

## 회귀분석을 활용한 81MM 고폭탄 저장수명 연구

김원석\*, 조성환, 윤근식  
국방기술품질원

### A study on The Shelf-life of Cartridge, 81MM High-Explosive for Mortar Using Regression Analysis

Won-Seok Kim\*, Seong-Hwan Cho, Keun-Sig Yoon  
Defense Agency for Technology and Quality

**요약** 탄약의 경우 장기저장할 시 부품의 부식, 화학물질의 자연분해 등으로 정상적으로 발사/폭발되지 않거나, 조기 폭발 등으로 사용자의 안전을 위협할 수 있다. 이를 예방하기 위해 탄약의 수명을 판단하여 폐기 또는 계속 사용 여부를 결정하는 것이 중요하며, 탄약의 수명 판단은 전시상황의 전투력증대 및 국방예산의 절감에도 효과적이다. 저장탄약신뢰성평가는 군에 저장 중인 탄약에 대하여 주기적으로 시험을 수행하고 탄약의 사용 가능성, 안전성, 신뢰성 및 성능을 분석하고 평가한다. 평가결과에 따라 탄약의 저장 연장, 제한사용, 우선 불출 및 폐기 등 수명을 결정하는 업무이다. 본 연구에서는 저장탄약신뢰성평가의 시험결과를 회귀분석에 활용하여 품목의 기능 저하 추세를 확인하고 사용 가능 수명을 추정하였다. 81MM 박격포 탄약의 한 품목에 대한 분석을 실시하였으며, 박격포탄의 기능을 결정하는 중요 구성품인 신관과 추진장약의 성능을 기준으로 분석하였다. 분석 결과 신관의 저장수명은 M004 신관이 약 28년, KM006 신관이 약 74년이다. 포구속도 기준 추진장약의 수명은 M00 장약이 약 89년, KM00 장약이 약 170년이다. 안정제한량 기준 추진장약의 수명은 M00 장약이 약 128년, KM00 장약이 약 75년이다. 본 연구결과를 다른 재래식탄약의 수명추정에도 적용할 수 있을 것으로 보이며, 신뢰성개선 연구나 탄약정책 수립 등에도 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

**Abstract** If ammunition is stored for a long time, it may not fire or explode normally due to corrosion of parts or natural decomposition of chemicals or it may threaten the safety of users due to premature explosion. To prevent this, it is important to determine whether to dispose of ammunition or continue to use it by judging its shelf-life. This is also effective in increasing combat power in wartime and reducing the defense budget. The ASRP (Ammunition Stockpile Reliability Program) conducts periodic tests on stored military ammunition and analyzes and evaluates the serviceability, safety, reliability, and performance of ammunition. Its task is to determine the storage extension or disposal of ammunition according to the evaluation results. In this study, the test results of the ASRP were used for regression analysis to confirm the trend of deterioration of the function of ammunition and estimate the shelf-life. An analysis was conducted on one item, 81MM mortar cartridges, and the performance of the fuze and propellant was analyzed. The fuze and propellant are important components that determine the function of mortar cartridges. As a result of the analysis, the shelf-life of an M004 fuze is about 28 years, and a KM006 fuze's shelf-life is about 74 years. The shelf-life based on the muzzle velocity is about 89 years for M00 propellant and about 170 years for KM00 propellant. The shelf-life based on the stabilizer is about 128 years for M00 propellant and about 75 years for KM00 propellant. It is expected that the results of the study could be applied to other mortar items and it could be used to improve quality or policies for ammunition.

**Keywords** : Cartridge, 81MM High-Explosive, Mortar, Reliability, Shelf-life, Regression Analysis

\*Corresponding Author : Won-Seok Kim(Defense Agency for Technology and Quality)

email: kwseok819@naver.com

Received October 18, 2023

Revised November 15, 2023

Accepted January 5, 2024

Published January 31, 2024

## 1. 서론

저장탄약신뢰성평가(ASRP; Ammunition Stockpile Reliability Program)는 군에 저장 중인 탄약에 대하여 주기적으로 비기능시험, 기능시험, 저장분석시험 등을 수행하고 탄약의 사용가능성(Serviceability), 안전성(Safety), 신뢰성(Reliability) 및 성능(Performance)을 통계적 방법으로 분석하고 평가하여 탄약의 계속 저장, 제한사용, 우선 불출 및 폐기 등 탄약의 수명을 결정하는 종합적인 탄약신뢰성평가 업무이다[1]. 탄약을 장기저장할 경우 부품의 부식, 화학물질의 자연분해 등으로 기능이 저하되는 현상이 나타난다. 이로 인해 탄약이 정상적으로 발사/폭발이 되지 않아 전시상황에 악영향을 끼칠 수 있으며, 조기 폭발 등으로 사용자의 안전을 위협할 수 있다. ASRP 수행을 통해 탄약의 수명을 판단하는 것은 장기저장된 탄약의 성능 저하로 인한 피해를 막을 수 있다. S.W.Park, K.S.Yoon, H.D.Gwon의 2013년 연구 논문에는 ASRP 수행이 전력상승에 따른 비용절감 효과가 1,206.1억원으로 나타난다고 하였다[2]. 탄약의 정확한 수명을 추정하는 것은 전시상황의 전투력을 증대시키고 국방예산의 비용절감에도 기여할 수 있는 중요한 업무이다.

본 연구에서는 81MM 고폭탄 KM000 품목의 ASRP 기능시험 및 저장안정성분석시험의 '12년~'22년까지 188로트의 결과를 통해 저장수명을 추정하였고, 이 연구를 통해 해당 품목이 안전한 성능을 유지할 수 있는 수명을 제시하려고 한다.

본 논문은 81MM 고폭탄 KM000의 ASRP 시험절차, 관련 선행연구, ASRP 데이터의 분석방법, 데이터 분석 결과, 결론 순으로 구성하였다.

## 2. 81MM 고폭탄 KM000 제원 및 시험절차

### 2.1 81MM 고폭탄 KM000 제원

81MM 고폭탄 KM000은 인원살상 및 경물자 파괴용 목적으로 사용되는 박격포용 탄약이다. 완성탄약은 충격신관이 결합된 탄두와 날개 결합체, 추진장약, 점화약통과 충격식 뇌관으로 구성되어 있다. 탄체 선단부에는 신관을 장착하도록 내부에 나사로 되어 있으며, 후미에는 날개를 결합할 수 있도록 되어있고 내부에는 고폭화약(COMP B)이 충전되어 있다[3].

Fig. 1은 81MM 고폭탄 KM000의 형상을 나타낸 것

이며, Table 1는 81MM 고폭탄 KM000의 주요 제원을 나타낸 것이다[3].

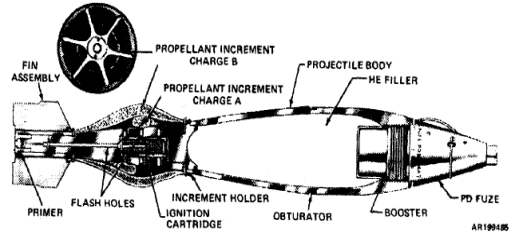


Fig. 1. Shape of Cartridge, 81MM high-explosive KM000

Table 1. Specifications of Cartridge, 81MM high-explosive KM000

Category	Contents
Weight	4.24kg
Diameter	81mm
Length	52.9cm
Explosive	COMP B

### 2.2 시험절차

81MM 고폭탄 KM000의 ASRP 시험은 ASTP (Ammunition Stockpile Test Procedure, 저장탄약시험절차서)에 따라 진행되며, 로트 당 40발의 시료로 구성된다[4]. 국방규격 완성탄 수락시험 합격 기준 신관 기능 신뢰도의 하한값은 시료 수 50발에 85% 이상이다. One Shot Device의 특성상 ASRP 시료 수를 수락시험과 동일하게 적용하기엔 비용문제 등으로 적절하지 않다. 또한, ASRP의 경우 저장기간 경과에 따라 변화가 없는 항목은 시험하지 않기 때문에 양산의 합/불 판정을 가름하는 수락시험에 비해 평가 항목수가 작다. 따라서, ASRP 시험은 시료수를 40발로 축소하였고, 신관 기능 신뢰도의 하한값이 수락시험과 동일하게 85% 이상일 때 A등급을 받을 수 있도록 설정하였다.

시험구성은 육안검사인 비기능시험, 실제 사격을 진행하는 기능시험, 추진제의 안정제합량을 측정하는 저장안정성분석시험으로 이루어진다.

본 연구에서는 기능시험 결과와 저장안정성분석시험 결과를 활용하였고 각각의 시험절차를 나열하였다.

#### 2.2.1 기능시험

기능시험이란 탄약이 실제로 정상적으로 작동하는지

를 직접 사격을 통해 확인하는 시험이다. 저장약, 고장약으로 각각 20발씩 나눠서 사격시험을 진행한다. 지연기능이 있는 신관의 경우 저장약, 고장약 각각에서 총격기능과 지연기능을 10발씩 나눠 사격을 진행한다. 신관, 뇌관, 추진장약 등 탄약의 구성품이 정상적으로 작동하는지를 확인하며 기능시험의 시료구성은 Table 2와 같다[4].

Table 2. Sample composition of of Cartridge, 81MM high-explosive KM000

Category	Number of samples	Propelling Charge	Fuze setting
Impact	20	1	Impact
	20	9	Impact
Impact-Delay	10	1	Impact
	10	1	Delay
	10	9	Impact
	10	9	Delay

기능시험 간에는 Doppler Radar 등 포구속도 측정장비를 사용하여 금속부품 분리여부를 확인하고 포구속도를 계측하며, 포대경 또는 망원경을 이용하여 신관작동 및 탄두폭발기능을 확인하며 탄착지를 비디오파라로 촬영한다[4].

기능시험 시 발생가능한 결점의 분류 내용은 Table 3과 같다. 치명결점으로는 포구로부터 100m 이내에서 조기폭발, 평균사거리의 70% 미만인 근탄, 비행 중 금속부품분리로 분류된다. 중결점 사항으로는 신관불발과 뇌관불발이 있다[4].

Table 3. Defect contents of Cartridge, 81MM high-explosive KM000

Category	Contents
Critical Defect	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Premature explosion</li> <li>· Horizontal range less than 70% of average range</li> <li>· Parts separation</li> </ul>
Major defect	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Fuze non-function</li> <li>· Detonator non-function</li> </ul>

### 2.2.2 저장안정성분석시험

저장안정성분석시험은 추진제의 저장안정성을 확인하기 위해 안정제함량을 분석하는 시험이다. 추진제는 질산에스테르 화합물을 기반으로 제조된다. 이러한 질산에스테르 화합물은 장기 저장 시 여러 가지 환경요인(수분,

직사광선, 열 및 산성 물질 등)에 의해서 자연 분해되어 스스로 발화하는 경향이 있다. 이러한 추진제의 자연 분해 및 자동촉매반응을 억제하고 지연시키기 위해서 안정제(Stabilizer)를 첨가하며 추진제의 안전수명(Safe Life)은 질소 산화물과 반응하여 소모되는 안정제와 밀접한 관계가 있다[5]. 시험은 로트 당 3발의 시료를 채취하여 진행한다. 시료를 수산화나트륨 용액과 에틸알콜과 혼합 후 증류하는 과정을 거쳐 분광분석기를 사용해 흡광도를 측정하고 계산식에 따라 안정제 함량을 산출한다. 산출된 안정제함량은 3가지 저장등급으로 분류되며 Table 4와 같다. A등급은 안정제함량이 0.x %이상이며 계속저장 가능한 수준이다. C등급은 안정제함량이 0.x %~0.x %이며 1년 내 소모해야 한다. D등급은 안정제함량이 0.x % 미만으로 60일 내 폐기되어야한다[6].

Table 4. Propellant stability category codes

Category	Percent effective stabilizer(%)	Action
A	0.x or more	Safe for continued storage
C	0.x ~ 0.x	Treated within one year
D	Less than 0.x	Demilitarized within 60days

## 3. 선행연구

박격포 탄약의 경우 장기저장할 시 부품의 부식이나 화학물질의 변화로 인해 Table 5와 같은 결함이나 위험요소가 발생한다[7].

Table 5. Defects of cartridges due to long-term storage

Category	Long-term storage properties	Defects
Fuze	· changes over time in chemicals	· non-function
Warhead	· corrosion and cracks	· premature explosion
Primer	· aging change of gunpowder · corrosion	· unable to fire · delayed fire
Propellant	· change over time and natural decomposition	· speed and range below · spontaneous combustion

Table 6은 '12년~'22년까지 81MM 박격포탄 KM000의 ASRP 수행결과 발생한 결함을 나타낸 것이다. 조기발발은 나타나지 않았으며, 신관 불발이 7.71% 발생하였고, 뇌관 불발이 0.37%, 포구속도가 기준보다 미달되는 경우는 0.56% 발생하였다. 본 논문에서는 비교적 결함 발생 비율이 높았던 신관의 수명 추정을 하였고, 추진장약의 경우에는 포구속도 기준 이하의 비율은 적지만 연속형 데이터로서 포구속도와 안정제함량 감소추세를 확인하고자 수명 추정 대상에 포함하였다.

Table 6. Defects of Cartridge, 81MM high-explosive KM000 in '12~'22 ASRP

Category	Defects	Percentage
Fuze	· non-function	7.71 %
Primer	· unable to fire	0.37 %
Propellant	· speed and range below	0.56 %

### 3.1 신관의 성능저하

S.H.Park은 60/81MM 박격포탄의 K000, K006신관의 장기저장 시 성능저하에 대해서 연구하였다[8]. 해당 연구에서 불발이 발생한 신관을 분해한 결과, 신관 부품 중 지연관의 지연제가 딱딱하게 굳어 있는 것을 확인했고 해당 부분에서 연소가 중단되어 신관불발이 일어났던 것으로 확인했다. 이에 따라 추가적인 환경시험을 통해서 수분의 흡습이 지연제의 성능변화에 영향을 주는 것을 확인하였고 장기저장 시 지연제의 성능저하의 원인으로 판단됐다. 이와 같이 신관은 화약에 의해 작동하기 때문에 장기 저장 시 수분의 흡습에 의해 기능 저하가 일어난다. 본 논문의 분석대상 신관은 S.H.Park 연구의 신관 품목(K000, K006신관)과 비슷한 구조로 작동하는 신관이며, ASRP 결과를 통해 장기저장에 따른 성능저하를 확인해 볼 것이다.

### 3.2 추진제의 성능저하

화포용 추진제는 대부분 NC(Nitrocellulose)를 원료로 하여 제조되며 저장기간이 경과함에 따라 NC의 특성인 탈질산화(Denitration)반응으로 인해 자연분해되는 시효성 물질이다. NC는 다른 에스테르 화합물과 마찬가지로 수분, 직사광선, 열, 산성 물질에 의해 저장기간이 경과할수록 분해되어 간다. NC의 분해로 인한 추진제의 자연분해는 그 변화를 근본적으로 방지할 수는 없으나 분해생성물에 의한 자동촉매반응의 유도를 억제하면 분

해반응의 가속을 지연시킬 수 있다. 따라서 NC의 분해반응 생성물인 질소산화물을 제거하기 위하여 추진제 제조 시 약염기성을 띤 안정제를 첨가한다. 안정제 또한 저장기간이 경과함에 따라 질소산화물과 반응하며 결합된 질소산화물의 개수가 많아질수록 안정제로서의 기능은 약화된다[9]. 즉 저장기간이 경과할수록 추진제의 자연분해에 의해 화학에너지가 감소하여 포구속도는 감소하고, 안정제함량 또한 감소하게 된다. 따라서 본 연구에서는 ASRP 결과 중 포구속도와 안정제함량을 통해서 성능저하 시기를 추정해 볼 것이다.

## 4. 데이터 분석방법

### 4.1 로지스틱 회귀분석

이항 로지스틱 회귀분석은 종속변수가 범주형 데이터일 경우 쓰이는 통계적 방법이다. 본 연구에서는 신관 기능 정상작동을 “0”으로, 신관 불발을 “1”로 구분하여 적용하였고 이항 로지스틱 회귀분석의 형태는 Eq. (1)과 같다.

$$P = \frac{\exp[f(x_i\beta_i)]}{1 + \exp[f(x_i\beta_i)]} = \frac{\exp[\beta_0 + \sum \beta_i x_i]}{1 + \exp[\beta_0 + \sum \beta_i x_i]} \quad (1)$$

$P(y = 1|x_1, \dots, x_i)$  = Probability of occurrence of Dependent Variable

$x_i$  = Independent Variable

$\beta_i$  = Coefficient Values estimated from the Model

본 연구에서는 P를 신관 불발의 확률로 지정하였고 독립변수  $x_i$ 는 저장기간으로 설정하였다. 로지스틱 회귀분석에서는 최대 우도 추정법(Method of Maximum Likelihood)을 통하여 계수  $\beta_i$ 를 추정한다. Eq. (1)은 비선형 관계이기 때문에 Eq. (2)와 같이 Log화 시켜 선형 회귀모형의 형태로 변환하고 이를 로지스틱 변환(Logistic Transformation)이라고 한다[10]. 도출된 계수  $\beta_i$ 가 양의 부호인 경우 독립변수의 증가에 따라 종속변수의 발생 확률 증가에 영향을 준다고 해석이 가능하며, 음의 부호인 경우 독립변수 증가에 따라 종속변수의 발생 확률이 감소에 영향을 준다고 해석할 수 있다.

$$\begin{aligned} \ln P &= \ln \frac{\exp[\beta_0 + \sum \beta_i x_i]}{1 + \exp[\beta_0 + \sum \beta_i x_i]} \\ &= \ln \left[ \frac{P}{1-P} \right] = \beta_0 + \sum \beta_i x_i \end{aligned} \quad (2)$$

Eq. (3)은 로지스틱 회귀분석 결과 중 하나인 승산비 (Odds-Ratio) 이다. 어떤 사건이 일어나지 않을 확률에 대한 일어날 확률이 얼마나 큰가를 나타내며, 독립변수의 단위가 증가함에 따라 종속변수는 승산비의 배로 증감한다고 설명되는 값이다.

$$\text{odds ratio} = \frac{\frac{P_1}{1-P_1}}{\frac{P_0}{1-P_0}} \quad (3)$$

$P_1$  = Probability that an Event will Occur

$P_0$  = Probability that an Event will not Occur

#### 4.2 선형 회귀분석

종속변수를 독립변수와 선형결합으로서 나타낼 수 있는 것을 선형 회귀라고 한다. 본 연구에서는 추진장약의 성능에 대해서 선형 회귀분석을 실시하였으며, 연속형 데이터인 포구속도와 안정제함량을 종속변수로, 저장기간을 독립변수로 설정하였다.

회귀선에 대한 가설검정은  $F = \frac{MSR}{MSE}$  (검정통계량)  $\geq F_{0.05; (1, n-2)}$  (기각역)이면 회귀모형이 유의하지 않다는 귀무가설( $H_0$ )을 기각하고 회귀모형이 유의하다라는 대립가설( $H_1$ )을 채택한다. MSR(회귀제곱합의 평균)은 SSR(회귀제곱합)를 자유도 1로 나눈 값이며, MSE(잔차제곱합의 평균)은 SSE(잔차제곱합)를 자유도 n-2로 나

는 값이다.  $SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$ ,  $SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ 로  $y_i$

는 실측값,  $\hat{y}_i$ 는 추정값,  $\bar{y}$ 는 실측값의 평균값이다[11].

회귀분석에 대한 결과로 주어진 독립변수 값  $X_0$ 에서  $(1-\alpha) \times 100\%$ 의 자료가 있게 될  $Y_0$ 의 예측구간은 Eq. (4)으로 구할 수 있다[12].

$$\hat{Y}_0 - t_{\alpha/2; n-2} S_{Y_0 - \hat{Y}_0} \leq \hat{Y}_0 \leq \hat{Y}_0 + t_{\alpha/2; n-2} S_{Y_0 - \hat{Y}_0} \quad (4)$$

Where,

$$\begin{aligned} S_{Y_0 - \hat{Y}_0} &= S_e \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}} \\ &= S_e \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}} \end{aligned}$$

$X_0$  = Independent Variable

$Y_0$  = Dependent Variable

$\bar{X}$  = Sample Mean

n = Sample Size

$\alpha$  = Significance Level

$\hat{Y}_0$  = Estimate by Regression Equation

$S_{Y_0 - \hat{Y}_0}$  = Standard Deviation of  $Y_0 - \hat{Y}_0$

$t_{\alpha/2; n-2}$  = Confidence Coefficient

#### 5. 분석결과

'12년~'22년 동안 81MM 고폭탄 KM000는 188개 로트가 ASRP 수행되었으며, ASRP 결과 신관기능, 포구속도, 안정제함량에 대해 회귀분석을 실시하였다. 신관기능의 경우 로트수가 많은 KM006 신관과 M004 신관 시험결과를 사용했으며, 포구속도와 안정제함량은 KM00 추진장약과 M00 추진장약의 시험결과를 사용하였다. ASRP 수행된 81MM 고폭탄 KM000의 구성품은 Table 7에 나타내었다.

Table 7. Fuze and Propellant charge model of '12~'22 Cartridge, 81MM high-explosive KM000 ASRP Lots

Category		Contents	
		Mode	Lots
Fuze	KM006	Impact	123
	M004	Impact:Delay	55
Propellant charge	KM00	-	138
	M00	-	50

#### 5.1 신관 저장수명

ASTP(Ammunition Stockpile Test Procedure, 저장탄약시험절차서)상 신관불발은 중결점 사항이다. 기능등급 D등급 기준 중결점은 AQL(Acceptance Quality

Limit, 합격품질한계) 10%를 적용한다[4]. 기능등급 D 등급을 받을 경우 신관의 폐기 또는 개수정비의 추천을 받게되므로 본 분석에서 수명추정 기준으로 정하였다. 로지스틱 회귀모형에 따른 신관불량률이 10%에 도달하는 시점을 추정하였고, 회귀모형의 적합도를 높이기 위해 해당 로트들의 저장기간 0년도에 데이터를 추가하였다. ASRP 수행 로트들의 생산 당시 수락시험 데이터를 확인할 수 없어 ASRP 수행 로트 수와 동일하게 생산 당시(저장년도 0년)의 데이터를 수락시험(제품 생산 당시 합/불 판정의 시험) 합격 범위(로트 당 신관 신뢰도가 96~100%)에 충족하며, 3시그마 수준에 해당되는 난수를 생성하여 적용하였다. 실제로 '13년~'21년까지의 KM006 신관 16개 로트 수락시험 결과를 확인해보면 불발이 발생하지 않았던 것을 확인할 수 있다[13].

매 시료의 신관 시험 결과를 정상작동은 "0", 불발은 "1"인 이산형 데이터로 분리하였고 불발이 발생할 확률을 로지스틱 회귀모형으로 나타내었다.

5.1.1 M004 신관

M004 신관은 과거 미군으로부터 수입된 제품이며, 지연기능이 있는 충격신관이다. '12년~'22년 까지 ASRP 대상 중 M004 신관이 장착된 로트는 55개 로트였으며, 2개 로트 지연기능 시험을 진행하지 않았다. 따라서 충격기능 로트 수는 55개를 적용하였고 지연기능은 53개를 적용하였다.

Fig. 2는 로지스틱 회귀모형을 통해 M004 신관의 불발 발생 확률을 나타내었다. 로지스틱 회귀분석 결과는 Table 8에 나타내었다.

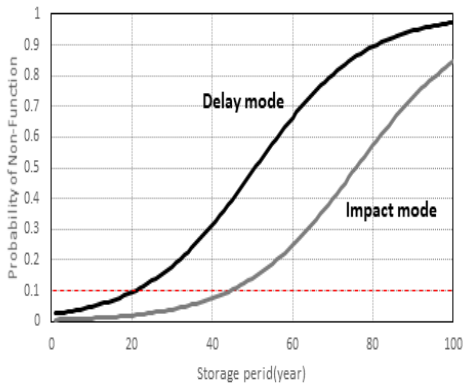


Fig. 2. Logistic Regression Model of M004 Fuze

Table 8. Regression analysis result of M004 Fuze

Category	Contents	
	Impact	Delay
Regression Equation	$P = \frac{e^{-5.317+0.07016x}}{1+e^{-5.317+0.07016x}}$	$P = \frac{e^{-4.879+0.098x}}{1+e^{-4.879+0.098x}}$
Odds ratio	1.0727	1.1030
P-value	< 0.05	< 0.05
Test Result	$H_1$	$H_1$
Estimation of shelf-life	45	28

Fig. 2와 Table 8의 회귀분석 결과, M004신관 충격기능과 지연기능 모두 P-value 값이 0.05보다 작으므로 귀무가설( $H_0$ )을 기각하고 대립가설( $H_1$ )을 채택하여 회귀모형이 통계적으로 유의하다고 판단할 수 있다.

회귀모형에 의해 신관 불발 확률이 10%에 도달하는 시점은 충격기능은 약 45년, 지연기능은 약 28년이었다. 지연기능의 불발 확률이 10%인 지점에서 충격기능의 불발 확률은 약 3.38% 이다.

지연기능이 충격기능에 비해 불발 발생 확률이 동일 저장기간에서 약 3배 가량 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 Fig. 3의 M004 신관의 작동원리를 통해 원인을 추정해 볼 수 있다.

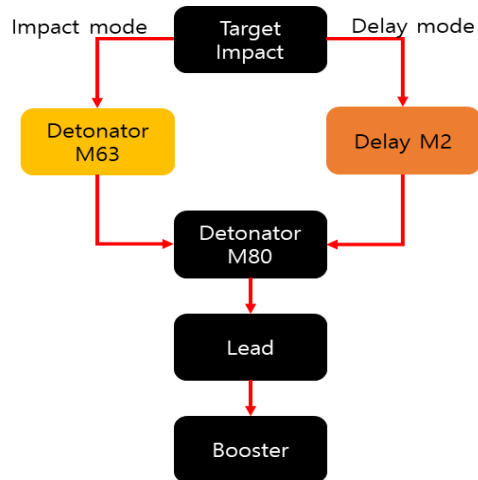


Fig. 3. Operation of M004 Fuze

충격기능의 경우 신관이 표적에 충격 → M63 기폭관 기폭 → M80 기폭관 기폭 → 연결관(Lead) 기폭 → 전폭관(Booster)이 최종적으로 고폭약을 폭발시키는 구조이며, 지연기능의 경우 신관이 표적에 충격 → M2 지연관

이 기폭되면서 0.025~0.065초 지연 → M80 기폭관 기폭 → 연결관(Lead) 기폭 → 전폭관(Booster)이 최종적으로 고폭약을 폭발시키는 구조이다. 이와 같이 충격과 지연기능의 작동원리 차이는 표적에 충격 후 M63 기폭관과 M2 지연관으로의 작동경로이다. 따라서 M2 지연관과 M63 기폭관의 성능 차이로 판단된다. 앞서 선행연구에서 K006 신관의 지연기능 불발원인을 분석한 결과 지연관결합체의 지연제의 연소 중단으로 인한 불발로 확인됐다. 본 품목의 M2 지연관의 지연제도 수분흡습의 영향으로 연소중단이 일어났을 것으로 추정된다.

### 5.1.2 KM006 신관

KM006 신관은 충격기능만 있는 신관이다. '12년~'22년 ASRP 대상 중 장착된 로트는 123개 로트이다. Fig. 4는 로지스틱 회귀모형을 통해 KM006 신관의 불발 발생 확률을 나타내었다. 로지스틱 회귀분석 결과는 Table 9에 나타내었다.

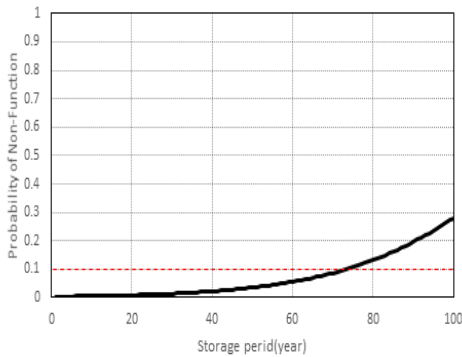


Fig. 4. Logistic Regression Model of KM006 Fuze

Table 9. Regression analysis result of KM006 Fuze

Category	Contents
	Impact
Regression Equation	$P = \frac{e^{-5.646 + 0.04706x}}{1 + e^{-5.646 + 0.04706x}}$
Odds ratio	1.0482
P-value	< 0.05
Test Result	$H_1$
Estimation of shelf-life	74

Table 9의 회귀분석 결과, KM006 신관의 회귀모형은 P-value 값이 0.05보다 작으므로 귀무가설( $H_0$ )을 기

각하고 대립가설( $H_1$ )을 채택하여 회귀모형이 통계적으로 유의하다고 판단할 수 있다.

회귀모형에 의해 신관 불발 확률이 10%에 도달하는 시점은 약 74년이다. M004 신관의 추정 수명보다는 비교적 양호한 수준의 결과를 보여준다.

## 5.2 추진제 저장수명

### 5.2.1 포구속도

박격포탄의 사거리에 영향을 미치는 가장 중요한 요소는 포구속도이다. 포구속도는 탄이 발사되어 비행하는 초기 속도이며, 추진제가 연소되어 고압의 기체를 발생시키는 화학에너지와 연관이 있다. 추진제는 시간이 경과함에 따라 자연분해되고 그 결과는 포구속도 감소로 결국 사거리 감소로 이어진다. 완성탄 수락시험 규격에서 수평사거리 80% 미만인 경우 치명결점 사항으로 분류되기 때문에, 본 분석에서는 사거리 80% 이하가 되는 포구속도를 사표기준으로 환산한 2xx m/s가 되는 시기를 도출하였다.

'12년~'22년 ASRP 대상 중 M00 장약과 KM00 장약이 사용된 로트는 각각 50로트, 138로트였으며, 본 연구에서는 미 제조품인 M00 장약과 한국 제조품인 KM00 장약의 공정이 상이할 수 있어 각각 분석하였다. Fig. 5는 추진제의 저장년도에 따른 로트별 평균 포구속도 분포와 회귀모형을 나타낸 것이다. 생산 당시의 수락시험 결과를 확인할 수 없어서, 0년도 포구속도는 수락시험 합격 기준 (2xx.xx~2xx.xx m/s)을 충족하는 정규분포 데이터를 생성하여 적용하였다. 빨간색 점선은 사표 기준 사거리 80% 이하 포구속도 기준, 검은색 점선(KM00)과 주황색 점선(M00)은 포구속도에 대한 회귀모형이다. Fig. 5를 유의수준 5%로 회귀분석 결과를 Table 10에 나타내었다.

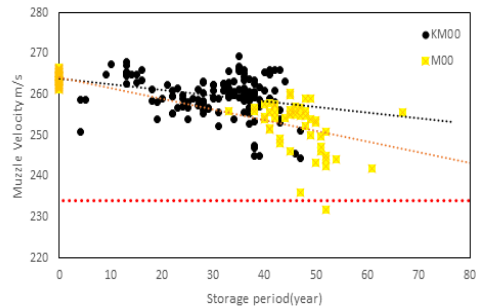


Fig. 5. Scatterplot(Muzzle velocity with Storage period) of Propellant

Table 10. Regression analysis result of Muzzle velocity

Category	Contents	
	M00	KM00
Regression Equation	$Y = -0.2578x + 264.06$	$Y = -0.1406x + 263.98$
Rejection Area	3.9381	3.8756
Test Statistic	214.7745	128.9122
Test Result	$H_1$	$H_1$
Estimation of shelf-life	116	213
Estimation of shelf-life (90% Lower CL)	89	170

Table 10의 회귀분석 결과 M00 장약과 KM00 장약 모두 기각역 보다 크므로, Fig. 5의 회귀모형이 통계적으로 유의하다고 판단할 수 있다.

회귀모형에 의한 포구속도 범위 이탈 시기는 M00 장약은 약 116년, KM00 장약은 약 213년이 나왔다. 90% 신뢰수준 예측구간 하한값의 범위 이탈 시기는 M00 장약은 약 89년, KM00 장약은 약 170년이다.

### 5.2.2 안정제함량

추진제는 장기 저장 시 주변 환경요인에 의해서 자연 분해되어 스스로 발화하는 경향이 있다. 이러한 추진제의 자연 분해 및 자동축매반응을 억제하고 지연시키기 위해서 안정제를 첨가하며[5], 저장분석시험 결과 안정제 함량이 0.3% 미만일 경우 1년 내 소모 혹은 폐기 판정을 받는다[6].

안정제함량 회귀분석 또한 제조사별 공정이 다를 수 있음을 가정하고 M00 장약과 KM00 장약을 구분하여 수행하였다. Fig. 6은 저장년도에 따른 로트별 안정제함량 분포와 회귀모형을 나타내었다. 추진제 생산 당시 안정제함량을 확인할 수 없어 수락시험 규격 기준(0.xx~0.xx %)을 충족하는 정규분포 데이터를 ASRP 수행 로트만큼 생성하여 적용하였다. 빨간색 점선은 안정제함량 0.3% 기준선, 검은색 점선(KM00), 주황색 점선(M00)이 안정제함량에 대한 회귀모형이다. Fig. 6를 유의수준 5%로 회귀분석한 결과를 Table 11에 나타내었다.

Table 11의 회귀분석 결과 M00 장약, KM00 장약 모두 기각역보다 크므로 Fig. 6의 회귀모형은 통계적으로 유의하다고 판단할 수 있다.

회귀모형의 안정제함량이 0.3%에 도달하는 시기는 M00 장약은 약143년, 90% 신뢰수준 예측구간 하한 값

기준은 약 128년, KM00 장약은 약 87년, 90% 신뢰수준 예측구간 하한 값 기준은 약 75년이다.

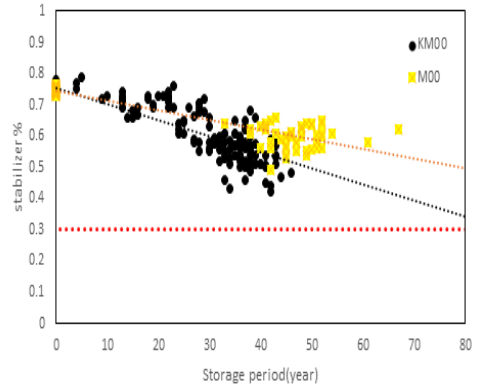


Fig. 6. Scatterplot(Stabilizer with Storage period) of Propellant

Table 11. Regression analysis result of Stabilizer

Category	Contents	
	M00	KM00
Regression Equation	$Y = -0.0031x + 0.7457$	$Y = -0.0052x + 0.7555$
Rejection Area	3.9381	3.8756
Test Statistic	634.6883	1382.0386
Test Result	$H_1$	$H_1$
Estimation of shelf-life	143	87
Estimation of shelf-life (90% Lower CL)	128	75

## 6. 결론

81MM 고폭탄 KM000 품목의 '12년~22년 ASRP 결과의 회귀분석을 통해 저장수명을 추정하였고, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, M004 신관의 신관 불발 발생률 10% 기준 저장수명은 충격기능만 고려하면 약 45년이며, 지연기능을 고려하면 약 28년이다. 지연기능의 저장수명이 충격기능보다 짧은 원인은 작동원리 상 M2 지연관과 M63기폭관의 수명 차이로 판단된다.

둘째, KM006 신관의 신관 불발 발생률 10% 기준 저장수명은 약 74년이다.



셋째, 추진장약의 경우 90% 신뢰수준 안정제함량 예측구간 하한 값 기준 저장수명은 M00 장약이 약 128년, KM00 장약이 약 75년이다. 90% 신뢰수준 포구속도 예측구간 하한 값 기준 저장수명은 M00장약이 약 89년, KM00 장약이 약 170년이다.

M004 신관의 결과를 봤을 때 지연관의 수명을 연장하면 신관 수명이 늘어날 것으로 판단된다. 지연관의 지연제 물성치나 수분 흡습 여부에 대한 추가적인 연구도 필요해 보인다.

포구속도의 경우 KM00 장약과 M00장약의 수명차이가 많이 나는데 이는 ASRP 결과 데이터의 저장년도 차이로 보여진다. M00장약은 저장기간 50년 경과 이후에 포구속도 감소량이 커진 것을 확인할 수 있다. 저장기간 40년 이상 50년 이하 평균과 비교하면 약 8m/s 가량 감소했다. KM00 장약은 저장기간 47년까지의 데이터만 존재하며 저장기간 50년 이후에는 포구속도 감소량이 커질 수 있어 지속적인 관찰이 필요하다.

본 연구에서는 저장환경의 차이를 고려하지 않고 분석을 수행하였다. 탄약은 다양한 지역, 저장시설에 분산되어 저장되므로 온도 및 습도 등 저장환경 차이로 수명에 영향을 미칠 수 있다. 저장기간이라는 하나의 변수에 대한 분석이라는 제한이 있지만, 81MM 고폍탄 KM000의 저장기간 경과에 따른 전반적인 성능저하 추세와 구성품간 상대적인 수명차이를 확인하는 것에 의의가 있다. 향후에는 저장환경에 대한 데이터를 수집하여 저장환경이 수명에 미치는 영향연구가 필요하다.

본 연구결과를 통해 다른 재래식탄약의 저장수명 예측에도 적용될 수 있을 것이다. 더 나아가 탄약 신뢰성개선 연구, 탄약정책 수립 등에도 활용될 수 있을 것이다.

## References

[1] "The Reliability Assessment of Conventional Ammunition by Items", DTaQ-11-3117-R, 2011.

[2] S.W.Park, K.S.Yoon, H.D.Kwon, "An Empirical Study on the Financial Performance of Ammunition Stockpile Reliability Program upon Defense Management", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 16, No. 1, pp. 266-273, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.1.266>

[3] "Ammunition Specification and Handling", Republic of Korea ARMY, Technical Manual K9(0)-1300-260, 2011.

[4] ASTP 1315-0020-5, "Cartridge 81MM HE KM000 SERIES, DTaQ, 2022.

[5] J.Y.Seo, B.H.Cheon, Namrye Lee, "Rapid Analysis Method for Stabilizer Content in Propellants using Heat Stability Test", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation society, Vol. 23, No. 12, pp. 312-317, 2022. DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.12.312>

[6] ASTP 1320-0012-1, "Propellants, DTaQ, 2010.

[7] J.W.Lee "Knowing and understanding 'Ammunition Stockpile Reliability Program(ASRP)", Defense & Technology, Vol. 376, 2010.

[8] S.H.Park, "The Report on the shelf-life improvement of fuse for the 60/81mm mortar ammunition", Defense Agency for Technology and Quality, DtaQ-08-1564-Q, 2008.

[9] K.S.Yoon, H.S.Go, B.C.Park, T.M.Kwon, E.B.Lee, I.H.Jang, J.N.Choi, J.Y.Ji, S.W.Park, "The Report on the Stability Test of the Stockpile Propellant in 2001", Defense Quality Assurance Agency, DQAA-02-724-P, 2002.

[10] S.H.Kim, G.H.Jeong, "An Analysis for Influencing Factors in Purchasing Electric Vehicle using a Binomial Logistic Regression Model", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 38, No. 6, pp. 887-894, 2018. DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2018.38.6.0887>

[11] Korean Standards Association, "Statistical Quality Control", Manufacturing Safety Education Center, Rev. 19, 2022.

[12] K.S.Yoon, S.W.Park, "A study on the Estimation of Shelf-life for 155mm propelling charge KM4A2 using ASRP's data", Journal of Korean Society Quality Management", Vol. 42, No. 3, pp 291-300, 2014 DOI: <http://dx.doi.org/10.7469/JKSQM.2014.42.3.291>

[13] B.H.JEONG, "Report on the results of the mortar fuze acceptance test(2013 to 2021)", DTaQ-22-7611-T, 2022.

김 원 석(Won-Seok Kim)

[정회원]



- 2020년 2월 : 금오공과대학교 기계공학과 (학사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

품질경영, 기계공학, 신뢰성, 통계분석

조 성 환(Seong-Hwan Cho)

[정회원]



- 2018년 2월 : 숭실대학교 정보통신전자공학 (학사)
- 2017년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

컴퓨터비전, 방탄신뢰성평가, 저장신뢰성평가

---

윤 근 식(Keun-Sig Yoon)

[정회원]



- 2003년 8월 : 충남대학교 대학원 화학공학과 (공학석사)
- 2010년 8월 : 충남대학교 대학원 화학공학과 (공학박사)
- 1995년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 책임연구원

<관심분야>

신뢰성, 시험평가, 품질경영, 통계분석