대한조선학회논문집
Journal of the Society of Naval Architects of Korea
pISSN:1225-1143, Vol. 54, No. 4, pp. 286-293, August 2017
eISSN:2287-7355, https://doi.org/10.3744/SNAK.2017.54.4.286

적성소화기 위협에 대한 함정용 선체재질별 방호한계속도 비교 연구

김종환[1,†] · 신윤호[2]
육군사관학교 기계시스템공학과[1]
한국기계연구원 시스템다이나믹스연구실[2]

Ballisitic Limit Velocity Comparison for Warship Materials against AK-47 7.62mm MSC

Jong-Hwan Kim[1,†] · Yun-ho Shin[2]
Mechanical & Systems Engineering Department, Korea Military Academy[1]
System Dynamics Laboratory, Korea Institute Machinery & Materials[2]

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.

This paper presents ballistic limit velocity results of a variety of materials generally used in warships. Ballistic limit velocity is the velocity required for a projectile to penetrate a target with 50 percents of time and is widely used as a measure of armour bulletproofing. For this study, live fire experiments were implemented using AK-47 7.62 × 39 mm mild steel core as a projectile as well as various thickness warship materials as a target. Also, methods of MIL-STD-662F, NIJ-STD-0101.06 and support vector machine were applied to measure the ballistic limit velocity and then their results were graphically analyzed for comparison. The minimum of their results was considered as the ballistic limit velocity in a conservative way.

Keywords : Ballistics(탄도공학), Ballistic limit velocity(방호한계속도), AK-47 7.62 mm MSC(적성탄), Warship materials(함정용선체재질), MIL-STD-662F(미군표준), NIJ-STD-0101.06(미국연방표준)

1. 서 론

지난 2002년 6월 29일 연평도 근해 북방한계선 부근에서 북한 해군 경비정의 선제공격으로 남북한의 군사적 충돌인 제 2연평해전이 발발하였다. 당시 아군의 참수리 고속정은 북한군 화기에 의해 상당수 관통되었으며, 고속정의 핵심시설인 조타실이 무력화되는 등 적성화기에 대한 아군 무기체계의 방호성능이 저조하였음이 여실히 드러났다. 이것은 그동안 우리 군이 적 위협에 대한 방호성능 연구개발에 소홀하였음을 시사 하였고, 차기 무기체계의 방호성능을 향상시킬 수 있는 다양한 방법을 모색하는 계기가 되었다. 이에 한국기계연구원에서는 2009년부터 건조되는 한국 해군 신조함정의 '함정 통합 생존성 해석 및 평가에 대한 연구'를 수행하여, 적성화기 위협에 대한 피탄 시험 및 방호성능에 필요한 원천데이터 확보하고 있으며, 함정 건조시 사용되는 다양한 재질들의 적성 소화기 위협에 대한 방호한계속도를 실제 사격실험을 통해 측정하고 있다.

방호한계속도(V_{50}: ballistic limit velocity)는 운동에너지탄이 표적을 충돌할 시 완전관통(CP: complete penetration) 하거나 부분관통(PP: partial penetration)하는 확률이 동일한 속도를 의미하는 것으로, 전투원의 개인 방탄복 및 전차, 장갑차의 장갑 등의 방호성능을 수치적으로 나타내는 중요한 척도이다 (Kim, et al., 2016). 일반적으로 방호한계속도는 미국에서 제시한 방법인 MIL-STD-662F(MIL) 그리고 NIJ-STD-0101.06(NIJ)을 사용하고 있다. MIL (Military Standard, 1997)는 미 국방성에서 제시한 금속, 비금속, 복합장갑 등의 소화기탄에 대한 방호성능을 측정하기 위한 실험방법 및 환경조건을 다루고 있으며, 1997년에 개정된 기준을 토대로 개인전투체계에서부터 장갑차 및 군용 항공기의 장갑에 이르기까지 다양하게 적용되고 있다. 또한, NIJ (Standard, 2008)는 미 연방형사정책연구원(National Institute of Justice)에서 제시한 방호성능 측정방법 및 실험절차의 표준안으로 2008년에 개정된 기준이 지금까지 사용되고 있다. 이 두 가지 방법은 전 세계적으로 준용되고 있으며, 국내 방호성능 연구에서도 이 방법들을 적용한 바 있다 (Jo & Kim, 2013; Kim & Jo, 2016).

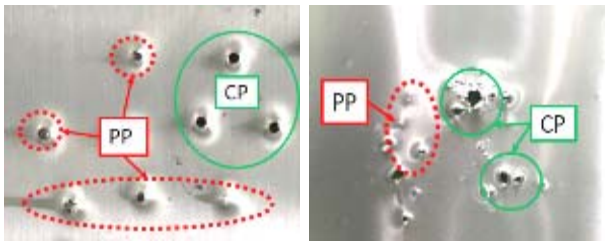
Received : 13 February 2017 | Revised : 2 May 2017 | Accepted : 30 May 2017
† Corresponding author : Jong-Hwan Kim, jonghwan7028@gmail.com

방호한계속도는 실제 사격실험을 통해서 측정된다. 하나의 유효데이터는 한발의 실제 사격실험을 통해서 수집되고, 실제 사격실험은 안전절차, 결과확인 및 실험준비 등으로 한 발당 대략 15분 정도 소요된다. 그러나 MIL과 NIJ 방법들은 각각의 제시된 요구조건을 만족하기 위해서 다량의 실험이 요구되어 많은 비용과 시간이 소모되는 문제점을 가지고 있었다. 이러한 문제점을 극복하기 위해, (Kim, et al., 2016) 연구는 두 가지 방법들과 거의 동일한 결과를 제공하면서도 유효데이터 수집의 유연성을 제공하여 시간과 비용을 줄일 수 있는 지지벡터(support vector) 기반의 새로운 방호한계속도 측정방법을 제시하였다.

본 연구는 대표적인 적성 소화기인 AK-47의 위협에 대한 함정 건조시 사용되는 다양한 재질들의 방호성능을 측정하였다. 이를 위해, 함정용 선체재질을 확보하여 실제 사격실험시 표적으로 사용하였으며, AK-47 연강심(mild steel core)탄의 탄속(bullet velocity)을 조절함으로서, 각 선체재질별 방호한계속도를 실험적으로 측정하였다. 또한, 세가지의 방호한계속도 방법을 사용하여 적성 소화기 위협에 따른 각 선체재질별 방호한계속도를 비교하고 재질별 차이를 분석하였다.

2. 방호한계속도 측정방법

본 연구는 방호한계속도 측정을 위해 위에서 제시한 MIL, NIJ 그리고 지지벡터방법을 사용하였다. 이 세가지 방법들은 실험적으로 계측된 완전관통(CP)과 부분관통(PP)의 충돌속도(strike velocity)를 고려하여 방호한계속도를 산출한다. 완전관통과 부분관통을 구분하는 기준은 검증판의 관통여부로 구분하는 방법과 검증판을 사용하지 않고 단순히 탄자의 표적관통 여부로 판단하는 방법이 있으며 (Lee, et al., 2012), 각각의 예는 Fig. 1(a) 및 1(b)에 제시되어있다. 전자는 MIL에서 제시된 방법에 따라 2024-T3 알루미늄 재질의 0.51 mm 두께인 방호검증판을 표적 뒤 152 mm(± 12.7 mm) 이격되어 평행하게 설치한 다음 관통여부를 판단한다. 이때, 탄자 혹은 파편에 의해 방호검증판이 관통되었을 경우를 완전관통으로, 그 외 경우를 부분관통으로 정의한다. 후자는 탄자가 표적을 완전히 뚫고 나올 경우를 완전관통으로, 표적의 뒷 편에서 발사체의 일부가 관찰 가능하면 부분관통으로 판단한다. 본 연구에서는 방호검증판을 사용하여 검증판의 관통여부로 완전관통과 부분관통을 구분하였다.



(a) use of witness plate (b) not use of witness plate

Fig. 1 Examples of the complete penetration(CP) and partial penetration(PP) based on both (a) and (b) criterions

2.1 MIL-STD-662F (MIL) 방호한계속도 측정방법

MIL의 방호한계속도($^{MIL}V_{50}$)는 완전관통과 부분관통의 데이터 중에서 완전관통의 최고 충돌속도와 부분관통의 최저 충돌속도의 범위가 18 m/s(총 4발시), 27 m/s(총 6발시), 38 m/s(총 10발시) 이하인 완전관통 및 부분관통 충돌속도들의 평균값으로 산출된다. 본 연구에서는 실험 소요시간과 비용을 고려하여, 식 (1)의 n = 3인 경우를 적용하여, 완전관통 및 부분관통의 유효데이터를 각각 3발씩 판단하고, 27 m/s 이내의 충돌속도의 평균값으로 방호한계속도를 계산하였다.

$$^{MIL}V_{50} = \frac{1}{2n}\left(\sum_{i=1}^{n} {}^{pp}V_{s_i} + \sum_{j=1}^{n} {}^{cp}V_{s_j}\right) \quad (1)$$

여기서 $^{CP}V_S$ 와 $^{PP}V_S$ 는 각각 완전관통과 부분관통의 충돌속도를 나타내며, 완전관통 및 부분관통의 데이터와 MIL 방식의 방호한계속도의 결과는 Fig. 2에 함께 제시되었다. 여기서, 녹색 별표는 완전관통을 적색 십자가는 부분관통을 의미한다. 방호한계속도를 산출하기 위해서 선택된 유효데이터는 사각형으로 표시되고 방호한계속도의 결과는 청색선으로 표시되었다.

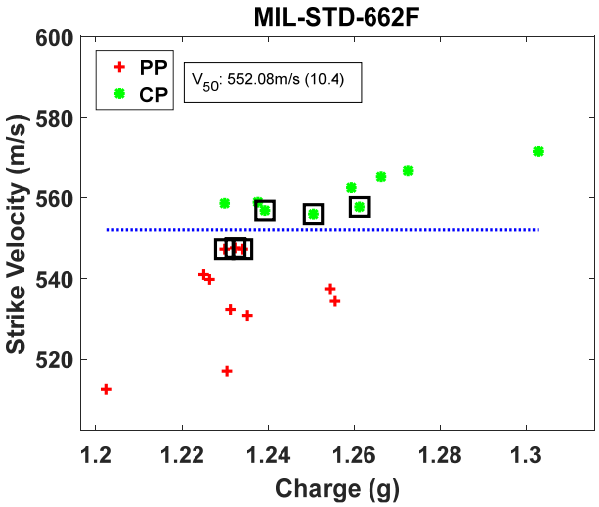


Fig. 2 Example of MIL-STD-662F results $^{MIL}V_{50}$ where a green star is CP while a red cross is PP and a black square represents valid data for V_{50} measurement

MIL 방법은 방호한계속도를 측정하기 위해서, 기준 범위 내 동일한 수의 완전관통과 부분관통 유효데이터를 획득해야 하기 때문에 동일한 수의 유효데이터를 얻기 위해 추가적인 실험이 요구된다. 또한, 복잡한 형태의 결과 분포를 간단한 산술적 평균값을 사용하여 방호한계속도를 산출하였기 때문에, 이상치(outlier)에 의해 방호한계속도가 영향을 받는 문제점이 존재하여 학문적인 연구소요가 존재한다.

2.2 NIJ-STD-0101.06 (NIJ) 방호한계속도 측정방법

NIJ 방법은 로지스틱 회귀분석을 사용하여 방호한계속도를 산출한다. 아래의 식 (2)와 같이, 단순한 선형모델의 로지스틱 회귀분석을 기초로, 완전관통을 1로 부분관통을 0으로 설정한 이항형 모델을 적용하였다. 또한, 최대가능도방법(maximum likelihood method)를 사용하여 로지스틱 상수 α 및 β를 추정하고, 부분관통과 완전관통을 0과 1의 연속적인 시그모이드(sigmoid) 형태의 확률함수로 표현하여 확률이 0.5가 되는 지점의 속도 (즉, 완전관통과 부분관통의 확률이 동일한 지점의 속도)인 방호한계속도를 산출하였다. Fig. 3은 완전관통 및 부분관통 데이터와 NIJ 방법을 사용한 로지스틱 회귀분석 결과를 보여준다.

$$P_{prob} = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta \overline{V_s})}} \tag{2}$$

$$^{NIJ}V_{50} = \frac{-\alpha}{\beta} \tag{3}$$

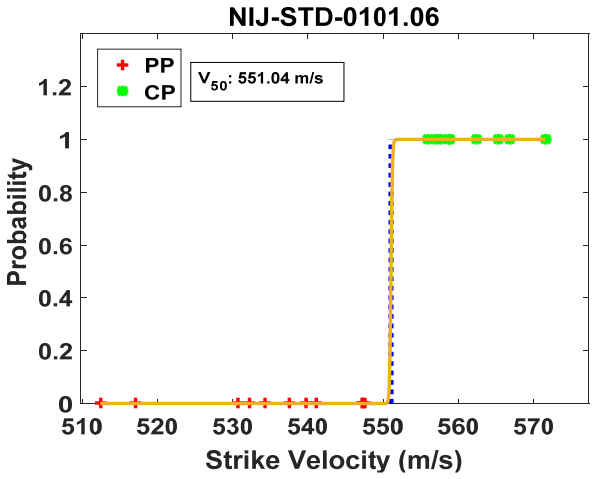


Fig. 3 Example of NIJ-STD-0101.06 results $^{NIJ}V_{50}$ where a green star is CP while a red cross is PP and a straight line represents logistic regression for V_{50} measurement

NIJ 방법은 로지스틱 회귀분석을 사용하여 확률적으로 방호한계속도를 산출하는 장점을 가진다. 그러나, 정확성이 높은 결과를 도출하기 위해선 충분한 표본수집이 필요하며, 이를 위해 MIL 방법보다 더 많은 수의 실험이 요구된다. 이것은 비용과 시간적인 면에서 부담을 가중시키는 문제점이 있다.

2.3 Support vector machine (SVM) 기반의 방호한계속도 측정방법

지지벡터머신(support vector machine)은 기계학습의 지도학습(supervised learning) 알고리즘의 하나로, 초평면을 사용하여 임의의 데이터를 2개 이상의 공간으로 분류(classification) 및 회귀(regression)하는 방법이다. 이 방법은 두 그룹이 만나는 영역의 가장 근접한 데이터를 지지벡터(support vector)로 설정하고, 각 그룹 지지벡터들의 여백을 극대화하는 평면, 즉 최대마진초평면(maximum margin hyperplane)을 계산하여 이항분류(binary classification)를 수행한다 (Cortes & Vapnik, 1995). 이 방법의 최대마진초평면은 완전관통과 부분관통의 두 그룹을 정확하게 구분할 수 있으며, 방호한계속도를 산출하는 근거가 된다. 이러한 SVM 방법을 (Kim, et al., 2016) 연구에서 적용하였으며, 기존의 방법들과 비교하여 그 효과를 분석한 바 있다.

본 연구에서는 완전관통과 부분관통을 구분하는 최대마진초평면 $\overline{w}$을 구하기 위해서, 두 그룹 마진크기를 $2/\|\overline{w}\|$으로 정의하고, 수학적 계산의 용이성을 위해 $\min(\|\overline{w}\|^2/2)$ 으로 설정하였으며, 완전관통 그룹을 positive로, 부분관통 그룹을 negative로 구분하여 식 (4)와 같이 표현하였다.

$$\begin{cases} \overline{w}x_i + b \geq 1 \quad \text{for } y_i = 1, & positive \\ \overline{w}x_i + b \leq -1 \quad \text{for } y_i = -1, & negative \end{cases} \tag{4}$$

또한, $\min(\|\overline{w}\|^2/2)$을 만족하는 초평면 $\overline{w}$를 구하기 위해서, 라그랑주 승수법(Lagrange multiplier method)과 최적합 이론의 Karush-Kuhn-Tucker 조건 $\frac{\partial L}{\partial w} = 0$ 및 $\frac{\partial L}{\partial b} = 0$을 적용하여 식 (4)로부터 각각 식 (5), (6a) 그리고 (6b)을 도출하였다.

$$L_p = \frac{1}{2}\|\overline{w}\|^2 - \sum_{i=1}^{n}\alpha_i\left[y_i\left(\overline{w}\overline{x_i} + b\right) - 1\right] \tag{5}$$

$$\overline{w} = \sum_{i=1}^{n}\alpha_i y_i \overline{x_i} \tag{6a}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\alpha_i y_i = 0 \tag{6b}$$

여기서, α_i는 라그랑주 승수(Lagrange multiplier)로 $\alpha_i \geq 0$ 이며, 식 (6a)를 식 (5)에 대입하면 식 (7)을 얻게 된다.

$$L_D = -\frac{1}{2}\sum_i\sum_j \alpha_i\alpha_j y_i y_j \overline{x_i}\,\overline{x_j} + \sum_i \alpha_i \tag{7}$$

식 (7)과 (6b)의 조건을 사용하면 라그랑주 승수 α_i 및 완전관통과 부분관통을 동일하게 나누는 초평면 $\overline{w}$를 산출하게 된다. Fig. 4는 완전관통과 부분관통 데이터와 지지벡터 그리고 SVM 방법을 통해 얻어진 방호한계속도의 결과를 보여준다.

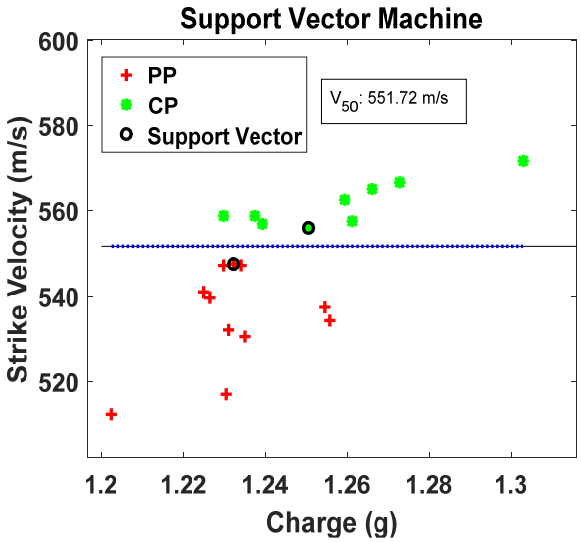


Fig. 4 Example of support vector machine results ${}^{SVM}V_{50}$ where a green star is CP while a red cross is PP and a straight line represents maximum margin hyperplane to measure V_{50}

3. 실험방법 및 결과

본 연구에서 사용한 적성 소화기의 위협은 Soviet union의 대표적인 소화기인 AK-47로 설정하였으며, 이 위협의 세부적인 제원은 Table 1에 제시되었다. AK-47의 7.62 × 39 mm MSC 탄의 중량은 7.75 ~ 8.05 g 이고, 초구속도는 710 ~ 725 m/s 이며, 운동에너지는 약 1950 ~ 2110 J 이다. 또한, 다양한 범위의 탄자속도를 구현하기 위해 추진장약의 양을 조절하였고, 탄피부피의 한계로 인하여 추진장약의 양은 1.2 ~ 1.8 g 범위내에서 조절되었다. MIL-STD-662F 제시된바와 같이 실험간 온도는 섭씨 20 도(± 5도) 그리고 습도는 75 %(±15 %)로 일정하게 유지하였다. 본 연구간 실험 환경/조건은 MIL-STD-662F를 준용하였으며, NIJ-STD-0101.06 및 SVM 방법에도 동일하게 적용하였다.

Table 1 Specifications of AK-47 7.62 mm MSC

Item		Specification
Dimension	DI	7.62 × 39 mm
Bullet length	BL	26.60 mm
Bullet radius	BR	7.88 mm
Bullet weight	BW	7.75 ~ 8.05 g
Initial velocity	IV	710 ~ 725 m/s
Kinetic energy	KE	1950 ~ 2110 J

본 연구에서는 함정 건조시 가장 일반적으로 사용되는 재질 3가지를 표적(target)으로 사용하였다. 그러나 이 재질들은 실제로 무기체계에 적용되고 있기 때문에 본 논문에서는 고유명칭 대신 Type A, Type B 그리고 Type C로 명시하였다. 각 재질은 45 cm × 45 cm 크기와 다양한 두께로 Type A는 22, 25, 28 mm, Type B는 22, 25, 30 mm, 그리고 Type C는 7, 8, 9 mm로 구분하였으며, MIL-STD-662F에 명시된 바와 같이, 총구(weapon muzzle)로부터 15 m 이격된 표적지점에 재질을 위치하여 실제 사격실험을 진행하였다. 또한, Fig. 5에서 보여진 바와 같이, 방호한계속도를 산출할 시 중요한 요소인 표적에 충돌하는 순간의 충돌속도 v_s는 3개의 적외선 감지 스크린을 사용하여 식 (8)와 같이 산출하였다. 이 방식은 1 m 단위로 설치된 3개의 스크린에 탄자가 통과하는 상대적인 시간을 계측하여 평균속도 v_1과 v_2를 계산하고, 두 속도의 차이$(v_1 - v_2)$와 이격된 거리(d)를 고려하여 표적에 충돌하는 충돌속도 v_s를 산출하는 것이다.

$$v_s = v_2 - \frac{d}{l}(v_1 - v_2) \tag{8}$$

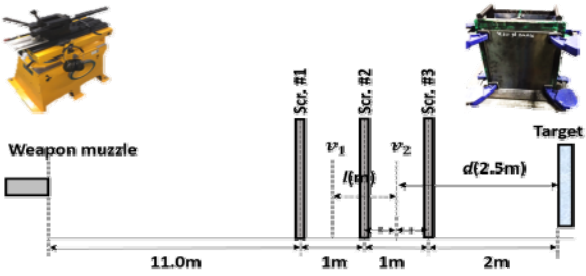


Fig. 5 Ballistic limit velocity measurement experimental setup

방호한계속도를 산출하기 위해서 MIL은 산술적 평균을, NIJ는 로지스틱 회귀분석을, 그리고 SVM은 최대마진초평면을 사용하였다. MIL은 산출방법이 간단하다는 이점을 가지나, 이상치가 발생할 경우 평균값에 영향을 주어 실제 방호한계속도와 다르게 나타나는 문제점이 있다. NIJ방식은 충분한 표본수집이 이루어지면 일반적이고 연속적인 시그모이드 함수의 형태가 나타나 50% 확률을 갖는 지점의 속도를 쉽게 구할 수 있는 반면에, 표본수집이 불충분할 경우 함수 형태의 변형이 나타나 방호한계속도 산출에 어려움이 존재한다. SVM 방식은 두 집단의 경계에 해당하는 지지벡터를 사용하여 동일한 수의 완전관통과 부분관통 데이터를 확보할 필요가 없고, 최소 2개의 적은 데이터로도 방호한계속도 산출할 수 있기 때문에, MIL 및 NIJ 방식에 비해 이상치의 영향을 받지 않을 뿐만 아니라, 상대적으로 높은 유연성과 효율성을 갖는다. 그러나 두 집단의 지지벡터가 경계면을 중심으로 높은 산포도를 갖는 경우에는 부정확한 방호한계속도를 산출하는 제한사항이 있다. 이러한 세 가지의 방식의 장단점을 고려하여, 식 (9)와 같이 세 가지 방식의 결과 중에 가장 낮은 값을 방호한계속도로 선정하였다. 이것은 정확성 측면보다, 좀 더 안정적이고 보수적인 측면으로 방호한계속도를 산출한 것이다.

$$^{Final}V_{50} = \min(^{MIL}V_{50}, ^{NIJ}V_{50}, ^{SVM}V_{50}) \quad (9)$$

실험시 사용된 각각의 세부적인 사항은 아래와 같으며, Table 2는 AK-47 7.62 mm MSC탄에 대한 결과를 보여주고 있다.

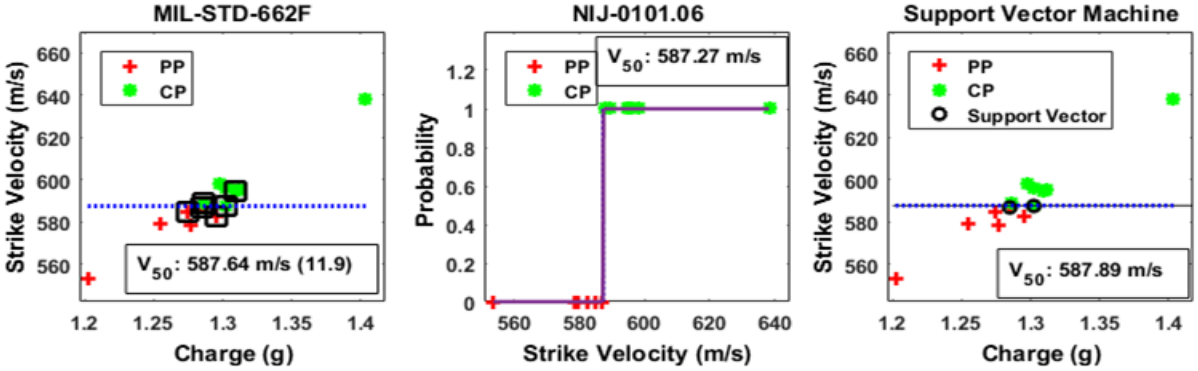
재질 및 두께

- Type A : 22, 25, 28 mm
- Type B : 22, 25, 30 mm
- Type C : 7, 8, 9 mm

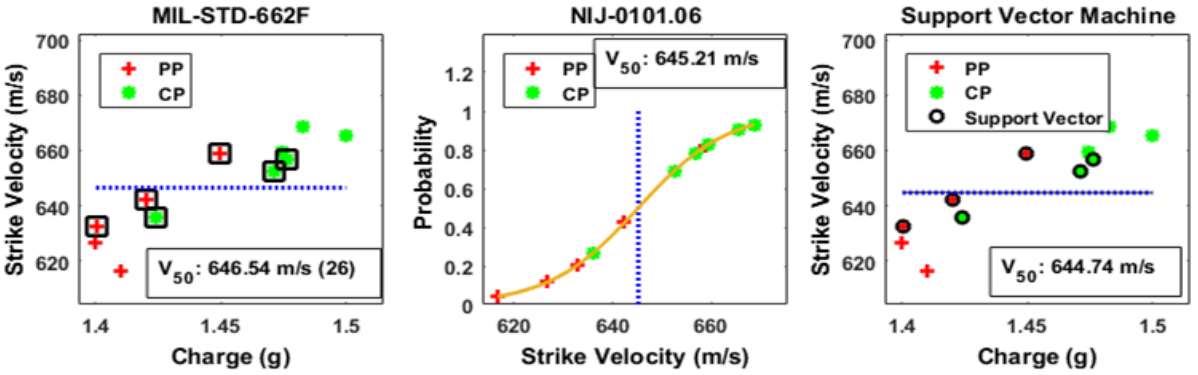
방호한계속도 산출방식: MIL, NIJ, SVM

Table 2 Experimental results with respect to methods; MIL-STD-662F(MIL), NIJ-STD-0101.06(NIJ), support vector machine(SVM), and Final

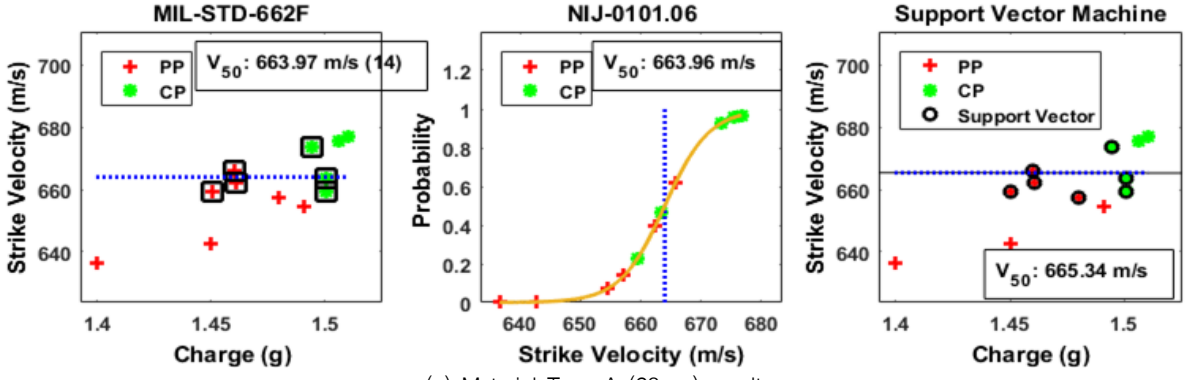
Materials	Thickness (mm)	$^{MIL}V_{50}$ (m/s)	$^{NIJ}V_{50}$ (m/s)	$^{SVM}V_{50}$ (m/s)	$^{Final}V_{50}$ (m/s)
Type A	22	587.64	587.27	587.89	587.27
	25	646.54	645.21	644.74	644.74
	28	663.97	663.96	665.34	663.96
Type B	22	578.6	576.99	579.33	576.99
	25	633.78	631.85	629.17	629.17
	30	691.43	694	690.52	690.52
Type C	7	653.08	652.11	659.77	652.11
	8	727.43	726.6	726.45	726.45
	9	717.94	716.08	719.75	716.08



(a) Material Type A (22mm) results



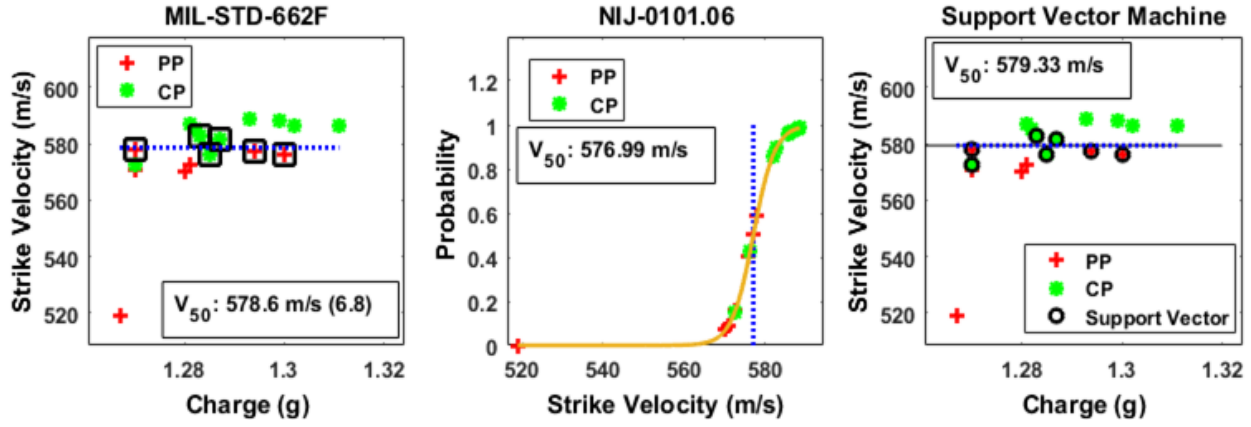
(b) Material Type A (25mm) results



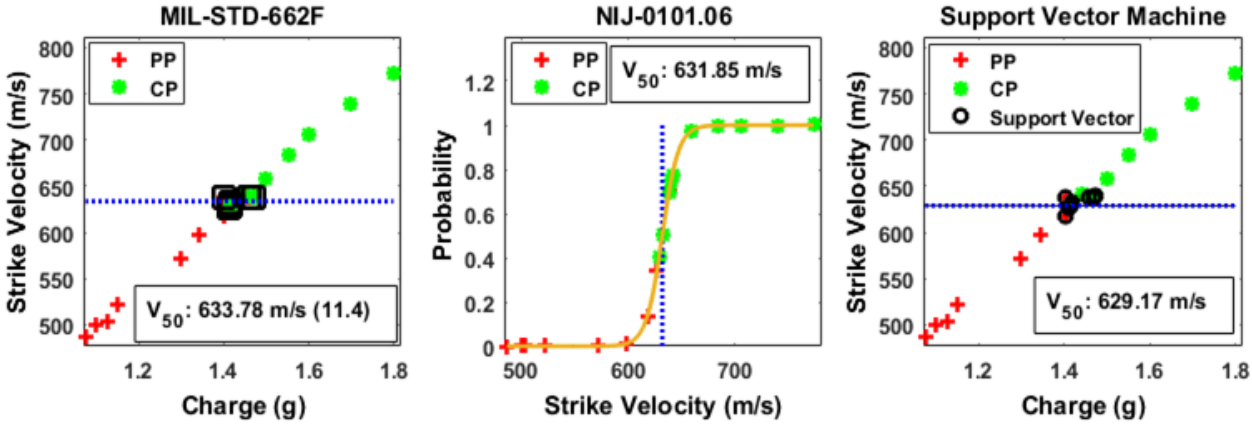
(c) Material Type A (28mm) results

Fig. 6 Ballistic limit velocity results of Type A with 22, 25, and 28 mm thickness against AK-47 7.62 mm MSC using MIL, NIJ, and SVM methods

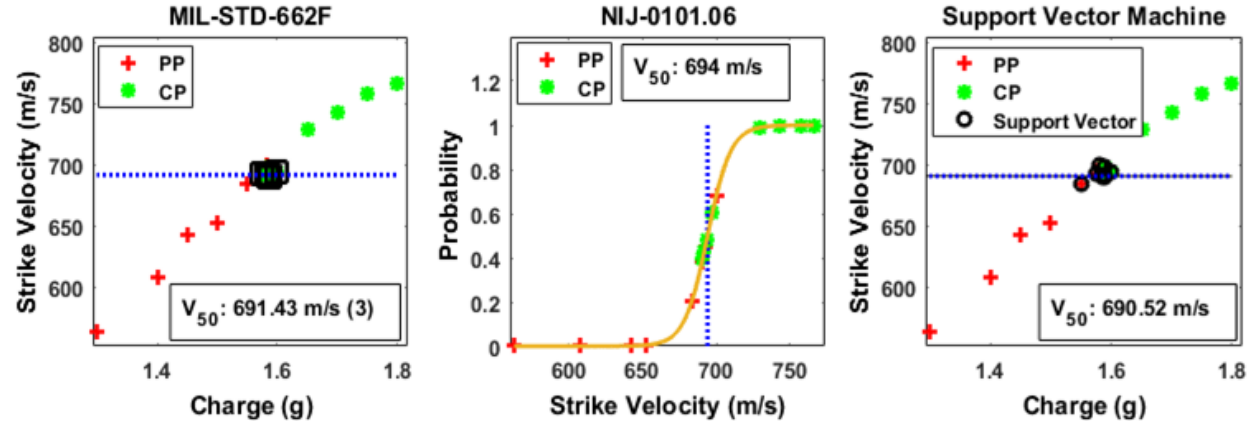
Fig. 6는 Material Type A의 22(a), 25(b), 그리고 28(c) mm 두께의 MIL, NIJ, 그리고 SVM 방식의 방호한계속도와 완전관통 및 부분관통의 데이터 분포를 보여준다. 전체적으로, 두께별 방호한계속도의 평균값은 587.60, 645.50, 664.42 m/s 를 분산은 0.25, 0.76, 0.65 m/s를 보여주고 있다. 두께가 22 mm NIJ의 경우 완전관통과 부분관통 충돌속도가 겹치는 구간이 존재하지 않기 때문에, NIJ 시그모이드 함수가 계단형태로 나타났으며, SVM의 경우 2개의 지지벡터만으로 방호한계속도를 산출할 수 있었다. 두께가 25 mm NIJ의 경우 데이터의 산포도가 22 mm에 비해 상대적으로 높아 완만한 형태의 시그모이드 함수가 나타났다.



(a) Material Type B (22mm) results

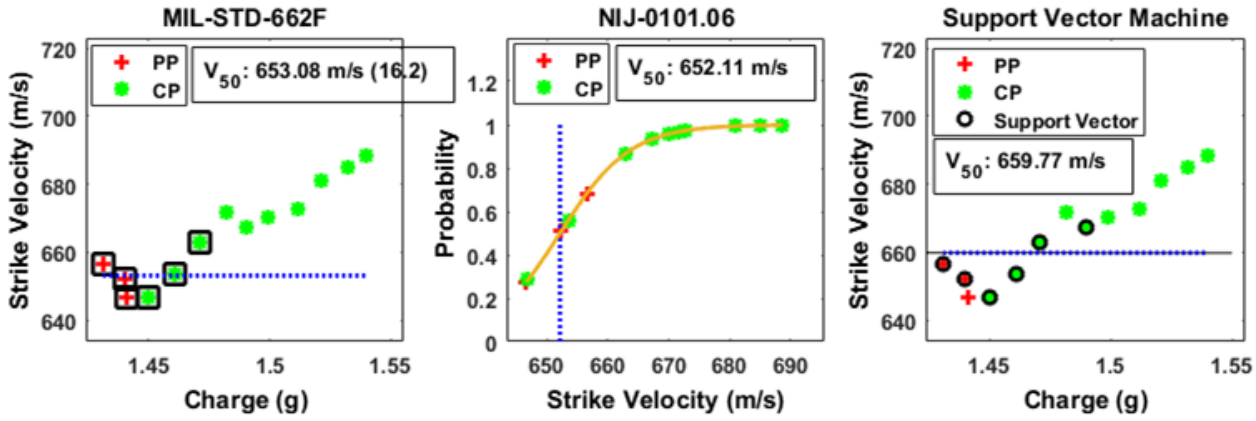


(b) Material Type B (25mm) results

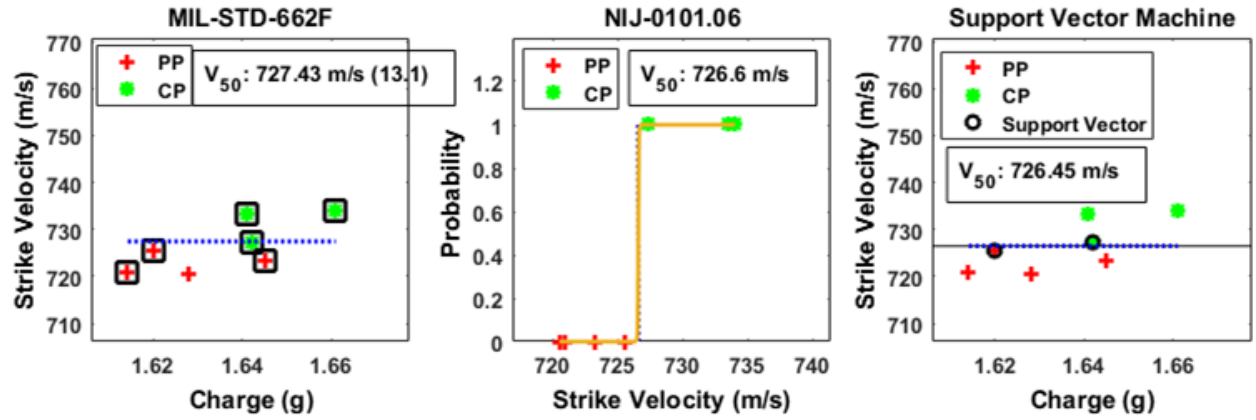


(c) Material Type B (30mm) results

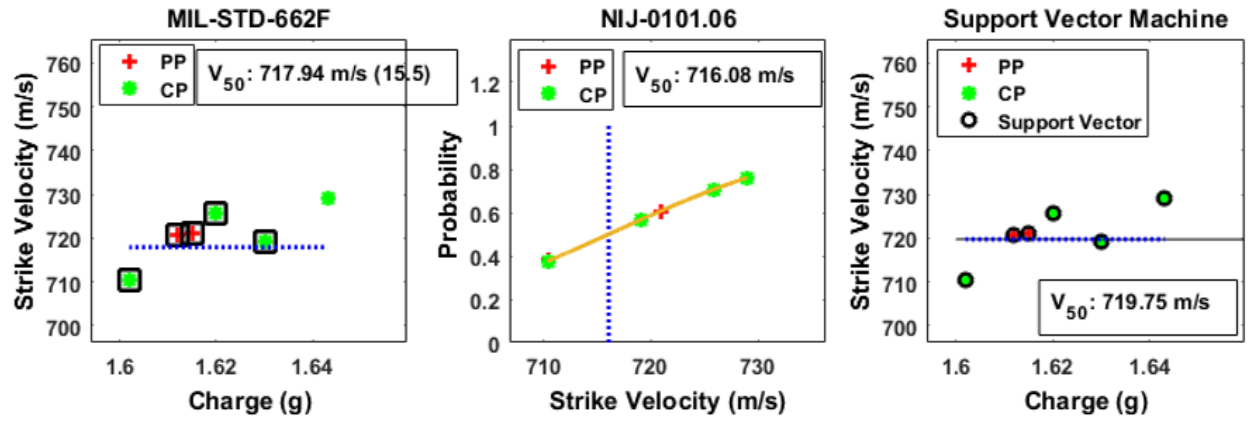
Fig. 7 Ballistic limit velocity results of Type B with 22, 25, and 30 mm thickness against AK-47 7.62 mm MSC using MIL, NIJ, and SVM methods



(a) Material Type C (7 mm) results



(b) Material Type C (8 mm) results

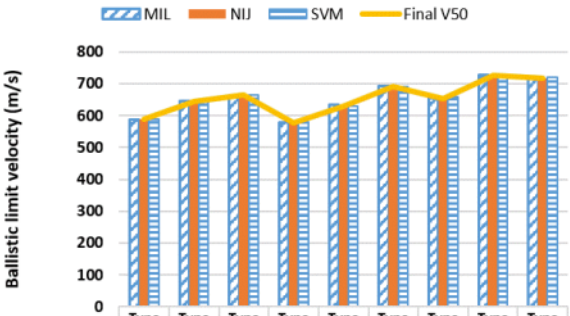


(c) Material Type C (9 mm) results

Fig. 8 Ballistic limit velocity results of Type C with 7, 8,and 9 mm thickness against AK-47 7.62 mm MSC using MIL, NIJ, and SVM methods

Fig. 7은 Material Type B의 22(a), 25(b), 그리고 30(c) mm 두께의 MIL, NIJ, 그리고 SVM 방식의 방호한계속도와 완전관통 및 부분관통의 데이터 분포를 보여준다. 전체적으로, 두께별 방호한계속도의 평균값은 578.31, 631.60, 691.98 m/s 를 분산은 0.98, 1.89, 1.47 m/s를 보여주고 있다. 3가지 두께별 NIJ 의 결과는 16개 이상의 데이터로 인해 표본수집이 충분히 이루어져 전형적인 시그모이드 함수의 형태가 보여지고 있다. Fig 8의 경우, 두께 7 mm의 결과는 부분관통의 데이터가 완전관통에 비해 상대적으로 적고, 두께 9 mm의 결과는 적은 표본수집(6개)으로 인하여 비정상적인 시그모이드 함수를 보여주고 있다. 또한, 두께 8 mm의 경우 완전관통과 부분관통 충돌속도의 겹치는 구간이 존재하지 않아 적은 데이터 수로도 세 가지의 방식의 결과값이 유사함을 보여주고 있다. 마찬가지로, Fig. 8은 Material Type C의 7(a), 8(b), 그리고 9(c) mm 두께의 MIL, NIJ, 그리고 SVM

방식의 방호한계속도와 완전관통 및 부분관통의 데이터 분포를 보여준다. 전체적으로, 두께별 방호한계속도의 평균값은 578.31, 631.60, 691.98 m/s 를 분산은 0.98, 1.89, 1.47 m/s를 보여주고 있다. Fig. 9는 전체적인 실험결과와 함께 각 결과값의 비교를 용이하기 위해, 재질별, 두께별, 산출방식별 방호한계속도 결과를 보여주고 있다.



	Type A (22)	Type A (25)	Type A (28)	Type B (22)	Type B (25)	Type B (30)	Type C (7)	Type C (8)	Type C (9)
MIL	587.64	646.54	663.97	578.6	633.78	691.43	653.08	727.43	717.94
NIJ	587.27	645.21	663.96	576.99	631.85	694	652.11	726.6	716.08
SVM	587.89	644.74	665.34	579.33	629.17	690.52	659.77	726.45	719.75
Final V50	587.27	644.74	663.96	576.99	629.17	690.52	652.11	726.45	716.08

Fig. 9 Experimental results with respect to material types, thickness, and methods

5. 결 론

본 연구는 대표적인 적성 소화기인 AK-47의 위협에 대한 함정 건조시 사용되는 다양한 재질들의 방호한계속도를 산출하였다. 이를 위해, 일반적인 함정용 선체재질 세가지 재료를 확보하여 실제 사격실험시 표적으로 사용하였으며, AK-47 연강심탄의 탄속을 조절함으로서, 재질별 두께별 방호한계속도를 실험적으로 측정하였다. 또한, 방호한계속도 측정을 위해 연구된 기존의 세 가지의 방법을 적용하여 적성 소화기 위협에 따른 각각의 선체재질별 방호한계속도를 비교하고 재질별 차이를 분석하였으며, 안정적이고 보수적인 입장에서 세 가지 방법의 방호한계속도 결과 중 가장 최저값을 도출하여, 해당재질의 실질적인 방호한계속도로 산출하였다.

다만 본 연구의 결과는 특정 탄종과 재질 그리고 제한된 충돌속도 범위 내에서 이루어졌기 때문에 일반적인 상황에 활용하기에는 제한된다. 그러나 본 연구에의해 수집된 방호한계속도 원천데이터는 차기 무기체계의 방호성능에 참고자료로 활용되고 나아가 여러 탄종과 재질의 원천데이터를 축적하여 우리 군의 무기체계 방호성능 향상에 기여되기를 기대한다.

후 기

본 논문은 한국기계연구원의 '함정 통합 생존성 해석 및 평가에 대한 연구'의 지원 및 화랑대 연구소의 지원으로 연구되었다. 본 실험간 적극적으로 지원해준 백승원, 정치정, 허미라, 그리고 한귀석 연구원분들께 감사함을 전한다.

References

Cortes, C. & Vapnik, V., 1995. Support vector machine. *Machine learning*, 20(3), pp.273-297.

Jo, S. & Kim, G. I., 2013. *Special purpose body-armor accquisition and technology.* Hwanrang-dae Research Institute: Korea Military Academy.

Kim, J.H. Baik, S. Yoon, B. & Jo, S., 2016. Support vector machine based ballistic limit velocity measurement for small caliber projectile. *Journal of the KIMST*, 19(5), pp. 629-637.

Kim, J.H. & Jo, S., 2016. Recursive bayesian filter based strike velocity estimation for small caliber projectile. *Journal of the KIMST*, 19(2), pp. 177-184.

Lee, S. Jung, B. Jung, D. & Kim, G., 2012. *Weapons engineering.* Chungmungak: Korea Military Academy.

Military Standard, M., 1997. 662F. *V50 Ballistic test for armour.* US Army Research Laboratory: Aberdeen Proving Ground, MD, 18.

Standard, N., 2008. 0101.06. *Ballistic resistnace of body armor.* Washington: National Institute of Justice, 2008-40p.

김 종 환 신 윤 호