

DELAY M9 탄약의 신뢰도 및 저장수명 연구

이정호*, 최재성
국방기술품질원 국방신뢰성연구센터

A Study on Reliability and Shelf-Life of DELAY M9

Jeong-Ho Lee*, Jae-Sung Choi
Defense Reliability Research Center, Defense Agency for Technology and Quality

요약 지연관 M9 탄약은 항공용 투하탄의 신관(M904, M905)과 결합하여 사용되는 탄약이다. 탄약의 특성 상 한 번 사용하면 더 이상 재현이 불가능하고 동시에 파괴되므로 실제 사용 전에는 탄약의 성능이나 안정성을 확인할 수 없다. 군에서 사용 중인 탄약의 운용 특성 상 장기간의 저장이 불가피하며, 필요시 즉각 사용을 위해 저장된 탄약의 성능 유지 및 확인을 위한 시험평가가 요구된다. 본 논문은 과거부터 현 시점까지 수행한 저장탄약신뢰성평가(ASRP : Ammunition Stockpile Reliability Program)를 통해 확보한 시험 데이터를 이용하여 지연관 M9 탄약의 신뢰도 및 저장수명을 추정한 연구 결과이다. 현재 저장하고 있는 지연관 M9 탄약에 대해 성능 평가 시험 결과를 분석하고, 저장기간 및 생산연도에 따라 결점 수 추이를 살펴봄으로써 탄약의 신뢰도와 저장수명을 추정하였다. 본 연구 결과는 향후 지연관 M9에 대한 저장신뢰성평가 계획 수립 및 평가 시험, 결과 분석, 그리고 탄약 상태 판단 등 탄약 운영에 활용할 수 있을 것이다.

Abstract DELAY M9 is an ammunition used in combination with the fuse M904 and M905 of aviation drop-off ammunitions. Due to the properties of the ammunition, the performance or safety of the ammunition cannot be verified until it is used, because of its one-time function, no reproduction and is finally destroyed at the same time. Long-term storage of ammunition in use by the army is inevitable due to its operational characteristics, and a test evaluation is required to maintain and verify the performance of stored ammunition for immediate use in case of emergency. This paper estimates the reliability and shelf life of the DELAY M9 ammunition by using the test data obtained through ASRP performed from the past to the present. The result of the performance evaluation test for the currently stored DELAY M9 ammunition is analyzed, and the reliability and shelf-life of the stored ammunition are assessed by examining the number of defects according to the storage time and production year. This research result can be used to manage the stored ammunition, such as ASRP planning and evaluation test, result analysis and munition state decision.

Keywords : Delay M9, Ammunition, Reliability, Shelf-Life, ASRP

1. 서론

탄약은 1회성 품목(one shot item)으로서 양산/배치

후 실제 사용 전까지 대부분의 시간을 저장 상태에서 보내고, 시험 평가 또는 성능 검증, 실사용 등에 의해 1회 동작 후 폐기되는 특성을 가지고 있다[1, 2]. 또한 탄약의

*Corresponding Author : Jeong-Ho Lee(Defense Agency for Technology and Quality)
email: ejh@daq.re.kr

Received May 29, 2020

Accepted September 4, 2020

Revised June 18, 2020

Published September 30, 2020

수명을 초과해서 저장할 경우 탄약의 물리적 특성 및 화학적 조성 변화에 의해 탄약 고유의 성능 및 안정성이 저하될 수도 있다. 따라서 장기 저장 탄약의 고유 성능 확인이 필요하며, 이것을 위한 별도의 평가 프로그램(ASRP)에 의해 수행되고 있다.

탄약의 특성 상 반복 시험이 불가하고(1회 동작) 평가 비용 및 평가 시간 과다 소요 관계로 해당 탄약 전체에 대한 성능 시험을 수행할 수 없다. 이에 해당 탄약의 평가 대상 로트에서 표본을 추출하여 시험을 수행하고 그 결과를 통계적으로 분석하여 해당 탄약의 신뢰도 및 저장 수명 등을 평가하게 된다[3, 4].

본 연구는 항공용 투하탄의 탄두신관(M904) 및 탄미신관(M905)에 결합되어 사용되는 지연관 M9의 신뢰성 및 저장 수명에 대한 연구이다. ASRP 시험결과를 이용하여 적외선 연막탄[5], KM577A1 신관[6], KM4A2 추진장약[7] 등에 대한 신뢰도 및 저장수명 분석 연구를 수행했으나, 지연관 M9의 경우는 ASRP 시험을 수행한 후 이에 대한 체계적 분석은 이뤄지지 않았다.

Fig. 1에서 보듯이 지연관 M9은 알루미늄 재질의 금속부품 몸체와 덮개, 뇌관 등으로 구성되며, 신관(M904, M905)과 결합되어 순발 및 지연 기능 동작으로 사용되는 탄약이다.

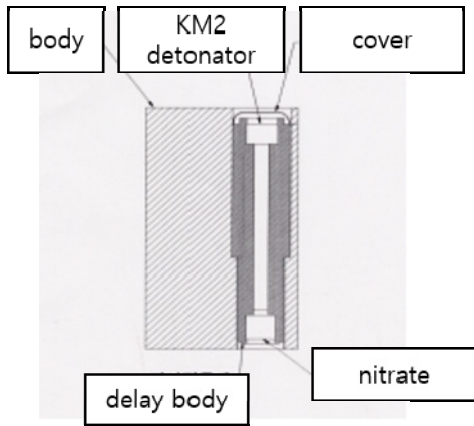


Fig. 1. Delay M9 shape

본 연구에서는 저장탄약 신뢰성 평가(ASRP)를 통해 확보한 지연관 M9 탄약 44개 로트의 시험데이터를 이용하여 신뢰도 및 저장수명을 분석하였다. 이를 바탕으로 향후 지연관에 대한 ASRP 계획 수립과 저장 및 운용 현장 개선 활동 등에 활용할 수 있도록 하고자 한다.

2. 제원 및 평가절차

2.1 제원 및 작동원리

지연관 M9은 항공 투하탄용 탄두신관(M904)과 탄미신관(M905)에 결합되어, 신관의 순발 기능 및 지연 기능으로 사용되는 탄약이다. 일반제원은 Table 1과 같으며, 신관과의 결합형상은 Fig. 2와 같다.

신관과 결합된 지연관은 격침 핀이 지연관의 뇌관을 충격하면 지연관의 종류에 따라 0.001초부터 0.05초 사이의 시간 지연 후에 신관이 작동하게 된다. 지연관의 정상 동작을 위해서는 구성품의 파손 및 누락, 충전화약 누설, 뇌관 부식과 같은 비기능적 손상이 없어야하며, 정해진 지연 시간 내에 지연관이 동작할 수 있는 정상 상태를 유지해야 한다.

Table 1. Specification of Delay M9

Specification	
Weight	00 mg
Diameter	00 mm
Length	00 mm
Usage	with fuse M904 and M905
Delay time	G212 : under 0.001sec G215 : 0.05sec

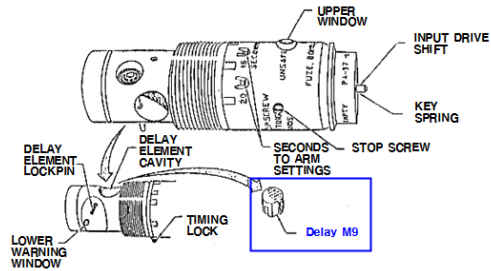


Fig. 2. Delay M9 in Fuse(M905)

2.2 평가절차

저장탄약 신뢰성 평가 업무는 국방부 훈령(탄약 수명 관리를 위한 신뢰성평가 업무 훈령, 2017)에 근거하여 수행되고 있으며, 지연관 M9의 장기 저장 성능 확인을 위한 저장 신뢰성 평가 절차는 Fig. 3과 같다. 탄약의 평가계획 수립, 비기능시험 및 기능 시험, 시험결과 분석, 후속 조치의 순서로 이루어진다[8].

당해 연도의 연간 ASRP 계획에 따라 군이 저장하고 있는 탄약의 재고현황, 제조년도, 과거 시험 결과 등을 고려하여 시험대상 로트를 선정한다. 선정된 당해 연도 탄약 로트는 두 가지의 시험을 통해 성능을 평가하게 된다. 첫째는 비기능시험으로서, 로트별로 시료를 채취하여 탄약의 외적인 요소, 즉 구성부품 파손 및 누락 여부, 충전 화약 누출, 뇌관 부식 등 탄약의 상태를 확인한다. 둘째는 기능시험으로서, 적절한 시험조건을 갖춘 탄약시험장에서 실 사격을 통해 성능을 평가한다.

지연관 M9의 저장 성능 평가를 위한 시료 구성은 선정된 로트 당 70발이다. 비기능시험에서는 기능에 영향을 미칠 정도의 구성품 파손 및 누락, 뇌관 부식 등의 결점 사항을 육안으로 확인하는 시험으로서, 결점 수에 따라 등급(등급구성 : 1, 2, D등급)을 부여한다.

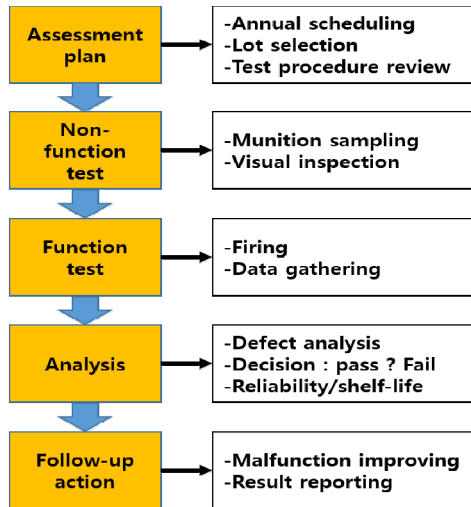


Fig. 3. Assessment procedure

비기능 시험 완료 후 안전에 이상이 없는 시료에 대하여 탄약시험장에서 실제 작동 시험을 통하여 작동여부 및 지연시간을 계측하고, 시험 절차서(지연관 M9 저장탄약시험절차서, 2018)에 명시된 기준에 따라 결점 수에 따른 등급(등급구성 : A, B, D등급)을 부여한다. 탄약시험장에서 기능 시험은 적절한 치구에 지연관을 조립한 후 뇌관에 충격을 가하여 지연관 작동여부 및 작동시간을 계측한다. 작동시간(지연시간)은 뇌관 충격 후 기폭 때까지의 경과시간으로써, 탄약이 기폭 때 발생하는 빛을 감지하여 동작 여부 및 시간을 계측하게 된다.

비기능시험 및 기능시험이 완료된 후 시험 데이터를 분석하게 되며, 이를 통해 저장 성능에 대한 판정을 내리게 된다. 또한 신뢰도 및 불량률 추정, 모수 분포 분석을 통한 수명 분석 등 다양한 방법을 활용하여 시험 데이터에 대한 통계분석을 실시한다.

이와 같은 판단 및 분석을 통해 군이 저장하고 있는 지연관 탄약에 대해서 저장기간 경과에 따른 신뢰도 및 성능 변화 추이 등을 파악할 수 있다. 분석 결과에 따라 군이 저장하고 있는 탄약 로트에 등급 코드(Conditional Code)를 부여하며 계속 저장(CC-A), 우선불출 및 사용(CC-C), 폐기(CC-H) 등의 후속 조치를 취할 수 있는 시험적 근거를 제시하게 된다. 본 연구에서는 등급코드 A(CC-A)를 제외한 나머지 로트에 대해 고장(불량) 발생으로 간주하고, 고장 발생 연도를 중단 시점으로 설정하여 신뢰도 및 저장 수명 등에 대한 연구를 수행하였다[7].

3. 데이터 분석

3.1 신뢰도 및 신뢰수준

탄약은 단 한번 작동으로 사용이 종료되는 일회성 품목(one shot item)이며, 일회성 품목은 일반적으로 전기 전자부품, 기계부품, 화공품 등으로 구성된다. 따라서 장기간 저장 탄약의 신뢰도는 기능시험 시점에서의 신뢰도이며, 신뢰도 산출은 정상적인 기능을 제외한 결함(불량)들이 발생하는 확률을 기준으로 나타낼 수 있다. 만약 시간 t_i 에서 시료 n 개를 추출 시험하여 r 개의 불량 발생한다면 신뢰도는 Eq. (1)에 의해 구할 수 있다[5, 7].

$$\hat{R}(t_i) = 1 - \frac{r(t_i)}{n(t_i)} \quad (1)$$

where, $R(t_i)$ = Reliability at time t_i

$r(t_i)$ = number of defect at time t_i

$n(t_i)$ = sample size at time t_i

ASRP 평가 시험에서 얻는 데이터는 계수형 데이터로서 결함(불량) 개수 등 불연속적인 형태의 데이터 분포를 가지고 있다. 따라서 탄약과 같이 재현이 불가능한 일회성품목은 성공(pass) 또는 실패(fail)의 두 가지 결과로 나타남으로 이항분포를 이용할 수 있다. 이항분포를 적용하여 시료 크기 n 에서 불량(고장) r 이 발생할 확률은 Eq. (2)를 이용하여 예측할 수 있다.

$$P(r) = \frac{n!}{r!(n-r)!} p^r (1-p)^{n-r} \quad (2)$$

where, p = proportion of defect

$P(r)$ = probability of r -sized defective or failed units in a sample size of n

Eq. (2)에서 불량률(p)은 어떤 단위 로트에서 샘플링 검사를 하였을 경우 허용될 불량률(허용 불량률)을 말하며, 이 허용불량률보다 낮은 불량률을 가지는 로트는 전부 합격으로 본다[7].

시료 n 개의 시험에서 발생하는 k 개 이하의 불량에 대한 발생 확률을 계산하기 위해서 Eq. (3)과 같이 각각의 개별 확률을 합해야 한다.

$$P(r \leq k) = \sum_{r=0}^k P(r) \quad (3)$$

모집단이 n 개의 시료로부터 실패수가 k 개 이하인 것에 기초한 불량률 p 인 신뢰수준은 Eq. (4)와 같다.

$$Confidence Level = CL = 1 - P(r \leq k) \quad (4)$$

지연관 M9의 경우 시료 수 $n=70$ 이고, 불량 허용 수 $k=1$, 모집단 불량률 $p=0.05(5\%)$ 일 때, $P(r \leq 1)$ 값은 0.129이고, 모집단에서 불량률이 5%이하가 되는 신뢰수준은 88.1%가 된다. 이들 식을 다르게 적용하면 신뢰수준이 90%일 때 불량 수에 따른 신뢰도를 확인할 수 있으며, 특정 신뢰수준에서 불량 수에 따른 신뢰도(점 추정 값)를 구할 수 있다[5].

3.2 불량률 추정

시료의 고장(성능실패)이 발생할 때, 모집단의 불량률은 시험 시료의 실제 불량률의 상한 값과 하한 값을 계산함으로써 추정할 수 있으며 이를 위해 통계적 기술 분포 중 F분포를 사용한다[1, 5, 7]. 성공(pass) / 실패(fail)의 이항분포일 경우 다음의 Eq. (5)와 Eq. (6), 통계표의 F-분포 표를 이용하여 불량률의 하한 값(P_L)과 상한 값(P_U)을 계산할 수 있다.

$$P_L = \frac{1}{1 + [(n-r+1)/r] F_L} \quad (5)$$

where, F_L = F distribution for the following degrees of freedom and required CL

$$v_1 = 2(n-r+1)$$

$$v_2 = 2r$$

r = number of defect

n = sample size

$$P_U = \frac{1}{1 + \frac{n-r}{r+1} \left(\frac{1}{F_U} \right)} \quad (6)$$

where, F_U = F distribution for the following degrees of freedom and required Confidence Level

$$v_1 = 2(r+1)$$

$$v_2 = 2(n-r)$$

r = number of defect

n = sample size

지연관 M9 경우의 등급 판정 기준에서 CC-A에 해당하는 불량률의 개수는 1개 이하이다. 시료 70개를 시험하여 1개의 고장이 발생하였을 때 모집단의 불량률은 Eq. (5)와 Eq. (6)을 사용하여 추정할 수 있다. 신뢰수준 90%의 F값은 각각 $F_L = 9.48$, $F_U = 1.99$ 이고, 이때 불량률 하한 및 상한은 각각 $P_L = 0.0015$, $P_U = 0.0544$ 이 된다. 그러므로 모집단의 불량률(p)은 0.15%와 5.44%사이 에 있을 것이라고 신뢰수준 90%로 말할 수 있다. 즉 100번 시험할 경우 90번은 실제 불량률 p 가 0.15%와 5.44%사이에 있다고 말할 수 있다. 또한 신뢰수준 90%에서의 신뢰도 상한 값과 하한 값은 각각 99.8%, 94.6%가 된다.

3.3 저장 수명 분석

장기 저장 탄약의 성능 확인 시험을 통하여 확보된 데이터를 이용하여 탄약의 저장 수명을 추정할 수 있다[6]. 탄약은 일회성 품목으로서 결함 개수, 작동불능 개수 등의 계량형 데이터 형태를 띠고 있다. 수명 평가를 위한 신뢰성 데이터는 고장시간(failure time) 또는 생존시간(life time)으로 수집/분석된다. 본 논문의 지연관 M9 수명평가 연구를 위한 시험데이터(신뢰성데이터)는 일정 개수의 고장이 발생되면 그 시점에서 시험을 중단하는 정수중단방식(Failure censoring)을 적용하였다(Fig. 4). 이와 같은 방식으로 획득된 데이터는 시험 탄약의 수명 분석을 위해 모수적 방법을 적용하여 저장수명을 추정할 수 있다.

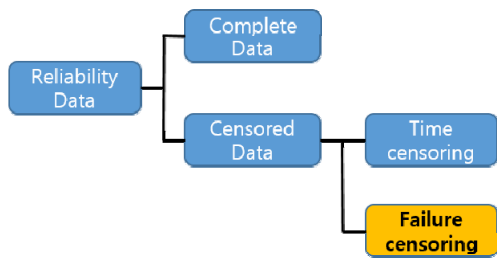


Fig. 4. Reliability data type

수명분석을 위한 수명분포는 지수분포, 와이블분포, 정규분포, 로그정규분포 등 다양한 방법이 존재한다. 이 중 적합한 데이터 분포는 신뢰성분석의 분포 ID plot(Distribution ID plot) 분석을 통해 시험 데이터와 가장 적합한 수명 분포를 선정하게 된다. 신뢰성 분석에서 주로 사용하는 수명분포는 지수분포(Exponential distribution)와 와이블분포(Weibull distribution)이다 [6]. 지수분포는 고장빈도가 품목의 사용기간에 영향을 받지 않는 수명분포로써 우발고장기간을 설명하는데 적합한 확률분포이다. 와이블분포는 재료의 파괴강도 분석을 위해 고안된 확률 분포로써 전자 및 기계부품의 수명 분포를 분석하는데 적합한 확률분포로 알려져 있다. 지수 분포와 와이블분포의 분포함수, 신뢰도함수, 고장률 함수를 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2. Distribution function

item	Exp. Dist.	Weibull Dist.
function	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$
Reliability	$R(t) = e^{-\lambda t}$	$F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$
Failure	$\lambda(t) = \lambda$	$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right)\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$
*	λ : failure rate	β : shape param. η : scale param.

특히 와이블분포는 형상(shape), 척도(scale) 등의 모수 값에 따라 다양한 분포를 표현할 수 있어 신뢰성데이터 분석에 널리 이용되고 있다[6].

4. 시험결과 분석

장기 저장된 지연관 M9의 ASRP 과거 시험 이력

(2001년 ~ 2019년)을 분석한 결과, 비기능시험에서는 생산연도 및 저장기간에 따라 특이할 만한 결점사항이 발견되지 않고 양호하였다. 따라서 본 연구에서는 기능시험 위주의 결점 사항을 통해 고장 여부를 판별하였다[7]. 기능시험에서의 주요 결점사항은 작동불능 및 작동(지연) 시간 초과 및 이탈로써 이를 토대로 저장기간에 따라 신뢰도 및 특성 변화, 저장 수명 등을 분석하였다. 본 논문의 지연관 M9의 신뢰도 및 저장 수명 분석을 위한 연구/분석 순서를 정리하면 Fig. 5와 같다.

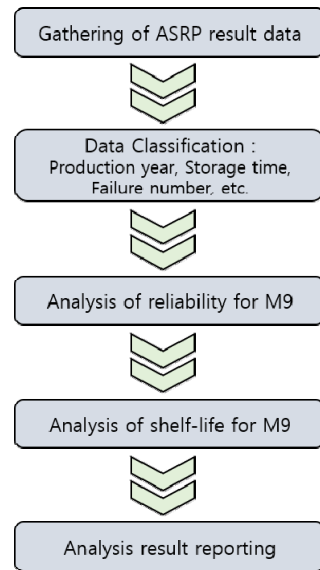


Fig. 5. Flow for Delay M9 analysis

4.1 지연관 M9의 시험 데이터 구성

지연관 M9의 저장 신뢰도 및 수명 분석을 위한 ASRP 시험 결과 데이터 구성은 다음과 같다.

1)지연관 M9-G212

- 생산연도 : 1966년 ~ 1974년
- 시험연도 : 2001년 ~ 2019년
- 로트수량 : 31로트
- 결점사항 : 작동불능,
작동시간 0.001초 초과

2)지연관 M9-G215

- 생산연도 : 1965년 ~ 1972년
- 시험연도 : 2001년 ~ 2019년
- 로트수량 : 13로트

-결점사항 : 작동불능,
작동시간(0.0323초~0.0678초) 이탈

4.2 시험 결과의 신뢰도 및 수명 분석

4.2.1 G212 결과 분석

Table 3은 저장기간에 따른 G212 지연관의 결점 항목에 대한 신뢰도, Table 4는 생산연도에 따른 신뢰도를 각각 나타낸 표이다. Eq. (1)에 따라 저장기간에 따른 신뢰도는 44년 저장 로트에서 47.6%로 가장 낮게 나왔으며, 신뢰수준 90%에서 신뢰도 하한 값은 Eq. (6)에 의해 구한 결과 43.0%로 나타났다. 또한 생산연도에 따른 신뢰도는 '69년 생산로트에서 72.9%, 신뢰하한 값은 69.2%로 가장 낮게 나타났다. 이와 같은 결과는 당해 로트의 품질 특성에 기인한 것으로 추정된다.

저장 수명 분석을 위해 MINITAB tool을 이용하였다. 정수중단분석(MINITAB의 임의관측중단분석)을 적용하였으며, 적합한 수명분포의 선택을 위해 분포 ID 분석(Fig. 6)을 수행하였다. Anderson-Daring 값을 비교 분석한 결과 와이블분포가 가장 적합하였다.

Table 3. Reliability of G212 by storage time

Storage time	Number of Lot	Sample size	Number of failures	Reliability (%)	90% Lower CL
27	1	70	9	87.1	80.5
28	1	70	7	90.0	83.8
29	2	140	2	98.6	96.2
32	2	140	26	81.4	76.5
33	1	70	2	97.1	92.6
34	1	70	3	95.7	90.7
41	1	70	10	85.7	78.8
43	4	280	33	88.2	85.4
44	3	210	110	47.6	43.0
45	2	140	2	98.6	96.2
46	4	280	0	100	99.2
47	1	70	4	94.2	88.9
49	4	280	24	91.4	88.9
51	3	210	0	100	98.9
53	1	70	3	95.7	90.7

Table 4. Reliability of G212 by production year

Year of production	Number of Lot	Sample size	Number of failures	Reliability (%)	90% Lower CL
'66	1	70	3	95.7	90.7
'67	1	70	2	97.1	92.6
'68	10	700	90	87.1	85.4
'69	4	280	76	72.9	69.2
'72	2	140	7	95.0	91.7
'73	9	630	40	93.7	92.2
'74	4	280	21	92.5	90.1

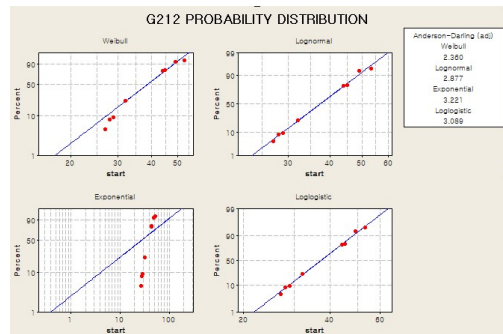


Fig. 6. Distribution ID plot for G212

G212에 대한 와이블분포의 확률 함수, 신뢰도 함수, 생존 수명 등에 대한 분석 그래프는 Fig. 7과 같다.

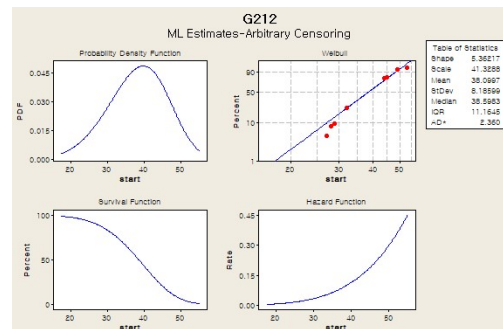


Fig. 7. Weibull estimation for G212

저장 수명의 추정은 신뢰수준 90%의 와이블분포를 적용하여 추정하였고 결과는 Fig. 8과 같다. 지연관 M9-G212 탄약의 평균수명(MTTF)은 38.1년, B_{10} 수명은 약 27.2년으로 분석되었다.

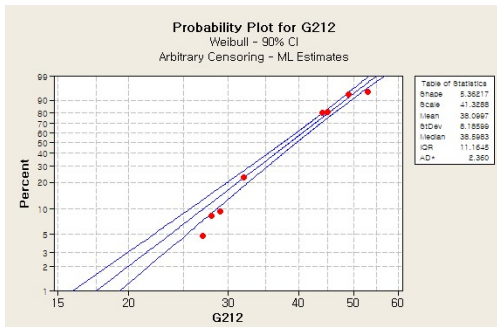


Fig. 8. Weibull distribution for G212

4.2.2 G215 결과 분석

Table 5는 저장기간에 따른 G215 지연관의 결점 항목에 대한 신뢰도, Table 6은 생산연도에 따른 신뢰도를 각각 나타낸 표이다.

Table 5. Reliability of G215 by storage time

Storage time	Number of Lot	Sample size	Number of failures	Reliability (%)	90% Lower CL
32	1	70	10	85.7	78.8
42	1	70	0	100	96.8
43	1	70	9	87.1	80.5
45	1	70	0	100	96.8
46	2	140	9	93.6	90.0
47	1	70	0	100	96.8
49	1	70	0	100	96.8
51	1	70	10	85.7	78.8
52	2	140	9	93.6	90.0
54	1	70	5	92.9	87.2

Table 6. Reliability of G215 by production year

Year of production	Number of Lot	Sample size	Number of failures	Reliability (%)	90% Lower CL
'65	2	140	15	89.3	85.9
'67	2	140	9	93.6	90.0
'69	2	140	10	92.9	89.2
'70	2	140	0	100	98.4
'72	5	350	18	94.9	90.2

Eq. (1)에 따라 저장기간에 따른 신뢰도는 32년, 51년 저장 로트에서 85.7%로 가장 낮게 나왔으며, 신뢰수준 90%에서 신뢰도 하한 값은 Eq. (6)에 의해 구한 결과 78.8%로 나타났다. 또한 생산연도에 따른 신뢰도는 '65년, '69년 생산로트에서 낮게 나타나고 있으며, 신뢰하한 값 또한 다른 생산연도에 비해 90% 이하로 낮게 나타남을 확인하였다. 생산연도를 기준으로 봤을 때 이와 같은 특성은 당해 로트의 품질 특성에 기인한 것으로 추정된다.

저장 수명 분석을 위해 앞서와 같이 MINITAB tool을 이용하였으며 정수중단분석(MINITAB의 임의관측중단 분석)을 적용하였다. 적합한 수명분포의 선택을 위해 분포 ID 분석(Fig. 9)을 수행하였으며, Anderson-Daring 값을 비교 분석한 결과 와이블분포가 가장 적합하였다.

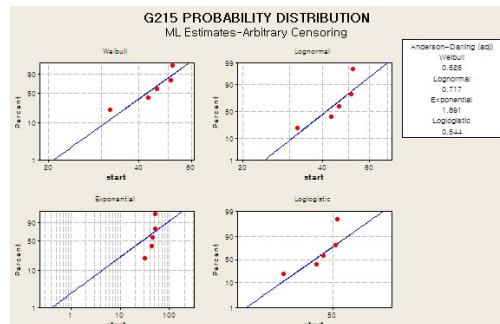


Fig. 9. Distribution ID plot for G215

지연관 M9-G215의 와이블분포의 확률 함수, 신뢰도 함수, 생존 수명 등에 대한 분석 그래프는 Fig. 10과 같다.

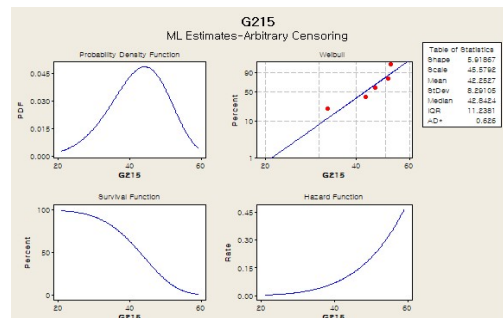


Fig. 10. Weibull estimation for G215

저장 수명의 추정은 신뢰수준 90%의 와이블분포를 적용하여 추정하였고 결과는 Fig. 11과 같다. 지연관 M9-G215 탄약의 평균수명(MTTF)은 42.3년, B_{10} 수명은 약 31.2년으로 분석되었다.

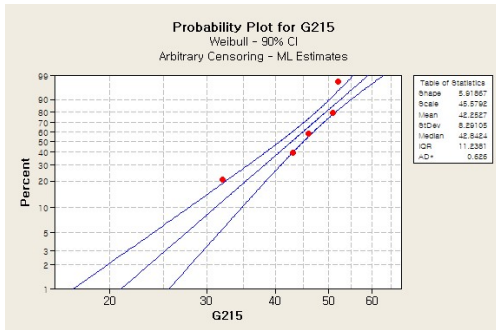


Fig. 11. Weibull distribution for G215

5. 결론

본 논문에서는 지연관 M9(G212, G215)의 장기저장 탄약 성능 확인 시험 데이터를 이용하였으며, 저장기간에 따른 동작여부 및 지연시간 초과/이탈 등의 고장 분석을 수행하였다. 이를 토대로 지연관 탄약의 신뢰도 및 성능 변화 추이를 파악하고 저장수명을 추정하여 제시하였다. 수명분석은 MINITAB의 정수중단분석(임의관측중단분석)을 적용하였으며, 분포 특성을 분석 후 와이블분포를 적용하였다. 연구 수행 결과를 정리하면 다음과 같다.

지연관 M9-G212 탄약은 '69년 생산로트에서 신뢰도 72.9%, 신뢰하한 값은 69.2%로 가장 낮게 나타났으며, 이와 같은 결과는 당해 로트의 품질 특성에 기인한 것으로 추정된다. 수명 분석 결과는 평균수명(MTTF)은 38.1년, B_{10} 수명은 약 27.2년으로 분석되었다.

지연관 M9-G215 탄약은 '65년, '69년 생산로트에서 신뢰도가 상대적으로 낮게 나타나고 있으며, 신뢰하한 값 또한 다른 생산연도에 비해 90% 이하로 낮게 나타남을 확인하였다. 수명 분석 결과는 평균수명(MTTF)은 42.3년, B_{10} 수명은 약 31.2년으로 분석되었다.

향후에도 장기저장 탄약에 대한 지속적인 평가 시험을 수행하고, 시험 결과에 대한 분석 및 환류 등의 활동이 필요할 것으로 판단된다. 군에서 보유하고 있는 탄약의 재고 현황 및 과거 시험결과, ASRP 시험 결과 분석 등 다양한 측면을 종합적으로 고려하여 시험대상 로트를 선

정하는 등 체계적인 평가 활동이 이루어져야 할 것이다.

본 논문의 결과를 활용하여 지연관 M9 탄약의 성능 평가 활동에 매우 유용하게 적용될 수 있기를 기대한다.

References

- [1] Edward R. Sherwin, "Analysis of "One-Shot" Devices", *Selected Topics in Assurance Related Technologies*, vol.7, No.4, pp.1-4, 2004.
- [2] S.J. Back, Y.K. Son, M.H. LEE, "Estimation Methodology for Storage Reliability of One-shot System", *The Korean Society of Propulsion Engineers*, pp.695-697, 2016.
- [3] K. S. Yoon, J. C. Lee, "A Case Study on the Reliability Assessment of Stockpile Ammunition", *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol.40, No.3, pp.259-269, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.7469/JKSQM.2012.40.3.259>
- [4] S.J. Back, Y.K. Son, S.Y. Park, M.H. Lee, I.S. Kang, "Study for Storage Lifetime Estimation of Electric Detonator, K13", *The Korean Society of Propulsion Engineers*, pp.49-50, 2017.
- [5] J.C. Lee, J.H. Lee, H.S. Jung, "A Study on the shelf-life of IR screening smoke launcher grenade", *Journal of the Korea Academia-Industrial*, Vol.21, No.4, pp.437-445, 2020.
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.4.437>
- [6] D.Y. Lee, K.S. Yoon, "A Study on the Estimation of Shelf-life for Fuze MTSQ KM577A1 from ASRP data", *Journal of Applied Reliability*, Vol.18, No.1, pp.56-65, 2018.
DOI: <http://doi.org/10.33162/JAR.2018.03.18.1.56>
- [7] 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 the Korean Society for Quality Management*, Vol.42, No.3, pp.291-300, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7469/JKSQM.2014.42.3.291>
- [8] H. J. Woo, The Report on the ASRP Activities for the Army Ammunition in 2018, Technical Report, Defense Technology and Quality, Korea, pp.457-464, 2019.

이 정 호(Jeong-Ho Lee)

[정회원]



- 2008년 2월 : 서울대학교 공과대학원 기계항공공학부(기계공학박사)
- 2012년 9월 ~ 2015년 1월 : 삼성전기(생산기술연구소) 책임연구원
- 2015년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

정밀측정, 기계설계, 탄약신뢰성평가

최 재 성(Jae-Sung Choi)

[정회원]



- 2012년 2월 : 충남대학교 대학원 항공우주공학과 (공학 석사)
- 2012년 2월 ~ 2013년 2월 : STX 엔진 주임
- 2013년 2월 ~ 2019년 7월 : LIG 넥스원 선임연구원
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 재직 중

<관심분야>

신호계측, 로켓추진