

SVM 기반 소화기 방호한계속도 측정방법 연구

김종환^{*1)} · 백승원¹⁾ · 윤병조¹⁾ · 조성식¹⁾

¹⁾ 육군사관학교 기계·시스템학과

Support Vector Machine based Ballistic Limit Velocity Measurement for Small Caliber Projectile

Jong-Hwan Kim^{*1)} · Seungwon Baik¹⁾ · Byengjo Yoon¹⁾ · Sungsik Jo¹⁾

¹⁾Department of Mechanical & Systems Engineering, Korea Military Academy, Republic of Korea

(Received 29 February 2016 / Revised 11 July 2016 / Accepted 23 September 2016)

ABSTRACT

This paper presents a ballistic limit velocity measurement using the support vector machine that classifies two classes, the partial penetration and the complete penetration, by generating a linear separating hyperplane that equally divides the classes. For the ballistic limit velocity measurement, the previous methods(MIL-STD-662F and NIJ-STD-0101.06) have required a large number of experiments that caused high cost and time. However, the proposed method is not only flexible, requiring 0.85 ~ 4.8 times fewer experiments but also reliable, providing less than 2 % difference in results compared to the previous methods. For its validation, live fire experiments were conducted using various thickness SS400 iron plates as a target and two different types of live bullets such as 5.56 mm M193 and 7.62 mm M80.

Key Words : Ballistic Limit Velocity(방호한계속도), Support Vector Machine(지지벡터머신), Classification(분류)

기 호 설 명

- ${}^{pp}V_s$: 부분관통 충돌속도
- V_{50} : 방호한계속도
- cV_s : 완전관통 충돌속도
- \bar{w} : 초평면 법선벡터

1. 서 론

방호한계속도(V_{50} : Ballistic Limit Velocity)는 운동에너지탄이 표적을 부분관통(PP : Partial Penetration)하거나 완전관통(CP : Completed Penetration)하는 확률이 동일한 충돌속도(V_s : Strike Velocity)로서 전투원의 방탄복 및 장갑의 방호성능을 나타내는 중요한 척도이다. 일반적으로 방호한계속도는 MIL-STD-662F(MIL)^[1]와 NIJ-STD-0101.06(NIJ)^[2]에서 제시한 방법을 기초로 측정하고 있다. MIL는 금속, 비금속, 복합장갑의 소화

^{*} Corresponding author, E-mail: jongkim@kma.ac.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

기탄에 대한 저항성을 측정하기 위한 실험 절차, 장비, 환경조건 등의 표준안을 제공하고자 미 국방성에서 제작하였으며, 현재는 1997년 개정된 기준을 전투원의 개인 방탄복에서부터 전투 장갑차 및 군용 항공기의 장갑에 적용하고 있는 실정이다. 또한, NIJ는 미국의 National Institute of Justice에서 제시한 표준안으로, 방탄복이 갖추어야 할 최소한의 방호성능 요구조건뿐만 아니라 실험 절차, 장비, 측정방법 등을 세부적으로 제시하고 있으며, 몇 차례의 개선과정을 거쳐 현재는 2008년에 개정된 기준을 적용하고 있다. 이 두 가지 방법은 전 세계적으로 사용되고 있는 일반적인 방법이며, 우리 군에서도 방탄복/판 및 장갑의 방호성능 측정 시 이 방법들을 적용한바 있다^[3].

방호한계속도 측정은 실제사격을 통해 이루어진다. 하나의 실험데이터는 한 발의 실제사격을 통해 획득되고 한 발당 평균 15분 정도가 소요되기 때문에, 실험간 상당한 비용 및 시간 소모가 존재한다. 특히, MIL 방법의 경우 기준 범위 내에서 동일한 수의 부분관통 및 완전관통 실험데이터를 엄격하게 요구하기 때문에, 이를 충족시킬 때까지 추가 실험을 진행해야하는 경우가 빈번히 발생되어 많은 비용과 시간이 요구되었다. 또한, NIJ 방법의 경우 높은 정확성과 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해서 로지스틱 회귀분석을 사용하였으나, 충분한 표본수집을 위한 다량의 실험이 요구되기 때문에, MIL 보다 훨씬 더 많은 비용과 시간이 소모되었다. 이러한 기존 방법들은 고비용 및 구매가 제한되는 탄약을 실험간 사용할 경우 막대한 경제적 부담을 초래하는 문제점이 존재하였다.

본 연구는 이러한 문제점을 개선하고자 기존의 방법과 다른 방식을 적용하였으며, 그것은 로봇 인공지능^[5] 및 군사분야^[6]에서 활용되고 있는 기계학습의 지지 벡터머신(SVM : Support Vector Machine)^[7]이다. 이 알고리즘은 임의의 데이터를 선형 또는 비선형 초평면(hyperplane)을 통해 두 개 이상의 공간으로 분류하는 것으로^[6,8], 방호한계속도 측정에 필요한 부분관통 그리고 완전관통 간의 여백을 최대화하는 초평면 즉, 부분관통과 완전관통의 여백이 동일한 지점의 속도를 고려하여 방호한계속도를 산출하는 것이다. 본 연구에서는 이러한 SVM을 사용하여 방호한계속도를 산출하였고, 기존 방법들의 갖는 결과와 제안 방법의 결과를 비교 및 분석하였으며, 제안하는 방호한계속도 측정방법의 한계점을 제시하였다.

2. 기존 방호한계속도 측정방법

방호한계속도에서 가장 중요한 요소는 부분관통 및 완전관통의 충돌속도이다. Fig. 1에 제시된 바와 같이, 부분관통과 완전관통에 대한 육군과 해군의 기준은 상이하다. 육군의 경우 완전관통과 부분관통의 차이는 탄자가 표적의 두께를 기준으로 두께 이상의 관통여부로 두고 있는 반면에, 해군의 경우는 탄자가 표적의 두께를 뚫고 나와야 완전관통으로 보고 있다. 또한, 방호한계를 측정하는 기준은 육군과 해군의 기준과 달리, 인체 피해 여부를 반영하기 위하여 표적 뒤 152 mm(± 12.7 mm) 이격되어 평행하게 설치된 0.51 mm 두께 검증판(2024-T3 Aluminum)의 관통여부로 부분 및 완전관통을 구분하고 있다^[3]. 본 연구에서는 이 검증판을 사용한 방호한계 기준을 적용하여 부분관통과 완전관통을 실험적으로 구분하였다.

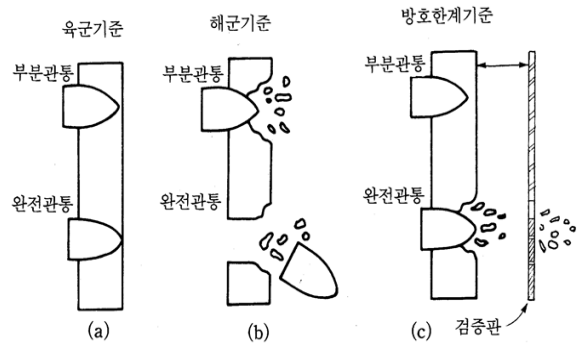


Fig. 1. Penetration definition of the Army (a) and Navy (b) in Republic of Korea as well as the ballistic limit definition (c)^[3]

2.1 MIL-STD-662F(MIL) 방호한계속도 측정방법

MIL에서 제시한 방호한계속도 측정방법은 부분관통 최저속도와 완전관통 최고속도의 차이가 18 m/s (총 4발시), 27 m/s(총 6발시), 38 m/s(총 10발시) 이하일 때 동일한 수의 높은 부분관통 속도들과 낮은 완전관통의 속도들의 평균값으로 산출한다^[1]. 본 연구에서는 실험 결과의 비교/분석과 실험 소요시간 및 소요비용을 고려하여 부분관통 최저속도와 완전관통 최고속도의 차이가 27 m/s를 충족하는 부분관통 및 완전 관통, 각각 3발씩 총 6발 충돌속도의 평균값으로 측정하였으며, 아래의 식 (1)을 적용하였다.

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

여기서, n 은 27 m/s의 기준을 충족하는 충돌속도의 수($n = 3$) 이고, ${}^{pp} V_{s_i}$, ${}^{cp} V_{s_j}$ 는 각각 부분관통과 완전 관통의 충돌속도를 의미하며, i, j 는 부분관통의 경우 높은 충돌속도에서 낮은 충돌속도 순으로, 완전관통의 경우 낮은 충돌속도에서 높은 충돌속도 순으로 정렬된 데이터의 순서를 나타낸다.

2.2 NIJ-STD-0101.06(NIJ) 방호한계속도 측정방법

NIJ의 방호한계속도는 MIL의 방법과 다르게 로지 스틱 회귀분석을 사용한다. 아래의 식 (2)에 나타난바 와 같이, 일반적인 선형모델의 로지스틱 회귀분석이 적용되었으며, 부분관통과 완전관통을 각각 0과 1로 구분한 이항형 모델이 사용되었다. 방호한계속도 산 출실험을 통해 획득된 충돌속도(V_s) 데이터를 기초로 부분관통(0)과 완전관통(1) 사이의 연속적인 ‘S’ 곡선 형태의 증가함수를 갖추고, 최대가능도방법(Maximum Likelihood Method)을 사용하여 로지스틱 상수 α 와 속 도계수 β 를 추정하였다.

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

$$NIJ V_{50} = \frac{-\alpha}{\beta} \quad (3)$$

NIJ의 방호한계속도는 식 (3)에 제시된 바와 같이, 로지스틱 상수 α 와 속도계수 β 의 비율로 산출할 수 있고, 그 분포결과의 예는 Fig. 2에 제시되었다. NIJ에 서 제시한 로지스틱 회귀분석에 기반을 둔 방호한계속 도 측정방법은 확률에 기초하여 방호한계속도를 산출 하는데 효과적이거나, 신뢰성 있는 확률분포를 갖기 위 해서는 다량의 실험 데이터가 요구된다. Table 1은 NIJ 에서 제시한 개인방탄복 종류별 최소 데이터 수를 나 타내고 있다. 방탄복 형태인 IIA형에서부터 IIIA형까 지의 경우, 최소 실험 횟수는 120이며, III형의 경우는 24, IV형의 경우는 12임을 확인할 수 있다. 뿐만 아니 라, 실험간 발생하는 불확실성으로 인해 유효 데이터 를 확보하기 위해선 제시된 수 보다 더 많은 수의 실험 을 진행해야하는 어려움이 존재한다.

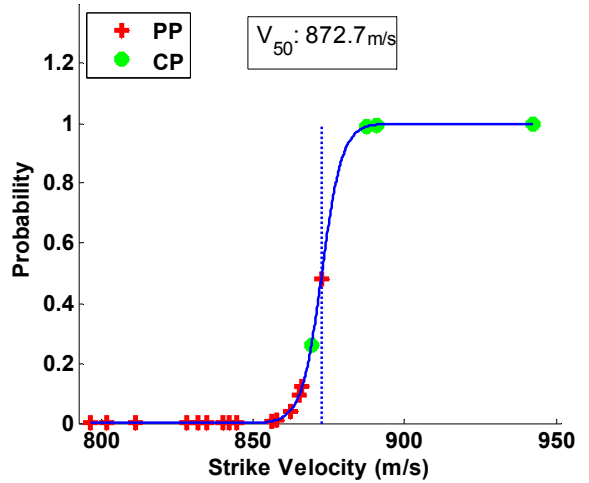


Fig. 2. The ballistic limit velocity measurements using a logistic regression results in NIJ-STD-0101.06 where PP means the partial penetration and CP is the completed penetration

Table 1. Baseline ballistic limit determination test in NIJ-STD-0101.06^[2]

Armor Type	Ballistic Panels	Minimum Shots	Minimum Penetration Results
Type IIA ~ IIIA	10	120	at least 30 perforations
TYPE III	4	24	at least 6 perforations
TYPE IV	2~12	12	at least 3 perforations

3. SVM 기초한 방호한계속도 측정방법

SVM은 기계학습의 지도학습(Supervised learning) 알고리즘의 하나로, 임의의 데이터를 선형 또는 비선형 초평면을 통해 2개 이상의 공간으로 분류 또는 회귀 분석하는 기법이다^[6,8]. 이 방법은 보다 정확한 분류를 수행하기 위해, 두 개의 공간이 만나는 영역의 가장 근접한 데이터를 지지벡터(Support vector)로 정의하고 각각 공간상에 존재하는 지지벡터들의 여백을 극대화 하는 평면, 즉 최대마진초평면(Maximum margin

hyperplane)을 계산하는 최적화 이론을 수행한다. 본 연구는 이러한 SVM을 활용하여 부분관통(PP)과 완전관통(CP), 두 가지 데이터들의 여백을 최대화 하는 최대 마진초평면을 계산하고, 그 초평면상의 부분관통과 완전관통을 가장 적합하게 구분하는 지점의 속도를 찾음으로써 방호한계속도를 산출하는 특성 때문에, 산술평균과 로지스틱 회귀분석으로 방호한계속도를 산출하는 MIL 및 NIJ의 방법과 차이점이 존재한다.

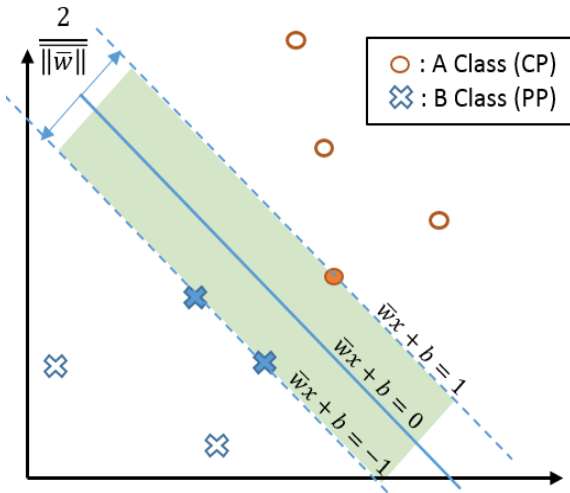


Fig. 3. Linear separating hyperplanes of SVM where support vectors are marked; CP refers the completed penetration and PP means the partial penetration

Fig. 3에서 제시된 바와 같이, SVM의 최대 마진을 갖기 위한 A 및 B Class의 마진크기는 $\frac{2}{\|\bar{w}\|}$ 로 표현되고 $\max \frac{2}{\|\bar{w}\|}$ 를 갖는 초평면 \bar{w} 를 구하는 것이다. 그러나 본 연구에서는 수학적 계산의 용이성을 위해 $\min \frac{\|\bar{w}\|^2}{2}$ 를 만족하는 선형 초평면을 구하고자 하였다. 초평면은 두 개의 Class 중 A Class(positive, 1) 및 B Class(negative, -1)로 구분하여 식 (4a) 및 (4b)와 같이 정의된다.

$$\bar{w}x_i + b \geq 1 \text{ for } y_i = 1 \text{ (positive)} \tag{4a}$$

$$\bar{w}x_i + b \leq -1 \text{ for } y_i = -1 \text{ (negative)} \tag{4b}$$

방호한계속도측정에서 고려되는 중요한 성분은 충돌속도이며, 충돌속도 한 가지 성분만을 사용하여 완전관통과 부분관통을 분류하기 때문에 비선형 분류를 위한 커널함수 대신 선형함수가 고려되었다. 여기서, b 는 바이어스(Bias)로 $b = 0$ 일 경우 초평면은 원점을 지나게 되고, x_i 는 지지벡터로 $-1 \leq \bar{w}x + b \leq 1$ (i.e. 녹색영역)을 만족하며, y_i 는 Class를 나타내는 상수로서, $y \in \{1, -1\}$ 으로 각각 완전관통, 부분관통으로 표현되었다. 위 식 (4a)와 (4b)를 사용하여 두 개의 Class를 포함한 초평면의 관계식은 식 (5)에 나타나 있다.

$$y_i(\bar{w}x_i + b) \geq 1 \tag{5}$$

$\min \frac{\|\bar{w}\|^2}{2}$ 를 만족하는 최적화 선형 초평면을 구하기 위해, 라그랑주 승수법(Lagrange multiplier method)을 식 (5)에 적용하여 식 (6)을 얻을 수 있다.

$$L_p = \frac{1}{2} \|\bar{w}\|^2 - \sum_{i=1}^n \alpha_i [y_i(\bar{w}x_i + b) - 1] \tag{6}$$

여기서, α_i 는 라그랑주 승수(Lagrange multiplier)이고 $\alpha_i \geq 0$ 을 만족하며, 라그랑주 승수, 지지벡터, 그리고 Class 상수를 포함한 관계식 $\alpha_i [y_i(\bar{w}x_i + b) - 1] = 0$ 을 얻을 수 있다. 또한, 최적화 이론의 Karush-Kuhn-Tucker 조건 $\frac{\partial L}{\partial w} = 0$ 및 $\frac{\partial L}{\partial b} = 0$ 을 적용하면 각각 식 (7a) 및 식 (7b)를 얻는다.

$$\bar{w} = \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i x_i \tag{7a}$$

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i y_i = 0 \tag{7b}$$

식 (7a)를 다시 식 (6)에 적용하면 식 (8)을 얻는다.

$$L_D = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_j \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i x_j + \sum_i \alpha_i \tag{8}$$

식 (8)에 지지벡터와 Class 상수 데이터를 입력하고 식 (7b)의 조건을 사용하면, 라그랑주 승수 α_i 및 \bar{w}

값을 산출하여 부분관통과 완전관통을 동일한 마진으로 분류할 수 있는 초평면을 얻게 된다. 이 초평면을 통해 우리는 부분관통과 완전관통의 여백이 동일한 지점의 속도인 방호한계속도를 산출할 수 있다.

4. 실험방법 및 결과

4.1 총돌속도 측정

본 연구에서 적용된 총돌속도는 Fig. 4에서 제시된 바와 같이 탄자가 스크린 #1, #2 그리고 #3을 통과할 때 측정된 각각의 시간과 속도변화량을 통해 탄자가 표적에 출동하는 순간의 속도를 산출하는 방식을 사용하였다^[4]. 이 방식은 각각의 스크린의 시간 차이를 측정하여 두 개의 기준속도(v_1, v_2)를 산출한 다음, 식 (9)와 같이 이 기준속도들의 변화량, 표적까지의 거리를 통해 얻은 손실속도, 그리고 기준속도와와의 차이를 통해 총돌속도(V_s)를 측정한다.

$$V_s = v_2 - \frac{D}{l}(v_1 - v_2) \tag{9}$$

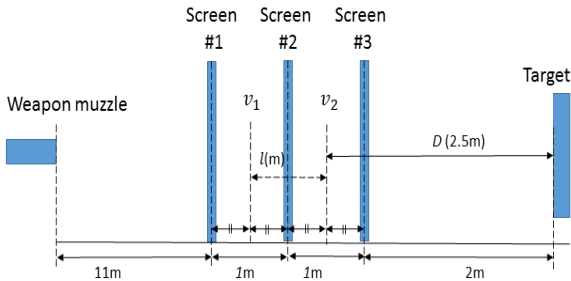


Fig. 4. An experimental setup for the strike velocity measurement using the velocity difference method^[4]

4.2 소화기 탄종 및 SS400 강철판

이번 방호한계속도 측정 실험에서 사용된 탄은 총 두 가지로, 국제적으로 보편화된 5.56 mm 및 7.62 mm 계열의 NATO 탄약인 5.56 mm M193 그리고 7.62 mm M80이며, 이 탄종들의 세부적인 제원은 Table 2에 제시되었다. 또한, 표적으로는 값이 저렴하고 재질이 균질한 45 cm × 45 cm 크기와 9 mm, 10 mm 그리고 12 mm 두께의 SS400 강철판을 사용하였다.

Table 2. Specifications of 5.56 mm M193 and 7.62 mm M80 live bullets

Specification	5.56 mm M193	7.62 mm M80
Bullet length(m)	18.93	28.44
Bullet weight(g)	3.55	9.54
Velocity(m/s)	948.42	828.93
Kinetic Energy(J)	1598	3279

4.3 실험 결과

본 연구에서는 SVM에 기반을 둔 방호한계속도 측정의 성능을 분석하기 위해 총 82발(각 탄종별 41발)의 실제 사격으로 실험데이터를 확보하였으며, SS400 강철판의 두께를 9 mm, 10 mm, 그리고 12 mm로 두어 두께별 차이를 비교 및 분석하였다. 또한, MIL, NIJ, SVM의 세 가지 방호한계속도 측정방법과 세 가지 두께에 대한 실험결과는 5.56 mm M193의 경우는 Fig. 5-7. 그리고 7.62 mm M80의 경우는 Fig. 8-10에 제시되었다. 아울러, Fig. 5-10에 보여진바와 같이, MIL의 결과를 (a), NIJ의 결과를 (b), 그리고 본 연구에서 제안하는 방법인 SVM의 결과를 (c)로 구분하여 제시하였다. 또한, V_{50} 산출을 위해 선택된 데이터 및 지지벡터들은 각각 직사각형 및 동그라미로 MIL 및 SVM 결과상에 표시되었으며, 세 가지 방법에 의한 실험횟수 및 V_{50} 비교 결과는 Table 3 및 4에 제시되었다.

Table 3. The number of experiments for V_{50} measurements in three different methods, where $Ratio = \frac{SVM\ Num}{(MIL, NIJ)\ Num}$

Type	SS400	MIL	NIJ	SVM (pp, cp)	Ratio	
					MIL	NIJ
5.56 mm M193	9 mm	6	19	4 (3, 1)	0.67	0.21
	10 mm	6	12	6 (4, 2)	1.00	0.50
	12 mm	6	10	7 (5, 2)	1.17	0.70
7.62 mm M80	9 mm	6	14	5 (2, 3)	0.83	0.36
	10 mm	6	17	4 (2, 2)	0.67	0.24
	12 mm	6	10	6 (3, 3)	1.00	0.60

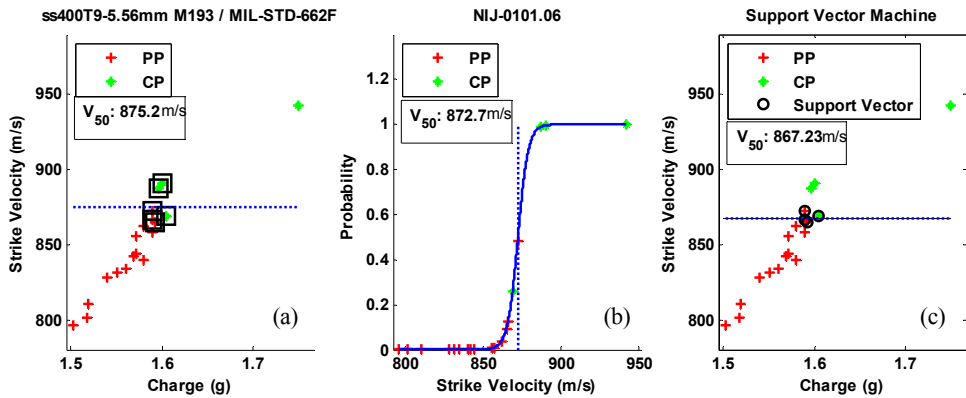


Fig. 5. The ballistic limit velocity results of MIL(a), NIJ(b) and SVM(c) for a 9 mm-thickness SS400 using 5.56 mm M193

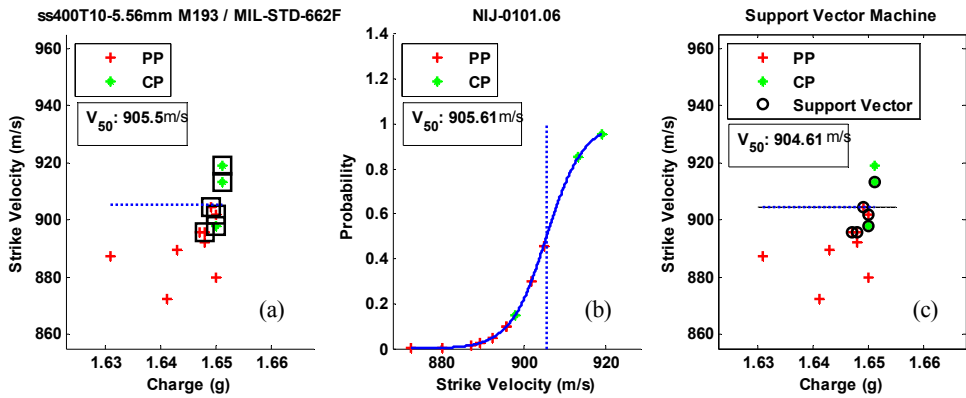


Fig. 6. The ballistic limit velocity results of MIL(a), NIJ(b) and SVM(c) for a 10 mm-thickness SS400 using 5.56 mm M193

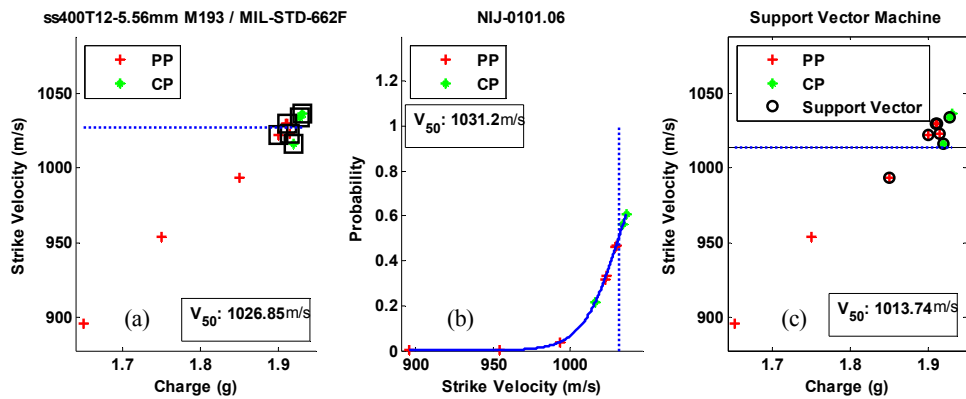


Fig. 7. The ballistic limit velocity results of MIL(a), NIJ(b) and SVM(c) for a 12 mm-thickness SS400 using 5.56 mm M193

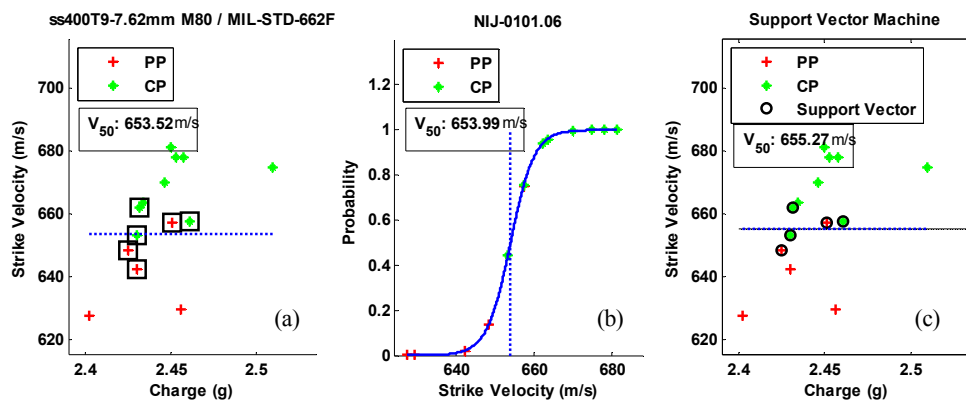


Fig. 8. The ballistic limit velocity results of MIL(a), NIJ(b) and SVM(c) for a 9 mm-thickness SS400 using 7.62 mm M80

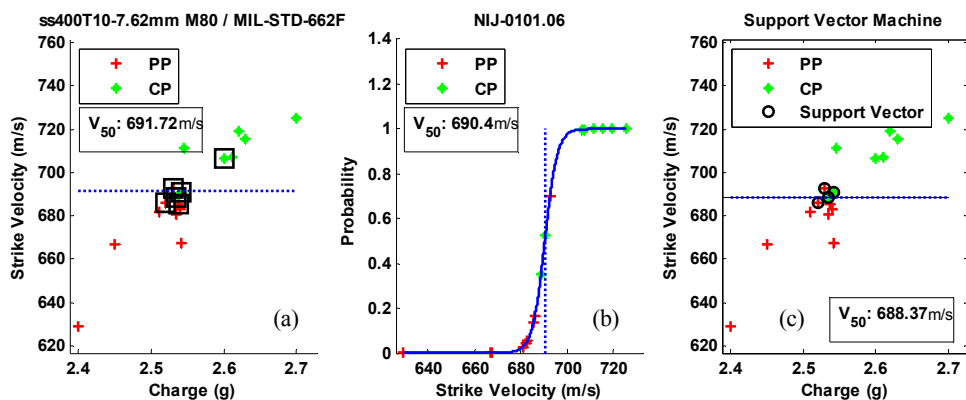


Fig. 9. The ballistic limit velocity results of MIL(a), NIJ(b) and SVM(c) for a 10 mm-thickness SS400 using 7.62 mm M80

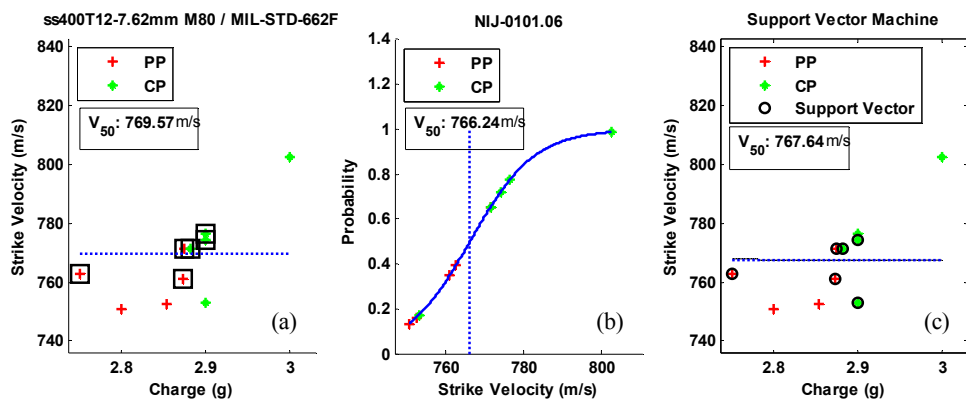


Fig. 10. The ballistic limit velocity results of MIL(a), NIJ(b) and SVM(c) for a 12 mm-thickness SS400 using 7.62 mm M80

실험 횟수에 대한 분석은 Table 3에 나타나있다. MIL 방법은 반드시 6개의 실험 데이터틀, NIJ 방법은 확률적 계산을 위해 12개 이상의 실험 데이터를 반영해야하는 반면에, SVM은 부분관통과 완전관통의 서로 가장 근접한 실험 데이터 즉, 지지벡터만을 고려하기 때문에 MIL보다 0.85 ~ 1.5배의 실험 횟수에 대한 유연성을 가질 뿐만 아니라, NIJ보다 1.4배 ~ 5배의 상대적으로 적은 실험 횟수를 가진다. 또한, MIL은 실험 데이터가 27 m/s 이내에 존재해야하는 조건을 만족하더라도 실험 데이터가 그 경계부근에 존재하게 되면 평균값에 영향을 주는 반면에, SVM은 Fig. 5-10에 나타난바와 같이, 두 집단의 근접한 지지벡터만을 고려하기 때문에 같은 실험데이터를 사용하더라도 MIL보다 경계값의 영향을 상대적으로 적게 받는 방호한계속도를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 또한, 세가지 방법의 방호한계속도 결과의 차이는 Table 4에 나타나 있으며, 각각의 정량적 차이는 식 (10)에 의해 산출되었다.

$$Error = \frac{\{MIL, NIJ\} V_{50} - SVM V_{50}}{SVM V_{50}} \times 100 \quad (10)$$

제안된 방법의 결과를 기존 방법들의 결과와 비교해볼 때, 이들의 차이가 전체적으로 2 % 이내이며, 5.56 mm M193 SS400 12 mm의 결과를 제외한 나머지는 0.1 ~ 0.92 % 임을 확인할 수 있다. 이것은 SVM에 기반을 둔 방호한계속도 방법이 적은 횟수로도 기존의 두 가지 방법 결과와 크게 차이가 나지 않는다는 것을 증명하는 것이다.

Table 4. Comparison of V_{50} results and errors in the three methods

Type	SS400	MIL (m/s)	NIJ (m/s)	SVM (m/s)	Error(%)	
					MIL	NIJ
5.56 mm M193	9 mm	875.20	872.70	867.23	0.92	0.63
	10 mm	905.50	905.61	904.61	0.10	0.11
	12 mm	1026.9	1031.2	1013.74	1.29	1.72
7.62 mm M80	9 mm	653.52	653.99	655.27	-0.27	-0.20
	10 mm	691.72	690.40	688.37	0.49	0.29
	12 mm	769.57	766.24	767.64	0.25	-0.18

5. 결론

본 연구는 방호한계속도를 측정하는 기존 방식의 문제점을 개선하기 위하여 기계학습 알고리즘의 하나인 SVM을 사용하였다. 기존방법들은 실험 조건 및 횟수가 엄격하게 정해져 있고, 충분한 표본수집을 위해 많은 양의 실험횟수를 요구하고 있어 방호한계속도 측정간 상당한 양의 시간과 비용이 요구되었다. 반면에 제안된 방식은 부분관통과 완전관통의 경계부분에 존재하는 지지벡터만을 고려하기 때문에,

- 실험횟수 측면에서, MIL 방법보다 0.85 ~ 1.5배 유연하고, NIJ 방법보다 1.4 ~ 4.8배의 상대적으로 적은 양의 실험이 요구되었다.
- V_{50} 결과 측면에서, MIL 결과로부터 0.10 ~ 1.29 % 차이가, NIJ 결과로부터 0.11 ~ 1.72 % 차이가 존재하였으며, 5.56 mm M193 12 mm의 V_{50} 결과를 제외 시 그 차이는 전체적으로 0.10 ~ 0.92 % 이었다.

제안된 방법은 아직 기초 단계로 특정 탄종의 결과에 제한된 상태이다. 실제 측정에 적용되기 위해선 지속적인 연구와 다량의 데이터 확보 그리고 그 결과에 대한 검증 과정이 요구된다. 그러나 제안된 방법이 보여준 실험시간 감소 및 비용절감의 장점은 매력적이며, 이 논문을 시작으로 다양한 기법들이 연구되어 방호성능측정 방법이 지속적으로 발전되기를 기대한다.

후 기

본 논문은 육군사관학교 화랑대 연구소의 2016년도 연구 활동비 지원을 받아 연구되었으며, 이병진 교수 및 황호 주무관의 정성스런 연구지원에 감사를 포함.

References

[1] M. Military Standard, "662F. V50 Ballistic Test for Armor," US Army Research Laboratory : Aberdeen Proving Ground, MD, Vol. 18, pp. 1-18, 1997.

[2] N. Standard, "0101.06. Ballistic Resistance of Body Armor," Washington : National Institute of Justice, 2008. Vol. 1, pp. 1-74, 2008.

- [3] S. Jo and G. I. Kim, "Special Purpose Body-armor Acquisition and Technology," Hwarang-dae Research Institute, Vol. 1, pp. 1-179, Mar 2013.
- [4] J.-H. Kim and S. Jo, "Recursive Bayesian Filter based Strike Velocity Estimation for Small Caliber Projectile," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 19, pp. 177-184, 2016.
- [5] Y. Ma and G. Guo, Support Vector Machines Applications : Springer, 2014.
- [6] I.-Y. Na, "A Reliability Prediction Method for Weapon Systems using Support Vector Regression," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 16, pp. 675-682, Oct. 2013.
- [7] C. Cortes and V. Vapnik, "Support Vector Machine," Machine Learning, Vol. 20, pp. 273-297, 1995.
- [8] C.-W. Hsu and C.-J. Lin, "A Comparison of Methods for Multiclass Support Vector Machines," IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 13, pp. 415-425, 2002.