

# 프로빗 분석을 활용한 타격식 뇌관의 외부 충격에 의한 감도특성 연구

이재관<sup>1\*</sup>, 안대희<sup>1</sup>, 김명현<sup>1</sup>, 김문수<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>국방기술품질원 유도탄약센터, <sup>2</sup>(주)풍산 기술팀

## A Study on Sensitivity Characteristics of Percussion Primer by External Impact Using Probit Analysis

Jae-Gwan Lee<sup>1\*</sup>, Dae-Hee An<sup>1</sup>, Myung-Hyun Kim<sup>1</sup>, Moon-Soo Kim<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>PGM & Ammunition Center, Defense Agency for Technology and Quality  
<sup>2</sup>Engineering Team, Poongsan Corporation

**요약** 군용 탄약에 사용되는 전기식 또는 타격식 뇌관은 추진제를 점화시켜 탄두부를 목표물로 발사시키는 역할을 한다. 여기서 뇌관은 요구되는 수준의 자극에 의해 짧은 시간 내 추진제로 에너지를 공급할 수 있어야 하며, 뇌관 성능을 평가하기 위해 국방규격에서는 감도 시험, 0% 비기능, 100% 기능 시험을 통해 뇌관 품질을 관리하고 있다. 하지만 0% 비기능, 100% 기능하는 에너지 범위 사이에서는 뇌관의 감도를 추정할 수 없다는 한계가 있다. 최근 군에서 운용 중인 일부 총기에서 공이 뇌관을 타격하였음에도 탄약이 발사되지 않는 사례가 보고되었으며, 추정 원인으로 총기의 타격 에너지 부족, 뇌관의 성능 저하 등이 있다. 하지만 현 국방규격에서는 총기의 뇌관 타격력 평가 방법이 명시되어 있지 않으므로, 이를 평가하기 위해 뇌관 감도 특성에 대한 연구 필요성이 인지되고 있다. 본 연구에서는 KM36A2 타격식 뇌관을 대상으로 낙추 시험을 통해 뇌관 감도를 측정하였고, 프로빗 분석을 통해 신뢰구간 95%를 가지는 뇌관의 감도곡선을 도출하였다. 감도곡선 분석 및 수치해석을 통해서 충격 에너지와 뇌관 기폭 간 상관관계를 정밀하게 분석할 수 있으며, 이를 통해 총기 타격력 정밀 평가, 총기 구성품 수명 연구 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 KM36A2 타격식 뇌관에 한하여 감도 특성을 연구하였지만, 군에서 운용 중인 뇌관으로 확장하여 추가 감도 특성 연구가 요구된다.

**Abstract** The electric primer or percussion primer used in military ammunition ignites the propellant and fires the warhead to the target. The primer must be able to supply energy to the propellant within a short time by the required level of stimulation. To evaluate its performance, the quality of the primer is managed through a sensitivity test, 0% non-functional, and 100% functional test. However, there is a limitation in that the sensitivity of the primer cannot be estimated between the 0% non-ignition and 100% ignition energy levels. Recently, it has been reported that some firearms in use in the military did not fire the ammunition even after the firing pin struck the primer. It is presumed that it was caused by the lack of striking energy of the firearm, deterioration of the primer's performance, etc. However, since the current defense standards do not specify a method for evaluating the detonation force of a firearm, there is a need for research that can evaluate the sensitivity characteristics of the primer. In this study, the self-sensitivity of the KM36A2 percussion primer was measured through drop tests, and a primer sensitivity curve with a 95% confidence interval was derived through Probit analysis. Through the sensitivity curve and numerical analyses, it is possible to precisely analyze the correlation between impact energy and the detonation of the primer, and it is expected that this will be used for the precise evaluation of the striking force of the firearms and in studies on the lifespan of firearm components. In this study, the sensitivity characteristics of only the KM36A2 percussion primer were studied, but further studies on sensitivity characteristics are required encompassing all the primers in service in the military.

**Keywords** : Percussion Primer, Sensitivity Characteristics, Probit Analysis, Ammunition, Primary Explosives

\*Corresponding Author : Jae-Gwan Lee(Defense Agency for Technology and Quality)

email: leejae0724@dtqa.re.kr

Received October 7, 2022

Revised November 7, 2022

Accepted December 7, 2022

Published December 31, 2022

## 1. 서론

군용 탄약에서 목표물 타격을 위해 주 작약(main charge) 또는 추진 장약(propelling charge)을 기폭(ignition), 점화시키기 위해 사용되는 화약군을 폭발계열(explosive train)이라고 칭한다[1]. 폭발계열은 외부로부터 기계적 또는 전기적 충격을 받아 점화되며, 연쇄적인 에너지 발생으로 폭발계열 내 요소들이 순차적으로 작동하게 된다. 폭발계열 각 구성품 중에서 초기 화약 구성품인 뇌관은 상당히 작고 민감한 화약이다. 특히 뇌관은 기계적 또는 전기적 에너지를 화약 에너지로 전환하는 역할을 하며, 주로 화염 생성과 함께 추진제 점화를 위해 사용된다[2].

이러한 특성에 따라 뇌관은 규정된 수준의 특정 자극에 의해 정확하게 작동되어야 하며, 짧은 요구시간 내에 필요한 강도의 에너지를 추진제 점화를 위해 공급할 수 있어야 한다[3]. 그러므로 뇌관은 화염, 충격, 찌르기 또는 마찰 등과 같은 외부 자극을 받으면 기폭 될 수 있는 충분한 감도(sensitivity)를 가져야만 한다[3]. 따라서 현재 운용 중인 군용 뇌관은 외부 자극에 대한 자체 감도와 뇌관의 기폭 여부를 중점적으로 관리하고 있다. 특히 재래식 탄약에 적용되는 타격식 뇌관은 국방규격에 따라 뇌관 자체 감도 시험, 0% 비기능, 100% 기능시험을 통해 뇌관 품질을 관리하도록 규정되어 있다. 하지만 0% 비기능, 100% 기능하는 에너지 범위 사이의 충격이 주어질 경우 뇌관의 감도를 추정할 수 없다는 한계가 있다.

최근 군에서 운용 중인 일부 총기에서 공이가 뇌관을 타격하였음에도 탄약이 발사되지 않는 사례가 보고되고 있다. 뇌관에 타격 흔적은 있지만 기폭되지 않은 경우 총기의 타격 에너지 부족, 뇌관의 성능 저하 등을 의심할 수 있어 총기 및 탄약 운용을 위한 신뢰성 확보를 위해서도 정확한 원인 규명이 필요하다. 이에 따라 충격 에너지와 뇌관 기폭 간의 상관관계를 분석하여 문제를 해결하고자 하였다.

이와 관련하여 기존 연구에서 Taylor (1927)는 초기 화약류(primary explosives)에 대한 감도 데이터를 수집하고 이를 분석하였으며[4], Matyas (2012)는 초기 화약류의 마찰감도를 마찰감도 시험기(FSKM-PEX)로 측정하고 마찰력에 따른 개별 화약류의 기폭확률을 결정하였다. 결정된 확률들을 프로빗(probit) 분석을 실시하였으며, 기폭확률과 마찰에너지 간의 상관관계를 나타내는 감도곡선을 도출하였다[5]. 도출한 감도곡선 분석을 통해 화약류의 감도특성을 정확하게 해석할 수 있다.

이처럼 기존 선행연구에서는 화약류에 대한 감도 분석 및 특성 연구가 주로 이루어졌으나, 본 연구에서는 탄약의 구성품인 뇌관에 대한 감도특성을 연구하고자 한다. 뇌관에 주어지는 외부 충격 에너지로부터 뇌관의 기폭 여부를 관찰하여 뇌관의 감도를 측정하였다. 이후 프로빗 회귀모형을 이용하여 Weibull 분포를 따르는 감도곡선을 도출하고자 한다. 프로빗 회귀모형은 처리 또는 자극에 대한 반응이 이항형(binary type)으로 나타나는 경우 주로 사용되는 회귀모형이며, 특히 외부 자극에 의해 점화되거나 미점화되는 특성을 지니는 화약류나 뇌관과 같은 품목의 특성 연구에 주로 사용되는 분석 모형이다. 프로빗은 'probability unit'의 약자로서 사건이 발생할 확률 P 값은 아래 Eq. (1)을 통해 누적 분포함수의 형태인 프로빗(Pr) 함수로 변환할 수 있으며[6], 프로빗 함수를 이용하여 뇌관 감도곡선을 도출할 수 있다.

$$\int_{-\infty}^{\text{Pr}} f(x)dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\text{Pr}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)dx \quad (1)$$

Where,  $P[-\infty \leq X \leq \text{Pr}]$

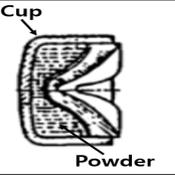
본 연구에서는 프로빗 분석을 활용하여 충격 에너지와 뇌관 기폭 간의 상관관계를 분석하기 위해 뇌관의 감도 특성을 연구하고자 한다. 이를 위해 낙추 실험을 통해서 뇌관의 자체 감도를 측정하고, 이후 프로빗 회귀모형을 따르는 1차 회귀선을 나타내었다. 회귀선을 변환하여 뇌관의 감도곡선을 도출하였으며, 감도곡선 분석 및 수치 해석을 통해서 외부 충격이 주어질 때의 뇌관의 기폭 여부를 정밀하게 분석할 수 있었다.

## 2. 실험

### 2.1 실험대상 선정

군용 뇌관은 외부 자극의 특성 및 기폭 형태에 따라 아래 Table 1과 같이 타격식 뇌관, 전기식 뇌관 등으로 나누어진다[1]. 본 연구에서는 대공탄 및 함포탄에 주로 사용되는 KM36A2 타격식 뇌관을 실험대상으로 선정하여 외부에서 뇌관에 전달되는 기계적 에너지에 따른 뇌관의 감도 특성을 연구하고자 한다.

Table 1. Primer Type and Appearance

Type	Percussion(Stab) Primer	Electric Primer
External Stimulus	By Hitting (By Stabbing)	By Electrical Power
Appearance		

외부 충격이 뇌관으로 전달되는 부위인 KM36A2 타격식 뇌관 컵 부위(Table 1 참조)에는 통일된 번호 규격 시스템(UNS) C26000의 소둔된 동합금(70% Cu + 30% Zn)을 기본 재질로 하는 뇌관 컵을 삽입하여 샘플을 제작하였으며, 뇌관 컵에 충전된 화약의 주요 성분과 성분별 규격은 아래 Table 2와 같으며, 세부 조성비는 군사 대외비에 해당하여 블라인드 처리하였다.

Table 2. Primer Powder Composition and Ratios

Components	Ratios (%)	Material Spec.
Lead Styphnate	00.0 ± 0.0	MIL-L-757
Barium Nitrate	00.0 ± 0.0	MIL-B-162
Antimony Sulfide	00.0 ± 0.0	MIL-A-159
Aluminium	0.0 ± 0.0	MIL-A-152
PETN	0.0 ± 0.0	MIL-P-00387
Tetracene	0.0 ± 0.0	MIL-T-46938

## 2.2 감도 실험 및 프로빗 분석

감도 측정은 뇌관 국방규격 KDS 1305-1007의 4.5항의 시험절차에 따라 낙추 시험을 진행하여 감도를 측정하였다. 낙추 시험기 형상은 아래 Fig. 1 과 같으며, 낙추 시 철을 재질로 하는 중량 16.34oz의 추를 사용하였다. 낙하물의 중량 및 낙추 높이에 의해 아래 Eq. (2)와 같이 산출되는 위치에너지를 뇌관에 주어지는 충격 에너지로 환산할 수 있다.

$$E = mgh \quad (2)$$

Where, E potential(impact) energy, m weight, g gravitational acceleration, h height

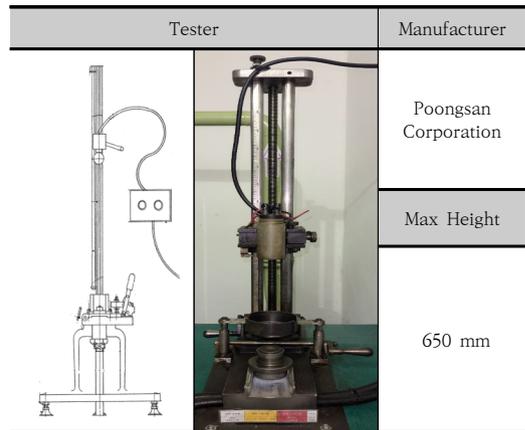


Fig. 1. Figure of drop sensitivity tester

낙추 높이는 1 inch부터 18 inch까지 1 inch 단위로 높이를 상승시키며 충격 에너지를 조절하였으며, 국방규격 KDS 1305-1007의 4.5.1항 요구조건에 따라 높이별 각 50개의 뇌관 시료를 사용하여 외부 충격에 의한 뇌관의 감도를 측정하였다. 이후 실험으로 확보한 감도 데이터를 활용하여 분포 적합도 검증, 회귀선 작도, 감도곡선 도출 순으로 프로빗 분석을 수행하였고, 세부 분석 절차는 아래 Fig. 2와 같다.

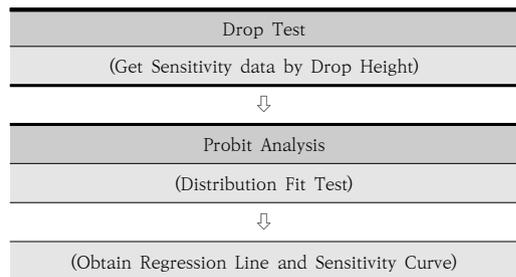


Fig. 2. Procedure about the study

## 3. 실험 결과

### 3.1 감도 측정 결과

타격식 뇌관에 대해 높이별 낙추 실험을 실시하여 관찰한 기폭확률 측정 결과는 아래 Table 3과 같다. 낙추 높이가 상승(충격 에너지 증가)함에 따라 뇌관의 기폭확률이 함께 상승하였다. 실험 결과를 통해 낙추 높이 상승과 뇌관 기폭확률은 인과관계가 있음을 확인하였다. 또한 실험을 통해 낙추 높이 7 inch와 13 inch는 각 0%,

100% 기폭되는 임계 높이임을 확인할 수 있었다. 이는 Eq. (2)에 따라 위치에너지로 환산할 경우 7 inch는 0.807 J(줄), 13 inch는 1.5 J임을 알 수 있다.

Table 3. Drop Test Result

Height	Trials	Ignition Quantity	Ignition Rate
1 inch	50 EA	0 EA	0 %
...			
7 inch	50 EA	0 EA	0 %
8 inch	50 EA	3 EA	6 %
9 inch	50 EA	9 EA	18 %
10 inch	50 EA	23 EA	46 %
11 inch	50 EA	35 EA	70 %
12 inch	50 EA	48 EA	96 %
13 inch	50 EA	50 EA	100 %
...			
18 inch	50 EA	50 EA	100 %

### 3.2 프로빗 분석

감도 측정 결과 Table 3을 이용하여 확률분석 도구인 Minitab® 21 소프트웨어를 활용해 프로빗 회귀분석을 실시하였다. 특히 Minitab® 21 추정치 기능을 활용하여 충격 에너지와 기폭확률 간 수치해석 또한 가능하다.

프로빗 분석은 신뢰 수준 95.0%의 Pearson 상관 계수를 사용하고 양측 신뢰 구간으로 분석을 수행하였다. 또한 실험결과에 대한 확률모형은 아래 Eq. (3)과 같이 프로빗 모형(probit model)을 사용하였다.

$$\Phi^{-1}(P_x) = \alpha + \beta x \quad (3)$$

Where, the left side is probit of  $P_x$

Fig. 2의 절차에 따라 우선 분포 적합도를 검정하였다. Minitab® 21에서는 크게 네 가지 분포도(weibull, normal, logistic, smallest extreme value)에 대해 적합성을 검정할 수 있으며, 검정방법은 Pearson과 이탈도 통계 값에 대해 카이제곱 적합도 검정법(Chi-Square goodness of fit test)을 사용하였으며, 분포 적합도 검정 결과는 아래 Table 4와 같이 측정되었다. 결과 값이 각 분포도를 따른다고 가정한 귀무가설을 설정하고 P값이 유의수준 0.05~0.1보다 클 경우 가정된 분포에 적합하다고 볼 수 있다. 각 분포도 모두 유의수준 이상이었으며, Weibull 분포가 Pearson 및 이탈도 값이 가장 낮으

므로 감도 측정 결과 값은 Weibull 분포에 가장 적합함을 확인하였다.

Table 4. Distribution Fit Test

Distribution	Pearson	Deviance	P
Weibull	1.815	2.633	0.874/0.756
Normal	2.775	3.392	0.735/0.640
Logistic	3.941	5.186	0.558/0.394
Smallest Extreme Value	2.784	4.093	0.733/0.536

이후 프로빗 모형을 따르는 Eq. (3)의 계수를 추정하여, 아래의 Eq. (4)로 1차 회귀식을 나타내었다. 여기서 Fig. 3과 같이 95%의 신뢰구간을 지니고 낙추 높이를 독립변수, 기폭확률을 종속변수로 가지는 프로빗 회귀선으로 나타내었다.

$$\Phi_{Weibull}^{-1}(\pi) = -23.2573 + 9.8237x \quad (4)$$

Where,  $\pi$  Ignition rate

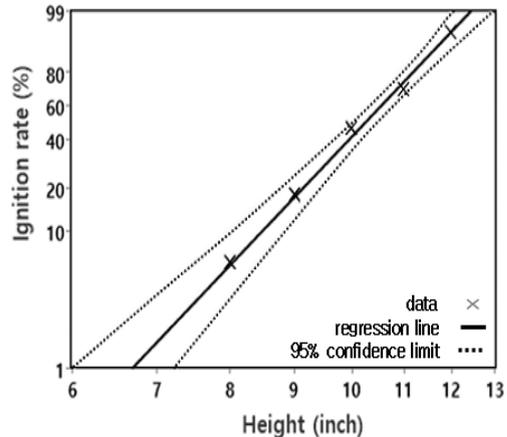


Fig. 3. Regression line

프로빗 회귀선을 변환하여 X축이 낙추 높이, Y축이 기폭확률이 되며 95%의 신뢰구간을 지나는 감도곡선을 아래 Fig. 4와 같이 도출하였다. 도출한 감도곡선을 이용하여 특정 에너지로 충격이 가해질 때 기폭확률을 추정할 수 있다. 또한 특정 기폭확률을 가지는 충격 에너지 범위도 추정할 수 있다. 예를 들어 1.153 J의 충격 에너지(낙추 높이 : 10 inch)가 가해질 때 뇌관의 기폭확률은 41.06%이며, 95% 신뢰구간에서 33.18~48.35%의 범위를 가짐을 확인할 수 있다.

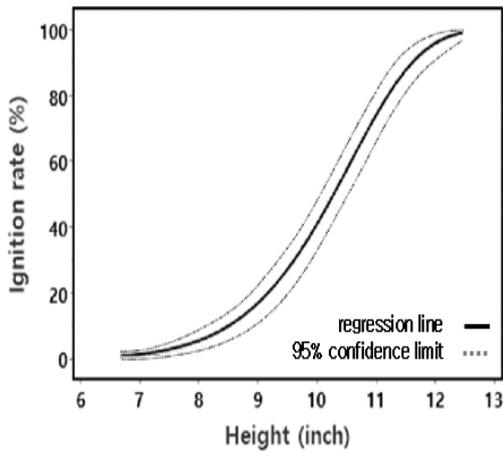


Fig. 4. Sensitivity curve

#### 4. 결론

본 연구에서는 군용 탄약에 사용되는 KM36A2 타격식 뇌관의 충격감도를 측정하고, 프로비트 회귀모형을 이용하여 Weibull 분포를 따르고 95.0%의 양측 신뢰구간을 가지는 감도곡선을 산출하였다. 감도곡선을 통해 뇌관에 주어지는 충격 에너지에 따른 기폭확률 구간을 추정할 수 있으며, 역으로 특정 기폭확률이 나타나는 에너지 범위 또한 추정할 수 있었다.

뇌관에 의도한 충격이 주어질 때 요구시간 내에 기폭하여 필요한 에너지를 추진제 점화로 연결하는 것이 뇌관의 핵심 기능이다. 따라서 감도곡선을 이용하여 뇌관을 작동하기 위한 적절한 자극의 수준을 결정할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 기존의 시험 방법을 통해서 추정하기 어려웠던 0%, 100% 기폭 범위 사이의 충격이 주어질 경우, 감도곡선을 이용하여 외부 자극에 의한 기폭 확률을 추정할 수 있다.

이번 연구에서는 KM36A2 타격식 뇌관을 대상으로 선정하여 연구하였으나, 뇌관 종류별로 기폭에 필요한 에너지 수준이 상이하므로 분석이 필요한 뇌관에 대해 감도 측정 및 추가 연구가 수행되어야 한다는 한계점이 있다. 하지만 추가 연구를 통해 현재 군에서 사용하고 있는 주요 뇌관에 대해 감도곡선을 정형화함으로써 총기의 뇌관 타격력 평가뿐만 아니라, 뇌관을 작동시키는 총기 구성품의 수명 연구까지 연구범위를 확대할 수 있을 것으로 기대된다.

#### References

- [1] S. E. Na, "A study on output management of the recursion primer for conventional munition", Senior paper, Defense Agency for Technology and Quality, Feb. 1992.
- [2] C. S. Kim, "Chemical technology focusing on explosive train", *Defense and Technology*, No. 277, pp.44-53, Mar. 2022.
- [3] J. Y. Lee, "Decreasing friction sensitivity for primary explosives", High-tech information report, Retired Scientists and Engineers for Advancement of Technology, Korea, pp.1-3.
- [4] C. Taylor, W. Rinkenbach, "Sensitivities of detonating compounds to frictional impact, impact, and heat", *Journal of the Franklin Institute*, Vol. 204, Issue 3, pp.369-376, 1927.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-0032\(27\)92103-6](https://doi.org/10.1016/S0016-0032(27)92103-6)
- [5] R. Matyasa, J. Selesvsky, T. Musil, "Sensitivity to friction for primary explosives", *Journal of Hazardous Materials*, 32, pp.236-241, Feb. 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.01.085>
- [6] J. Selesvsky, J. Pachman, "Probit Analysis - a Promising Tool for Evaluation of Explosive's Sensitivity", *Central European Journal of Energetic Materials*, 7(3), pp.269-278, 2010.

이재관(Jaegwan Lee)

[정회원]



- 2015년 8월 : 경북대학교 화학공학과 (공학사)
- 2016년 1월 ~ 2019년 12월 : 한화솔루션 첨단소재 개발
- 2019년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 유도탄약센터 연구원

<관심분야>

무기체계, 재료공학, 화학공학

---

안 대 희(Daehee Ahn)

[정회원]



- 2019년 2월 : 창원대학교 산업시스템공학과 (공학사)
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 유도탄약센터 연구원

<관심분야>  
품질, 신뢰성

---

김 명 현(Myunghyun Kim)

[정회원]



- 2014년 9월 : UNIST 신소재공학과 (공학석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 유도탄약센터 선임연구원
- 2022년 ~ 현재 : 한국방송통신대학교 컴퓨터과학

<관심분야>  
무기체계, 신소재공학, 화학공학

---

김 문 수(Moonsoo Kim)

[정회원]



- 2020년 2월 : 부경대학교 화학공학 (공학사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : (주)풍산 안강사업장 기술팀

<관심분야>  
신소재공학, 화학공학