposed method calculates 0.990, 3.734, and 1.848 in recoil velocity, momentum and kinetic energy, respectively. In K100, the free recoil method demonstrates 1.190, 4.487, and 2.669, the gas exhaust aftereffect method computes 1.776, 6.699, and 5.949,

● Received 25 February 2019, 1st revised 22 November 2019, 2nd revised 31 January 2020, accepted 19 February 2020

† Corresponding Author(jonghwan7028@gmail.com)

© 2020, Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

※ 본 연구는 2019년도 육군사관학교 화랑대연구소의 연구지원을 받아 수행되었다. 본 연구를 위해 실험을 도와주신 한귀석, 김수찬 분들께 진심어린 감사를 드린다.

and the proposed method calculates 1.060, 3.998, and 2.119 in recoil velocity, momentum and kinetic energy, respectively.

Conclusion: This study implements live fire experiments to provide recoil velocity, momentum, and kinetic energy of K2 rifle using both M193 and K100 bullets. For the development of the army virtual reality marksmanship, the results in this paper would be useful to design and produce a gun and/or a rifle of virtual reality.

Key Words: Recoil Measurement, Interior Ballistics, Virtual Reality Marksmanship, K2 Rifle

1. 서론

사격훈련은 사수가 다양한 전장상황에서 식별된 적을 사살하기 위하여 조준 및 격발하는 일련의 과정을 숙달하는 훈련으로, 개인의 생존 및 전투의 승패에 중요한 영향을 미치기 때문에 현역과 예비군을 대상으로 주기적으로 실시하는 훈련이다. 그러나 사격훈련 시 발생하는 소음문제 및 도비탄 등의 안전문제로 인하여 군은 사격장 폐쇄 및 이전 또는 권역별 통합훈련장 운용의 요구를 받고 있어 사격훈련을 수행하는데 어려움이 있는 실정이다.

최근 4차 산업혁명 핵심기술 중의 하나인 가상현실을 우리군의 사격훈련에 적용하는 방안에 대해 관심이 증대되고 있다. 가상현실 기반의 사격훈련은 훈련병 또는 경험이 없는 전투원에게 다양한 전투상황을 간접적으로 경험하도록 하고, 반복적인 훈련을 통해 개인전투행동을 숙달할 수 있는 장점이 있다. 또한, 기존의 사격훈련으로 인한 소음, 도비탄 등의 문제를 해결할 수 있을 뿐만 아니라, 불확실한 미래전장 대비를 위한 가변적인 전장환경을 조성하고 제대별 임무에 특화된 콘텐츠를 통해 임무수행 능력을 향상시킬 수 있어 차세대 사격훈련으로 개발되고 있다.

가상현실 기반의 사격훈련은 기본적인 사격훈련 뿐만 아니라 전투 시나리오 기반의 실제 전장과 유사한 사격훈련 환경을 제공하여 실전감 있는 훈련이 가능하다. 그러나 가상현실 사격훈련에 사용되는 모의소총은 실제 사격 시 발생하는 소총의 반동현상 및 앙동현상의 역동적인 현상을 제공하지 못하는 한계를 가지고 있다. 실제 사격 간 발생하는 소총의 역동적인 현상은 사격 시 전투원에게 물리적 그리고 심리적인 충격을 주기 때문에 이를 극복하는 것은 사격훈련의 중요 목적 중의 하나이다(F. Morelli et al. 2014). 이러한 역동적인 현상이 부재된 가상현실 기반 사격훈련은 훈련효과가 낮아 실전감이 결여되는 문제점을 내포하고 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 모의소총에 실사격 간 발생하는 역동적인 현상을 반영하는 여러 방법이 연구되고 있다. 이들은 크게 전기적인 신호를 통해 총기내부에 장착된 모터를 제어하여 반동현상을 구현하는 선형모터방식(Linear Motor Recoil System)(K. Monti and D. Marse 2018), 이산화탄소 또는 압축질소 등의 압축공기를 사용하여 순간적인 공기의 팽창을 통해 반동현상을 구현하는 공압방식(Pneumatic Recoil System)(Park BU et al. 2015; T. LUK Ć et al. 2016), 그리고 전자기기를 통해 피스톤의 움직임을 제어하여 반동현상을 구현하는 전자기방식(Electromagnetic Recoil System)(T. LUK Ć et al 2016)으로 구성된다. 그러나 이러한 연구의 대부분은 선진국의 소총 G36 Assault Rifle (A. Fedaravičius et al 2016), AR-15 Rifle(T. J. Cyders, J. J. DiGiovanni, and W. Jay 2017), M4 Carbin Rifle(F. Morelli et al. 2017) 및 Cal. 20 Shotgun(M. Grasser et al. 2017)에 적합한 반동력을 제시하였다. 국내에서는 탄자속도(Kim and Jo 2016), 소화기 위협에 대한 장갑(Kim and Shin 2017; Shin et al. 2018) 그리고 헬멧의 방탄(Gu et al. 2018; Gu et al. 2019)에 대한 연구가 활발히 이루어진 반면에, 현역 및 예비군의 실제사격에 주로 사용되는 K2 소총에 대한 연구는 소화기의 제원의 차이 및 운용 탄종의 상이로 인하여 어려움이 존재하고, 이로 인하여 K2 소총에 적합한 반동력을 제시하는데 한계가 존재하였다. 그 결과, 가상현실에 사용되는

국내 대부분의 모의소총은 K2 소총의 실제 주퇴력을 적용하지 못한 상태로 반동현상을 구현하여 실전감이 결여되는 실정이다.

본 연구는 가상현실 기반의 사격훈련을 위한 모의소총이 실제 소총사격 시 발생하는 동일한 반동현상을 구현하기 위하여 실제 사격 간 소총 내부에서 발생하고 반동력의 주요 요인으로 볼 수 있는 약실압력을 고려하여 새로운 주퇴산출방법을 제안하고 기존의 주퇴산출방법의 결과와 비교하였다. 이를 위해, 일반적으로 적용되는 운동량 보존법칙 기반의 기존 이론을 적용하여 K2 소총과 M16A2 및 AK-47의 유사소총에 대하여 주퇴속도, 주퇴운동량, 그리고 주퇴에너지를 산출하여 비교하였다. 또한, 실제 강내탄도 실험을 통해 계측된 K2 소총의 약실압력을 기초로 Newton 운동법칙의 ‘작용 및 반작용 법칙’을 적용한 새로운 주퇴산출방법을 제시하였으며, 5.56mm M193 및 K100 보통탄을 적용한 결과를 기존 방법의 결과와 비교 및 분석하였다.

2. 기존 주퇴산출방법

주퇴(Recoil)는 사격 시 소총 및 기타 부속장치가 총구의 반대방향으로 운동하는 것을 의미하고, 주퇴력(Recoil Force)은 이때 총구 반대방향으로 발생하는 힘을 의미한다(Heungju 1996). 반동력은 사격 시 총구의 주퇴력에 의해 인체에게 전달되는 힘으로(Sangkil et al. 2014), 주퇴력과 반동력은 동일한 힘을 가지나 주퇴력은 총기를, 반동력은 인체를 대상으로 하는 기준의 차이가 있다. 주퇴력의 영향요소는 소화기의 중량 및 무게중심, 주퇴속도, 총구속도, 탄자중량, 탄자속도, 장약중량, 그리고 완충장치의 특성의 고정요소와 사수에 따라 상이한 견착위치, 견착면적, 그리고 사격자세 등의 가변요소로 구분되며(F. Morelli et al. 2014), 대부분의 주퇴연구는 고정요소에 주안을 두고 있다.

2.1 자유주퇴방법(Free Recoil Measurement)

일반적인 주퇴산출방법은 운동량 보존법칙(Law of Conservation of Momentum)을 적용한 자유주퇴방법(Free Recoil Measurement)(Sangkil et al 2014)과 자유주퇴방법을 기초로 탄자가 총구를 벗어나는 순간의 장약의 연소 가스 운동량을 고려한 방법(Gas Exhaust Aftereffect Method)으로 구성된다(Carlucci and Jacobson 2018; Germershausen 1982). 먼저, 자유주퇴방법은 탄자의 운동량 M_b 과 장약 연소가스의 운동량 M_c 이 그대로 소총의 주퇴운동량 M_r 으로 보존된다는 점 즉, $M_r = M_b + M_c$ 을 이용하여 아래 식 (1)과 같이 표현된다.

$$m_r v_r = m_b v_b + m_c v_c \quad (1)$$

여기서, r 은 소총(Rifle)을, b 는 탄자(Bullet)을, c 는 장약(Charge)를 의미하고, m 은 중량(kg)을, v 는 속도(m/s), v_b 는 탄자가 총구를 지나는 순간의 속도 즉, 총구속도를 의미한다. 여기서, 장약 연소가스의 운동량은 연소가스의 밀도와 부피를 고려하여 식 (2)처럼 표현된다.

$$M_c = \int_0^x \rho A v_c dx_c \quad (2)$$

여기서, x 는 탄자의 밀면 즉 탄저(Base of Bullet)의 위치를, x_c 는 연소가스의 중심위치를 의미하며, ρ 는 밀도를, A 는 면적을 의미한다. 식 (2)는 식 (3)을 통해 식 (4)로 표현된다.

$$M_c = \rho A \int_0^x \left(\frac{x_c}{x} \frac{dx}{dt} \right) dx_c = \rho A \int_0^x \left(\frac{x_c}{x} v_b \right) dx \quad (3)$$

$$M_c = \rho A \left[\frac{v}{x} \frac{x_c^2}{2} \right]_0^x = \frac{1}{2} \rho A x v_b \quad (4)$$

여기서, $m_c = \rho A x$ 이기 때문에 장약의 연소가스 운동량은 $M_c = \frac{1}{2} m_c v_b$ 로 표현된다. 따라서, 식 (1)의 관계식을 통해 주퇴속도(v_r , Recoil Velocity)는 식 (5) 및 (6)과 같이 표현된다.

$$v_r = \Phi v_b \quad (5)$$

$$\Phi = \left(\frac{m_b + 0.5m_c}{m_r} \right) \quad (6)$$

여기서, Φ 는 탄자의 총구속도와 소총의 주퇴속도의 비를 의미한다. 식 (5)를 기초로 주퇴에너지(E_r , Recoil Energy)를 식 (7)과 같이 산출할 수 있다.

$$E_r = \frac{1}{2} m_r (\Phi v_b)^2 \quad (7)$$

2.2 장약 연소가스의 운동량을 고려한 방법(Gas Exhaust Aftereffect Method)

두 번째 주퇴산출방법은 탄자가 총구를 벗어난 후 장약의 연소가스 운동량까지 고려한 방법으로, 소총의 주퇴운동량은 탄자가 총구를 지나간 후에도 장약 연소가스의 영향을 받는다는 점을 고려한 방법이다. 탄자가 총구를 벗어난 후 연소가스의 속도는 지속적으로 감소하기 때문에 평균속도 \bar{v} 를 고려하고, 실험을 통해 산출된 비율 β 에 의해 평균속도는 $\bar{v} = \beta v_b$ 과 같이 표현된다(LUK 2016). 운동량 보존법칙을 기초로 소총의 주퇴운동량은 식 (8)로 표현되고, 주퇴속도는 탄자속도와 주퇴속도 비 $\dot{\Phi}$ 를 고려하여 식 (9) 및 (10)과 같이 표현된다(Park et al. 2015).

$$m_r v_r = (m_b + 0.5m_c) v_b + m_d \beta v_b \quad (8)$$

$$v_r = \dot{\Phi} v_b \quad (9)$$

$$\dot{\Phi} = \left(\frac{m_b + (0.5 + \beta)m_c}{m_r} \right) \quad (10)$$

3. 약실압력 기반의 주퇴산출방법

기존의 주퇴산출방법은 질량과 속도만을 고려하여 해석과 계산이 용이한 장점이 있다. 그러나 이 방법들은 복잡한 주퇴현상을 단순히 질량과 속도만으로 표현하여 소총 내부에서 일어나는 기계적 및 화학적 현상을 고려하지 못하는 한계가 있다. 본 연구는 사격 간 소총 내부에서 발생하고 반동력의 주요 요인으로 볼 수 있는 약실압력(Pressure at the Chamber)을 실제 사격실험을 통해 계측하여 약실압력 기반의 주퇴산출방법을 제안한다. 이것은 실사격 강내 탄도 실험을 통해 탄자의 이동시작 시점과 총구를 벗어나는 순간의 시점 그리고 약실압력을 계측하고, 총강의 단면적 및 소총의 무게를 기초로 소총의 주퇴력 산출하는 방법이다. Newton의 세 번째 운동법칙인 ‘작용 및 반작용 법칙’ 의해, 사격 시 발생하는 강한 압력은 탄자의 추진 및 소총의 주퇴에 동일하게 작용된다. Figure 1에 묘사된 바와 같이, 어떠한 외압 없이 정지해 있는 소총에서 강내압력이 발생하는 경우 탄자가 총구를 벗어나는 순간까지의 추진력은 반대방향으로 작용하는 소총의 주퇴력과 동일하게 발생한다는 것이다. 총강내에서 탄자의 추진력과 소총 주퇴력의 관계 $F_r = F_b$ 이며, 식 (11)으로 표현된다.

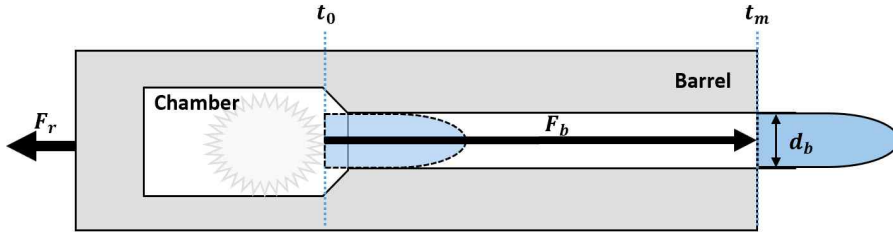


Figure 1. Forces acting on a rifle and a bullet

$$m_r a_r = P_{base} A_b \quad (11)$$

여기서, 좌변은 소총의 주퇴에 적용되는 힘을, 우변은 탄자의 추진에 적용되는 힘을 의미한다. d_b 는 탄자의 구경 즉, 지름이고, A_b 는 총강의 단면적으로 $A_b = \frac{\pi}{4} d_b^2$ 이다. 탄자의 속도를 직접적으로 추진시키는 압력은 약실압력이 아닌 탄자의 밑부분에 가해지는 탄저압력(P_{base} , Base Pressure)이다(Lee et al. 2008). 약실압력과 탄저압력의 차이는 장약 및 탄자의 중량에 의해 결정된다. 두 압력의 관계는 라그랑주 다항식을 통해 식 (12)와 같이 표현되며(Sangkil 2014; Carlucci and Jacobson 2018), 일반적인 두 압력 분포의 차이는 Figure 2에 제시되었다.

$$P_{base} = \frac{1}{\left(1 + \frac{m_c}{2m_b}\right)} P \quad (12)$$

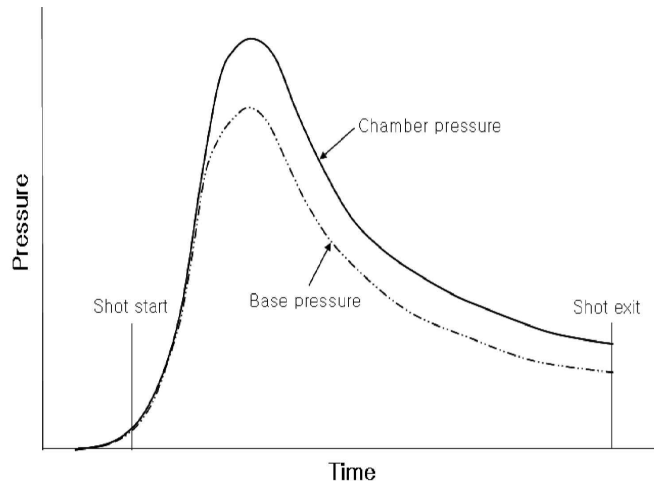


Figure 2. Variation of chamber and base pressure with time(Sangkil 2014)

식 (11)의 좌변에 $a = \frac{dv}{dt}$ 를 적용하게 되면 식 (13)과 같이 표현된다.

$$m_r dv_r = P_{base} A_b dt \quad (13)$$

이때, 약실압력은 시간에 따라 값이 변화하는 반면에 총강의 단면적은 일정하다. 또한, 소총의 주퇴력은 탄자가 총구를 벗어나는 순간까지의 추진력과 같기 때문에, 탄자 움직임의 시작시간(t_0)과 총구를 벗어나는 순간의 시간(t_m)을 적용하여 소총의 주퇴속도는 식 (14)과 같이 표현된다.

$$v_r = \frac{A_b}{m_r} \int_{t_0}^{t_m} P_{base}(t) dt \quad (14)$$

식 (14)의 소총의 주퇴속도를 기초로, 소총의 주퇴운동량 및 주퇴에너지를 산출한다.

4. 실험구성 및 결과

4.1 실험구성 및 실험장비

본 연구는 K2 소화기의 탄종별 주퇴를 산출하고 유사체계와 비교 및 분석을 위하여, K2, M16A2, 그리고 AK-47 소총에 대한 제원을 수집하고 각 소총에 사용되는 5.56mm M193, K100, 그리고 7.62mm MSC탄의 제원을 수집 및 실측하였다. 또한, 본 연구는 주퇴력을 산출하는 방법론에 대한 비교 및 각 방법론에 대한 탄종별 주퇴결과를 비교 및 분석하기 위하여, 기존의 두 가지 주퇴산출방법과 본 연구에서 제안하는 방법을 포함하여 주퇴산출방법론에 대한 비교를 진행하고, 각 방법론에 대한 탄종별 비교는 K2 소총의 경우 5.56mm M193 및 K100의 주퇴결과를 제

시하며, 이를 5.56mm M193탄을 사용한 M16A2 소총 및 7.62mm MSC탄을 사용한 AK-47 소총의 결과와 비교하였다. 그러나 본 연구에서 제안하는 방법은 약실압력 모델 연구의 결과(Kim et al. 2019)를 사용하기 때문에 약실압력 데이터가 부재된 M16A2 및 AK-47 소총에 대한 비교는 본 연구에서 제외되었다. 아울러, 실험에 사용된 5.56mm M193탄 및 K100탄은 (주)풍산으로부터 구입하고 연구에 필요한 정보는 실측하였으며, 7.62mm MSC탄은 인터넷을 통해 필요한 정보를 수집하여 적용하였다. 연구에 사용된 각 탄종별 제원 및 형상은 Table 1 및 Figure 3에 각각 제시되었다.

Table 1. Specifications of 5.56mm M193 and K100, and 7.62mm MSC bullets

Specifications	5.56mm		7.62mm
	M193	K100	MSC
Cartridge length(mm)	45	45	39
Bullet length(mm)	18.90	23.33	26.60
Bullet weight(g)	3.550	4.034	7.9
Overall length(mm)	57.40	57.40	56.00



Figure 3. Three bullets; 5.56mm M193 and K100, and 7.62mm MSC

실제 사격 시 발생하는 K2 소총의 탄종별 강내압력을 계측하기 위해 Figure 4에 제시된 바와 같이 K2소총의 동일한 규격의 EPVAT(Electric Pressure Velocity and Action Time) 고정형 시험총열과 약실(Ch #1), 변이부(Ch #2), 총열중앙(Ch #3), 그리고 총구(Ch #4)에 장착된 4개의 압전압력센서(Piezoelectric Pressure Sensor)를 설치하였다. Ch #1 및 #3는 약실 및 총열중앙에서 시간에 따른 압력변화를 계측하기 위해, Ch #2 및 #4의 데이터는 총강내에서 탄자의 이동이 시작되는 시점과 총구를 벗어나는 순간의 시점을 측정하기 위해 사용되었다. Ch #3의 데이터는 연구에 활용되지 않아 본 논문에서는 제외되었다.

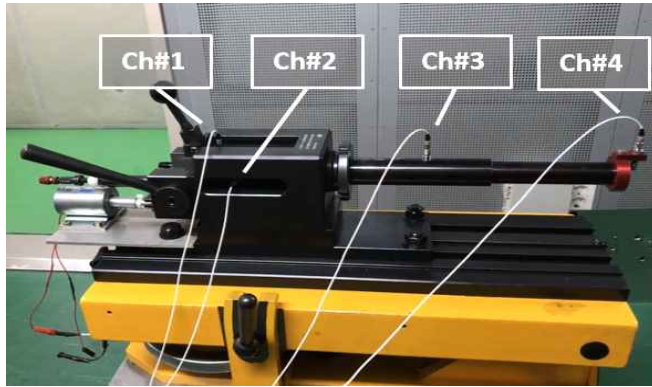


Figure 4. (left) Interior ballistic pressure test-bed with four piezoelectric pressure sensors and (right) interior ballistic experimental environment(Kim et al. 2019)

Figure 5는 Ch #1, #2, 그리고 #4에서 계측된 K100탄의 강내압력 실험결과를 보여주고 있으며, Ch #2 및 #4의 데이터를 통해 탄자가 변이부를 출발하는 시점 즉 탄자이동의 시작시점(t_0)과 탄자가 총구를 벗어나는 시점(t_m)을 각각 보여주고 있다.

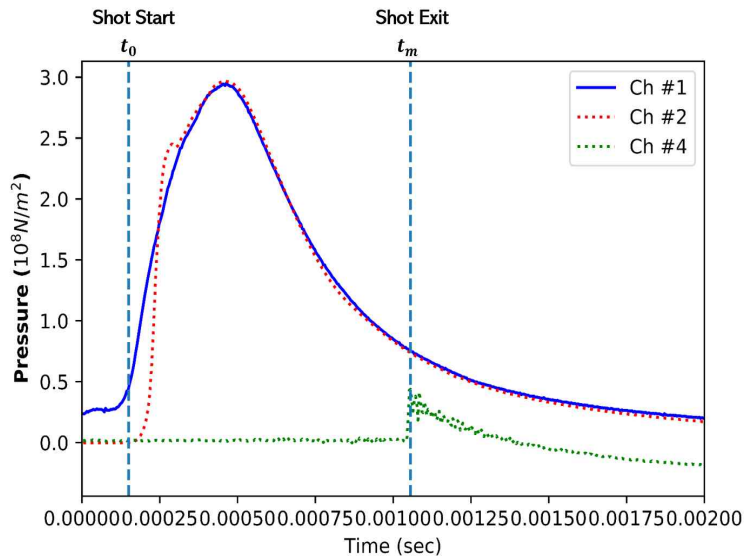


Figure 5. Example of the pressure results at Ch #1, #2, and #4 mounted on the barrel with time of both shot start(t_0) and exit(t_m)

4.2 실험결과 및 분석

자유주퇴방법을 기초로 Table 1에 제시된 데이터 및 식 (6)을 적용하여 총구속도와 주퇴속도의 비 ϕ 를 산출하였다. Table 2에 제시된 바와 같이, M16A2의 M193탄의 경우 0.001096로 가장 낮은 값을 보여주었고, AK-47의 MSC탄의 경우 0.001821로 가장 높은 값을 보여주었다. K2의 경우 M193탄과 K100탄은 각각 0.001341 및

0.001496으로 M16A2와 AK-47의 사이의 결과값을 보여주었다. Table 2의 결과를 기초로 식 (5) 및 (7)을 사용하여, 소총별 및 탄종별, 주퇴속도, 주퇴운동량, 그리고 주퇴에너지를 산출하였으며 그 결과는 Figure 6에 제시되었다.

Table 2. Ratio between bullet and recoil velocities using two methods

Ratio	M16A2	K2		AK-47
	M193	M193	K100	MSC
ϕ	0.001096	0.001341	0.001496	0.001821
$\dot{\phi}$	0.001673	0.002047	0.002234	0.002394

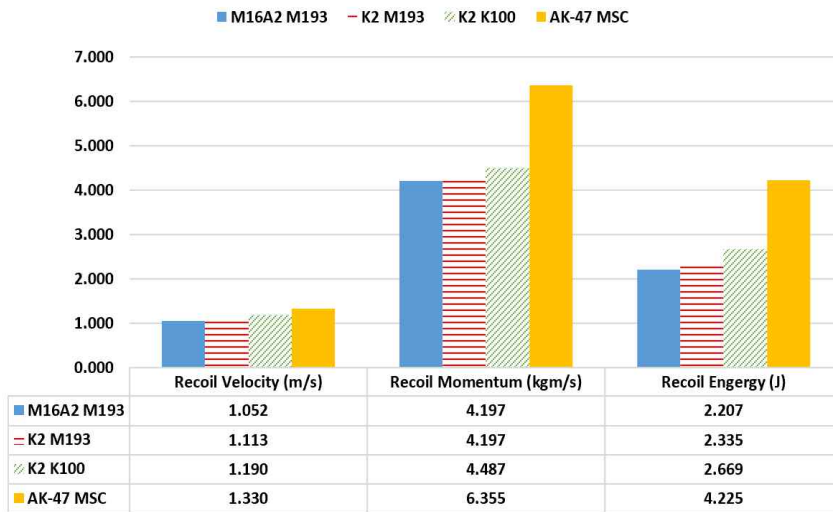


Figure 6. Results of recoil velocity, momentum, and energy with M193, K100, MSC of M16A2, K2, and AK-47 using free recoil method(Method #1)

자유주퇴방법을 적용한 소총 및 탄종별 주퇴결과를 살펴보면, M16A2의 경우 총구속도와 주퇴속도의 비가 상대적으로 낮은 것으로 인하여 세 가지 주퇴기준에서 가장 낮은 결과를 보여주었다. K2 소총의 경우 세 가지 주퇴기준은 대체적으로 M16A2와 AK-47 소총 사이의 분포를 보여주었고, K100탄이 M193탄에 비해 주퇴운동량 및 주퇴에너지에서 각각 0.290kgm/s 및 0.334J의 높은 결과를 보여주었다. AK-47 소총의 경우 소총의 중량과 탄자의 중량이 다른 소총에 비해 상대적으로 무겁기 때문에 주퇴운동량 및 주퇴에너지에서 가장 높은 결과를 보여주었다.

두 번째 방법은 Table 1 및 식 (8) - (10)을 적용하여 탄자속도와 주퇴속도 비 $\dot{\phi}$ 를 산출하고, 이를 기초로 주퇴속도, 주퇴운동량, 그리고 주퇴에너지를 산출하였다. 자유주퇴방법과의 중요한 차이이면서 $\dot{\phi}$ 의 값을 결정하는 β 는 일반적으로 소총 총열의 길이 및 장약 연소가스의 종류에 따라 설정된 값을 적용하나(Cyders 2017), 넓은 기준범위로 인하여 세 가지 소총이 동일한 값을 갖는 문제점이 존재하여, 본 연구에서는 총구속도를 기준으로 실험을 통해 결정된 β 값(LUK 2016)을 적용하였다. $\dot{\phi}$ 의 결과는 Table 2에 제시되었으며, 소총 및 탄종별 주퇴속도, 주퇴운동량 그리고 주퇴에너지 결과는 Figure 7에 제시되었다.

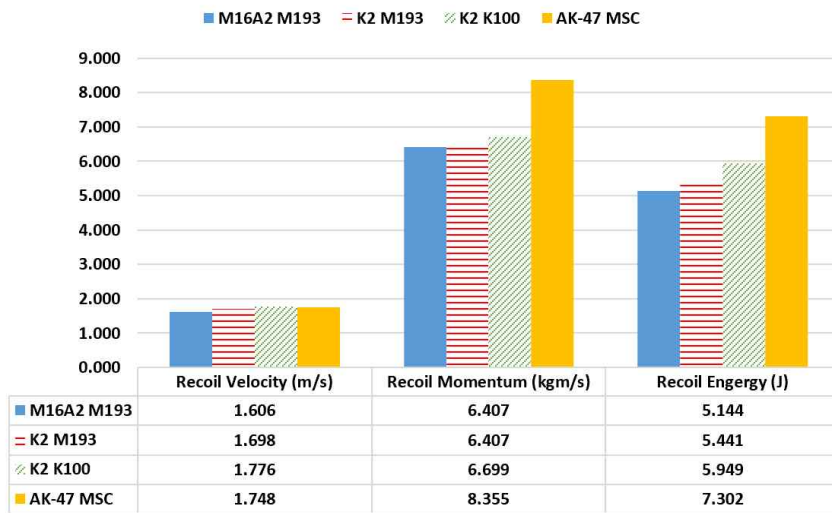


Figure 7. Results of recoil velocity, momentum, and energy with M193, K100, MSC of M16A2, K2, and AK-47 using gas exhaust aftereffect method(Method #2)

두 번째 방법을 적용한 소총 및 탄종별 주퇴결과를 살펴보면, 대체적으로 자유주퇴방법에 비해 주퇴속도는 약 0.42 ~ 0.59 값이 높아지고, 주퇴운동량은 약 1.3 ~ 1.5배 상승되며, 주퇴에너지는 약 1.7 ~ 2.3배 증가함을 보여주었다. 이것은 두 번째 방법이 탄자가 총구를 벗어난 후에도 장약의 연소가스 운동량을 고려하여 $\dot{\phi}$ 값이 높아진 것에 기인한다. M16A2의 경우 총구속도와 주퇴속도의 비가 상대적으로 낮은 이유로 세 가지 주퇴기준에서 가장 낮은 결과를 보여주었다. K2소총의 경우 주퇴속도는 M16A2 및 AK-47에 비해 높은 결과를 보여주었고, 주퇴운동량은 M16A2 소총에 유사한 결과가 나타났으며, 주퇴에너지는 M16A2와 AK-47 소총 사이의 분포를 보여주었다. K100 탄은 M193탄에 비해 주퇴운동량 및 주퇴에너지에서 각각 0.292kgm/s 및 0.508J의 높은 결과를 보여주었다. AK-47 소총의 경우 소총의 중량과 탄자의 중량이 다른 소총에 비해 상대적으로 무겁기 때문에 주퇴운동량 및 주퇴에너지에서 가장 높은 결과를 보여주었다.

본 연구에서 제안하는 약실압력을 통한 주퇴산출방법은 기존의 약실압력 모델링 연구의 결과를 기초로 K2소총에 발생하는 M193탄 및 K100탄의 주퇴를 산출하였다. 그러나 M16A2 및 AK-47의 총열부재로 인하여 해당 소화기의 약실압력 실험을 수행하지 못 하였기 때문에 M193 및 K100 과의 비교 분석은 제외되었다. K2 약실압력을 식 (12)에 적용하여 산출된 탄저압력은 약실압력과 함께 Figure 8에 제시되었다. 탄저압력은 M193탄의 경우 최대 압력이 288Mpa, K100탄의 경우 286Mpa가 나타났으며, 최대 압력이 발생한 시간은 M193탄의 경우 509 μ s, K100탄의 경우 476 μ s이었다. 또한, 탄저압력을 식 (14)에 적용하면, 소총의 주퇴속도를 산출하였으며, 총구를 벗어나는 순간의 표시 및 결과는 Figure 9에 제시되었다.

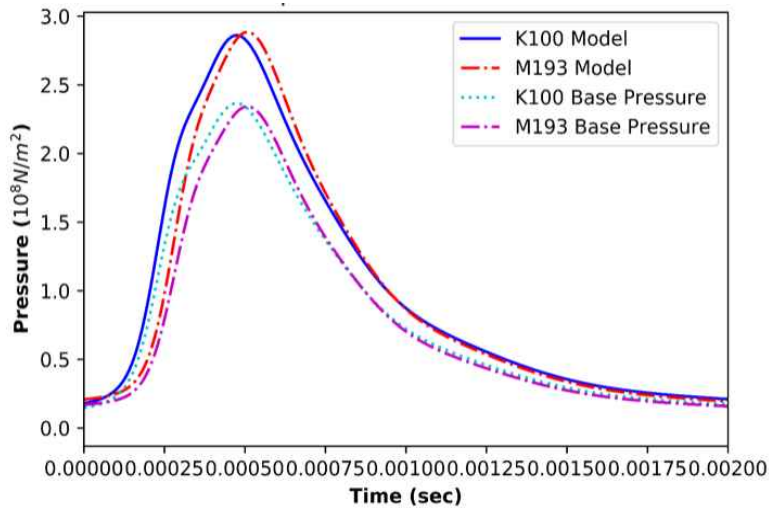


Figure 8. Pressure–Time results at the chamber of K2 rifle by using both M193 and K100 bullets

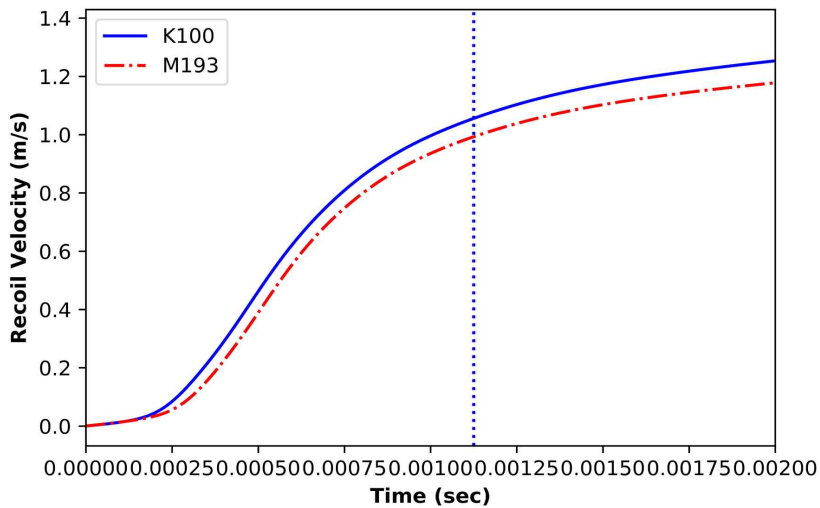


Figure 9. Recoil velocity results of K2 rifle using both M193 and K100 bullets with a dash at shot exit

K2 소총의 5.56mm M193 및 K100탄에 대하여 본 연구에서 제안한 약실압력을 통한 주퇴산출 결과(Method #3)와 기존의 자유주퇴방법(Method #1) 및 자유주퇴방법을 기초로 탄자가 총구를 벗어난 이후의 장약의 연소가스 운동량을 고려한 방법(Method #2)을 비교 및 분석하였다. Figure 10에는 세 가지 방법에 의한 M193탄의 주퇴속도, 주퇴운동량, 그리고 주퇴에너지 결과가 제시되었다. 세 가지 주퇴기준에서 Method #2가 가장 높은 결과를, Method #3은 가장 낮은 결과를 보여주었다. Method #2는 탄자가 총구를 벗어난 이후의 장약의 연소가스 운동량까지 고려하여 주퇴속도를 산출하였기 때문에 Method #1에 비해 주퇴속도에서 0.585m/s, 주퇴운동량에서 2.210kgm/s, 주퇴에너지에서 3.106J의 상대적으로 높은 결과를 보여주었다. 또한, Method #3은 질량과 속도를 기초로 주퇴를 산출한 방법들과 달리, 실사격 간 발생하는 복잡한 강내현상을 약실압력 실험을 통해 주퇴속도를 산출하였다. 결과는 주퇴속도는 0.990m/s, 주퇴운동량에서 3.734kgm/s, 주퇴에너지에서 1.848J의 값을 보여주었다.

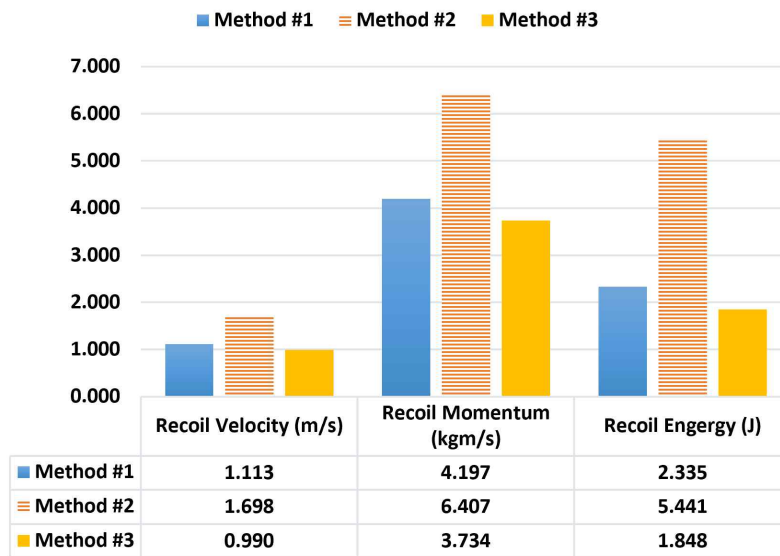


Figure 10. Results of free recoil(Method #1), gas exhaust aftereffect (Method #2) and the proposed (Method #3) for M193 bullet using K2

Figure 11은 세 가지 방법에 의한 K100탄의 주퇴속도, 주퇴운동량, 그리고 주퇴에너지 결과를 제시하였다. M193탄의 결과와 동일하게, 세 가지 주퇴기준에서 Method #2가 가장 높은 결과를, Method #3은 가장 낮은 결과를 보여주었다. Method #2는 Method #1에 비해 주퇴속도에서 0.586m/s, 주퇴운동량에서 2.212kgm/s, 주퇴에너지에서 3.280J의 상대적으로 높은 결과를 보여주었다. 또한, Method #3의 주퇴속도는 1.060m/s, 주퇴운동량에서 3.998kgm/s, 주퇴에너지에서 2.119J의 값을 보여주었다.

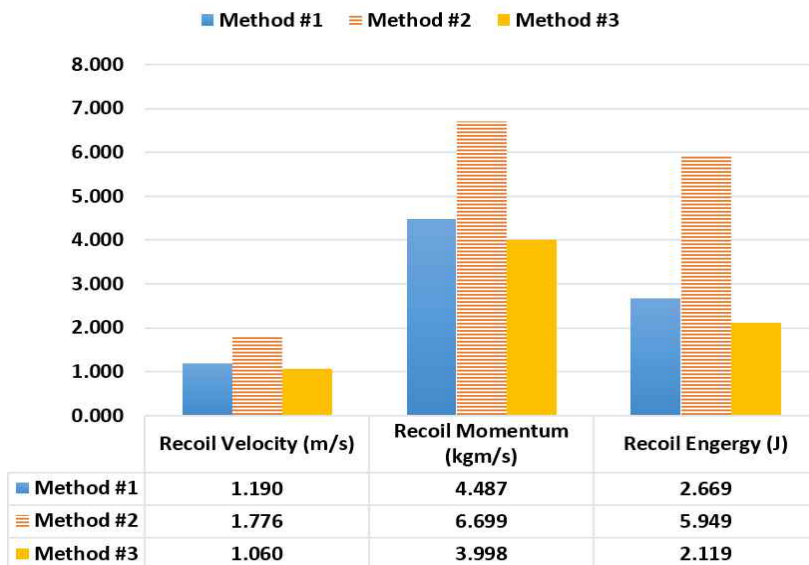


Figure 11. Results of free recoil(Method #1), gas exhaust aftereffect (Method #2) and the proposed (Method #3) for K100 bullet using K2

Figure 11 및 12에 제시된 결과를 기초로 K2 소총에 사용되는 M193 및 K100탄을 종합적으로 분석한 결과, Method #1 측면에서 K100탄은 M193탄보다 주퇴속도, 주퇴운동량 그리고 주퇴에너지에서 각각 0.077m/s, 0.290kgm/s, 그리고 0.334J 차이의 향상된 결과가 나타났고, Method #2 측면에서 동일한 순서로 0.077m/s, 0.292kgm/s 그리고 0.508J의 M193탄 보다 높은 결과가 존재하였다. 또한, 본 연구에서 제안하는 Method #3 측면에서도 K100탄은 세 가지 기준에서 0.070m/s, 0.264kgm/s, 그리고 0.271J의 차이로 M193보다 높은 주퇴성능을 보여주었다. 결과적으로, K100탄이 세 가지 주퇴산출방법과 주퇴성능의 모든 측면에서 M193탄 보다 높게 나타났고, 이것은 Table 2에 제시된 바와 같이 K100탄의 탄자 총구속도와 소총의 주퇴속도 비가 M193탄에 비해 상대적으로 높기 때문이며, 이러한 결과의 차이는 K100탄이 M193탄 보다 향상된 성능을 가지고 있음에 기인한다고 볼 수 있다.

본 연구는 실제 사격 간 발생하는 탄종별 약실압력을 고려하여 약실압력 기반의 주퇴산출방법을 제시하였다. 결과에서 제시된 바와 같이, 제안하는 방법은 기존의 방법에 비해 주퇴속도, 주퇴운동량, 그리고 주퇴에너지 측면에서 낮은 값을 보여주고 있다. 이것은 기존의 두가지 방법이 복잡한 주퇴현상을 단순히 질량과 속도만으로 고려하여 소총 내부에서 일어나는 기계적 및 화학적 현상을 고려하지 못하였을 뿐만 아니라, 이상적으로 단순화된 모델링으로 주퇴력을 해석하였기 때문이다. 그러나 본 연구에서 제안하는 방법은 실제 주퇴력과 비교 및 차이를 제시하지 못한 한계가 존재한다. 이것은 실제 주퇴력을 산출하기 위한 기계장치 설계 및 제작 그리고 실험적 접근방법의 개발에 어려움으로 인하여 정확한 주퇴력을 계측하는데 아직까지 한계가 있기 때문이다. 이러한 한계는 차후 연구를 통해 보완될 필요성이 있다.

5. 결 론

본 연구는 가상현실 기반의 사격훈련에 사용될 모의소총이 실제 소총사격 시 발생하는 동일한 반동현상을 갖도록 약실압력을 통한 주퇴산출방법을 제안하고 기존의 주퇴산출방법의 결과와 비교 및 분석하였다. 일반적으로 사용되는 운동량 보존법칙 기반의 기존 이론을 적용하여 K2 소총, M16A2 그리고 AK-47 소총들의 주퇴속도, 주퇴운동량, 그리고 주퇴에너지를 산출 및 비교하였으며, 실제 강내탄도 실험을 통해 계측된 K2 소총의 약실압력을 기초로 Newton 운동법칙의 ‘작용 및 반작용 법칙’을 적용한 새로운 주퇴산출방법을 제안하고 K100 및 M193 탄과의 결과를 비교 및 분석하였다.

소총별 및 탄종별 주퇴속도, 주퇴운동량, 그리고 주퇴에너지를 산출한 결과 7.62mm MSC AK-47의 결과는 소총의 중량과 탄자의 중량이 다른 소총에 비해 상대적으로 무겁기 때문에 주퇴운동량 및 주퇴에너지에서 가장 높은 결과를 보여주었던 반면에, 5.56mm M193 M16A2의 결과는 총구속도와 주퇴속도의 비가 상대적으로 낮은 것으로 인하여 모든 주퇴기준에서 가장 낮은 결과를 보여주었다. 또한, 약실압력을 통한 주퇴산출방법의 결과는 탄자의 중량과 속도만으로 산출된 기존의 방법들과 다르게 실제 사격실험을 통해 계측된 약실압력을 적용하였기 때문에 P-T 및 V-T 결과를 기초로 M193 및 K100탄의 구체적인 차이를 확인하였다.

본 연구는 실제 사격실험의 결과 데이터를 기초로 K2소총의 약실압력 기반의 주퇴를 산출하였다. 비록 실제 주퇴력과 제안하는 방법의 결과에 대한 검증의 한계가 존재하나, 본 연구를 통해 가상현실 기반의 사격훈련의 연구 및 실제와 동일한 반동력을 제공하는 모의소총 개발에 도움이 되기를 기대한다.

REFERENCES

- Canfield-Hershkowitz, B., et al. 2013. Rifle and Shotgun Recoil Test System. Anderson, J. C., and Gerbing, D. W. 1988. Structural Equation Modeling in Practice: A Review and Recommended Two-step Approach. *Psychological Bulletin* 103(3):411–23.
- Carlucci, D. E., and S. S. Jacobson. 2018. *Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition*, CRC Press.
- F. Morelli, J. M. Neugebauer, C. A. Haynes, T. C. Fry, S. V. Ortega, D. J. Struve, et al. 2017. Shooter-System Performance Variability as a Function of Recoil Dynamics. *Human Factors* 59:973–985.
- F. Morelli, J. M. Neugebauer, M. E. LaFiandra, P. Burcham, and C. T. Gordon. 2014. Recoil Measurement, Mitigation Techniques, and Effects on Small Arms Weapon Design and Marksmanship Performance. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems* 44:422–428,
- Fedaravičius, A., et al. 2016. Design, Research and Practical Implementation of the Laser Shooting Simulation System for 5.56 mm G-36, 7.62 mm FN MAG and 84 mm Carl Gustaf. *Problemy Mechatroniki: uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa* 7(2(24)):7–18.
- Germershausen, R. 1982. *Handbook on Weaponry*. Düsseldorf: Rheinmetall GmbH.
- Gu, S. H., et al. 2018. A Study on V50 Calculation in Bulletproof Test Using Logistic Regression Model. *J Korean Soc Qual Manag* 46(3):453–464.
- Gu, S. H., et al. 2019. A Study on Improvement of Ballistic Testing Method for Combat Helmet. *J Korean Soc Qual Manag* 47(2):283–294.
- Haptech Product Descriptions. [Internet]. 2016 Feb 3. Available from: [http://www.haptech.co /products](http://www.haptech.co/products).
- Heungju, L. 1996. *Gun and Ballistics*. Chungmungak.
- K. Jong-Hwan, and S. Yun-ho. 2017. Ballistic Limit Velocity Comparison for Warship Materials against AK-47 7.62mm MSC, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea* 54:286–293.
- K. Monti, and D. Marse. 2018. Method and Apparatus for Firearm Recoil Simulation. ed: Google Patents.
- Kim, J.-H., & Jo, S. 2016. Recursive Bayesian Filter Based Strike Velocity Estimation for Small Caliber Projectile. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology* 19(2).
- Kim, J.-H., et al. 2019. Gaussian Mixture Based K2 Rifle Chamber Pressure Modeling of M193 and K100 Bullets. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology* 22(1):27–34.
- Lee, s., et al. 2008. A Study on the Calculation of Muzzle Velocity through the Gun Barrel Pressure Measurement. *The Korea Society of Propulsion Engineers* 12(5):60–66.
- LUKÁČ, T., et al. 2016. Experimental Mechanical Device for Recoil Simulation. In: *Scientific Research & Education in the Air Force-AFASES*. pp. 337–343.
- M. Grasser, M. Florian, H. Christian, M. Gerald, and S. Bergmoser. 2017 Recoil-Measurement, Simulation and Analysis in International Conference on Interactive Collaborative Learning. pp. 830–839.
- Park BU, Yun JH, Lee KS, and Kang SJ. 2015. Simulation Shooting Gun. Korean Patent, 1020140118535.
- Sangkil, L., et al. 2014. *Weapons Engineering*. Chungmungak.
- T. J. Cyders, J. J. DiGiovanni, and W. Jay. Characterization of Natural and Recoil-induced Vibration of an AR-15 Rifle at the Cheekbone-stock Interface. In *Proceedings of Meetings on Acoustics* 173EAA. 065011.
- Y.-h. Shin, J.-h. Chung, and J.-H. Kim. 2018. Test and Estimation of Ballistic Armor Performance for Recent Nnaval Ship Structural Materials. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 10:762–778.

저자소개

김종환 육군사관학교 기계·시스템공학과 교수. 미국 버지니아공대에서 기계공학 박사학위를 취득하였고, 현재 육군사관학교 기계시스템공학과에서 무기체계 관련 강의를 하고 있으며, 주요 관심분야는 국방로봇, 인공지능, 그리고 탄도공학이다.

진영호 국방과학연구소 4본부. 미국 조지아공대에서 재료공학 박사학위를 취득하였고, 현재 국방과학연구소에 있으며, 주요 관심분야는 무기체계/비무기체계, 화생방시스템, 그리고 실리콘 물질 기반의 신소재이다.

곽윤기 국방기술품질원 전력지원체계연구센터. 서울대학교에서 기계공학 박사학위를 취득하였고, 육군사관학교에서 무기체계 관련 생도교육을 실시하였으며, 현재 국방기술품질원에 있다. 주요 관심분야는 무기체계/비무기체계 및 취약성분석이다.