

적외선 차장 연막유탄 신뢰도 및 저장수명 연구

이종찬*, 이준혁, 정현석
국방기술품질원 국방신뢰성연구센터

A Study on the shelf-life of IR screening smoke launcher grenade

Jongchan Lee*, Junhyuk Lee, Hyunsuk Jung
Defense Reliability Research Center, Defense Agency for Technology and Quality

요약 연막유탄은 전차에서 적의 탐지체계를 방해하기 위해 가장 우선으로 이용하는 능동 방호 수단이다. 이러한 연막유탄은 지상 무기체계의 교전에서 전차의 생존 가능성을 결정짓는 매우 중요한 요소로, 단 한 번의 기능을 발휘하고 그와 동시에 파괴되는 특성이 있기 때문에 사용하기 전에는 연막유탄의 성능이나 안전성을 확인할 수 없다. 따라서 연막유탄의 운용 특성 상 저장기간 동안에 다양한 시험 등을 통해서 신뢰도를 평가할 수 있다. 본 논문은 2019년에 수행한 저장탄약신뢰성평가(ASRP: Ammunition Stockpile Reliability Program, 이하 ASRP)를 통해 확보한 시험 데이터를 이용하여 적외선 차장 연막유탄의 신뢰도 및 저장수명을 추정한 연구 결과이다. 현재 저장하고 있는 적외선 차장 연막유탄 로트들 중에서 제조년도별로 총 16개 로트에 대해 시료를 선정하여 시험을 실시하고, 시험 항목별 결점수와 품질특성 변화 추이를 살펴봄으로써 신뢰도와 저장수명을 추정하였다. 본 연구 결과는 향후 적외선 차장 연막유탄에 대한 저장신뢰성평가 계획 수립 및 분석, 그리고 제조 현장에서의 품질 개선 등에 활용할 수 있을 것이다.

Abstract Smoke grenades are the primary means of protection used by tanks to disrupt enemy detection systems. Such smoke grenades are a critical factor that determines the survival of tanks in the engagement of ground weapon systems, but it can only be used once. Owing to its destructive property, the performance and safety of the smoke grenade cannot be confirmed prior to use. Therefore, the reliability of smoke grenades can be evaluated through various tests during the storage period. This paper presents the results of estimating the reliability and shelf life of IR screening smoke grenade launchers based on the result of the Ammunition Stockpile Reliability Program conducted in 2019. Among the smoke grenade launcher lots currently stored, 16 lots and samples were selected for each year of manufacture and tested. The reliability and shelf life were estimated by examining the number of defects and the change in quality characteristics of each test item. The results of this study can be used to assess the reliability of the smoke grenade launchers and to improve the quality of manufacturing sites.

Keywords : Smoke Grenade, Ammunition, Reliability, Shelf-life, ASRP

1. 서론

연막차장의 기본원리는 적의 전자광학장비 또는 탐지 체계가 아군을 조준할 경우 연막운을 형성하여 적의 광

학장비 및 센서의 밀리미터파, 적외선, 가시광선 등 특정 대역의 전자 스펙트럼을 흡수, 산란, 굴절, 반사, 왜곡 등을 통해 아군의 탐지를 방해하는 것이다(Fig. 1). 그 중에서도 차량 연막유탄은 전차나 장갑차가 회피 기동하기

*Corresponding Author : Jongchan Lee(Defense Agency for Technology and Quality)

email: chance17@dtq.re.kr

Received December 16, 2019

Accepted April 3, 2020

Revised January 7, 2020

Published April 30, 2020

전에 발사하는 연막유탄으로 적의 위협을 감지하면 가장 우선으로 이용하는 능동 방호 수단이다[1].

이러한 연막유탄은 지상 무기체계의 교전에서 전차의 생존 가능성을 결정짓는 매우 중요한 요소로, 단 한 번의 기능을 발휘하고 그와 동시에 파괴되는 특성이 있기 때문에 사용해보기 전에는 연막유탄의 성능이나 안전성 등을 확인할 수 없다. 따라서 탄약 운용특성 상 장기간의 저장기간 동안에 시험을 통해서 신뢰도를 평가할 수밖에 없다. 하지만 시험 시 제품이 파괴되는 특성과 시험비용 때문에 전체를 대상으로 시험할 수 없으므로 모집단 즉, 해당 로트로부터 표본을 추출하여 시험을 수행하고 그 결과를 통계적으로 분석하여 로트의 신뢰도를 평가한다[2].

본 연구에서는 연막유탄 16개 로트에 대하여 2019년에 실시한 ASRP를 통해 확보한 시험데이터를 이용하여 연막유탄의 신뢰도 및 저장수명을 추정하고자 하였다. 이를 바탕으로 향후 연막유탄에 대한 ASRP 계획 수립과 제조 현장에서의 제품 품질 개선에 활용할 수 있도록 하였다.

2. 제원 및 평가절차

2.1 제원 및 작동원리

연막유탄은 K1과 K1A1 등의 전차에서 사용되는 탄약으로 적의 육안, 적외선 및 레이저 등 전자광학 조준유도 무기의 위협으로부터 아군의 전차를 연막차장에 의하여 보호할 목적으로 사용된다. 일반제원은 Table 1과 같다[3].

Table 1. Specification of smoke launcher grenade

Specification		Note
Weight	approx. 1.65 kg	-
Diameter	66 mm	-
Length	239 mm	-
Smoke agent	approx. 1.2 kg	IR Composition

Table 1에서 보는 바와 같이 연막유탄의 중량은 약 1.65 kg으로 탄 내부에는 IR 연막제 약 1.2 kg이 충전되어 있다. 작동원리는 다음과 같으며, 개략적인 운용개념은 Fig. 1에 제시하였다.

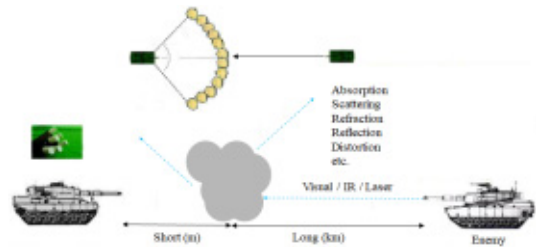


Fig. 1. Operational concept of smoke launcher grenade

연막유탄은 연막유탄 발사기에 장전되어 전기식 시스템으로 발사 후 점화기가 작동되며, 작동된 점화기는 추진제 및 지연제를 동시에 점화시킨다. 내부에 추진압력 형성과 동시에 탄이 발사기에서 방출되어 비행하는 동안 지연제가 연소하고, 일정시간의 지연제 작동 후에는 전폭관을 기록시킨다. 전폭관은 플라스틱 몸체를 파열시켜 몇 초 이내에 연막제를 분산시킨다. 공기 중에 분산된 연막제는 가시광선과 적외선 대역의 연막차장을 형성하여 일정 시간 유지되는데, 기상 조건의 영향을 많이 받는다[3].

2.2 평가절차

연막유탄의 신뢰성평가를 위한 절차는 Fig. 2와 같이 평가계획 수립, 비기능시험 및 기능시험, 시험결과 분석, 후속조치의 순서로 이루어진다[2].

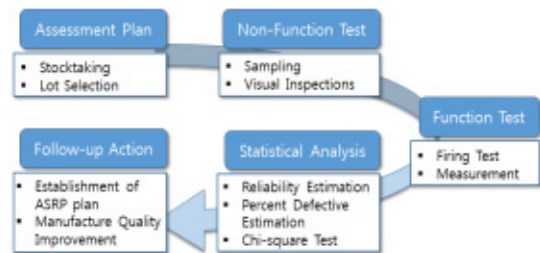


Fig. 2. Procedure of Assessment

우선 군이 저장하고 있는 연막유탄의 재고현황을 확인하고 제조년도를 고려하여 시험대상 로트를 선정한다. 선정된 로트에 대해서는 로트별로 시료를 채취하여 탄약의 기능 외적인 요소 즉, 내·외부 포장 및 탄약의 상태를 확인하는 비기능시험과 적절한 시험조건을 갖춘 시험장에서 성능을 평가하는 기능시험을 실시한다.

비기능시험은 로트당 20개의 시료를 채취하여 안전과 작동에 치명적인 영향을 줄 수 있는 부품손상과 기능에 영향을 미칠 정도의 부품손상 또는 부식 등의 결점을 육

안으로 확인하는 것으로 결점수에 따라 등급을 부여한다.

기능시험은 비기능시험 완료 후 안전에 이상이 없는 시료에 대하여 실제 사격을 통하여 연막유탄의 작동여부(방출 및 폭발), 작동거리 및 작동높이를 측정하는 것으로 정해진 기준에 따라 결점수를 파악하고 등급을 부여한다. 시험 시에 급격한 대기환경 변화나 시험결과에 영향을 미칠 수 있는 대기조건 발생 시에는 시험을 진행하지 않는다. 우선 발사기를 일정 높이 및 각도로 견고히 고정시키고, 연막유탄의 작동거리 및 작동높이를 영상으로 녹화할 수 있도록 적당한 격자를 설치한다. 연막유탄은 발사기로 1발씩 발사하여 기능상 작동실패(방출 또는 폭발실패), 부적당한 작동거리 및 작동높이는 결점으로 간주한다. 이러한 측정항목에 있어서 제조당시에는 결점이 발생되지 않은 로트에 대해서만 납품이 되어 운용되지만 저장기간이 경과함에 따라 화학성분 등의 경시변화에 의해 결점이 발생하게 된다. 결점이 발생하는 정도는 제조 시의 제품 편차와 같은 품질특성과 저장환경 조건에 따라 달라진다.

비기능시험 및 기능시험이 완료된 후에 시험 데이터를 수집하여 신뢰도 및 불량률 추정, 카이제곱 검정 등 다양한 방법을 활용하여 통계분석을 실시한다. 통계분석을 통해 군이 저장하고 있는 연막유탄에 대해서 저장기간이 경과함에 따른 신뢰도 및 품질특성 변화 추이 등을 파악할 수 있다.

마지막으로 통계분석 결과에 따라 차후 ASRP 계획 수립과 군이 저장하고 있는 탄약에 대한 계속 저장, 우선 배출 및 사용, 폐기 등의 후속조치를 취하여야 한다.

3. 데이터 통계분석

3.1 신뢰도 및 신뢰수준

탄약과 같은 일회성시스템(One-shot Device)은 일회적 사용을 목적으로 설계된다. 따라서 제조 이후 장기간 저장되는 탄약의 신뢰도는 기능을 요구하는 일회적 시점에서의 신뢰도이며, 신뢰도 값은 성공확률로 표현된다. 즉, 몇 년 저장 후 몇 %의 신뢰도를 나타낸다는 것이다. 일반적으로 품목별 신뢰도 산출은 정상적인 기능을 제외한 불량들이 발생하는 확률을 기준으로 나타낼 수 있다. 만약 시간 t 에서 시료 n 개를 추출 시험하여 r 개의 불량이 발생한다면 신뢰도는 식 (1)에 의해 구할 수 있다 [4,5].

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

Where, $R(t_i)$ = Reliability at time, t_i
 r = number defective
 n = sample size

또한 탄약과 같은 일회성시스템은 성공 또는 실패의 두 가지 결과로 나타나므로 이항분포를 이용할 수 있다. 이항분포는 각각의 시도가 단지 합격 또는 불합격이라는 두 가지의 결과 중 어느 하나의 결과로 나타나는 베르누이 시도를 토대로 하기 때문이다. 시료크기 n 에서 실패 또는 불량 r 의 특정수의 확률을 예측하기 위한 이항식은 식 (2)와 같다[6].

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

Where, p = proportion defective

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

요구하는 불량률(p)은 기꺼이 허용할 수 있는 개별 로트들에 있어서 가장 나쁜 품질인 로트허용불량률(LTPD; Lot Tolerance Percent Defective)이다. 즉 어떤 단위 로트에서 샘플링 검사를 하였을 경우 허용되는 범위 내에서의 불량률을 말하며, 이 허용불량률보다 낮은 불량률일 경우 로트 전부를 합격으로 본다.

시료 n 개의 시험에서 발생하는 k 또는 그 이하의 실패 확률을 계산하기 위해서 식 (3)과 같이 각각의 실패 발생 확률을 합해야 한다.

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

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

$$Confidence Level = CL = 1 - P(r \leq k) \tag{4}$$

만약 시료수가 20이고, 실패 허용수가 0일 때 $P(r=0)$ 는 0.122이고, 모집단에서 불량률이 10%이하일 신뢰수준은 87.8%가 된다. 이들 식을 다르게 적용하면 신뢰수준이 90.0%일 때 실패수에 따른 불량률을 확인할 수 있으며 따라서 어떤 신뢰수준에서의 신뢰도를 구할 수 있다.

3.2 불량률 추정

시료 20개를 시험하여 1개의 실패가 발생한 것을 가정할 때 모집단의 불량률은 시료를 취한 모집단의 실제 불량률의 상한값과 하한값을 계산함으로써 추정할 수 있으며, 이를 위해 F분포를 사용한다.

식 (5)와 식 (6)은 어떻게 불량률에 대한 하한값(P_L)과 상한값(P_U)을 계산하는지를 나타낸다. F값은 통계 서적을 참고하면 된다[6].

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

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

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

$$v_2 = 2r$$

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

Where, F_U = F distribution for the following degrees of freedom and associated required CL

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

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

예를 들면 시료 20개를 시험하여 1개의 실패가 발생하였을 때 모집단의 불량률은 식 (5)와 식 (6)을 사용함으로써 신뢰수준 90%로 추정할 수 있다. F값은 각각 $F_L = 9.47$, $F_U = 2.10$ 이고, 이때 $P_L = 0.005$ 이고, $P_U = 0.181$ 이 된다. 그러므로 모집단의 실제 불량률 p 는 0.5%와 18.1%사이에 있을 것이라고 신뢰수준 90%로 말할 수 있다. 즉 100번 시험할 경우 90번은 실제 불량률 p 가 0.5%와 18.1%사이에 있다고 말할 수 있다. 이 구간을 줄이기 위해서는 시료수를 증가시키거나 신뢰수준을 낮추어야 한다. 물론 실패수가 줄어들면 이 구간은 좁아지게 된다. 한편 신뢰수준 90%에서의 신뢰도 상한값과 하한값은 각각 99.5%, 81.9%가 된다.

3.3 카이제곱 검정

한편 로트 간의 신뢰도, 제조년도 간의 신뢰도 비교에는 카이제곱 검정을 사용할 수 있다. 이 경우 모집단별로 신뢰도 즉, 성공확률이 동일한 확률을 갖는지를 알아보고자 하는 것이므로 동질성에 대한 카이제곱 검정이라 할 수 있다. 카이제곱 검정은 우선 집단별로 차이가 있는지

에 관하여 귀무가설과 대립가설을 설정하고 교차분석표나 분할표를 작성하여 관측값과 기댓값간의 차이를 계산하여 카이제곱 값을 구한다. 카이제곱 통계량과 임계치를 상호 비교하여 차이가 있는지에 대한 가설을 검정하여 귀무가설을 채택하거나 기각할 수 있다. 카이제곱 검정법의 경우 변수의 모든 범주의 칸에서 기댓값이 5미만인 셀이 전체의 25%를 넘으면 카이제곱검정을 쓰지 않는 것이 좋다. 따라서 표본의 수가 적을 때나, 기댓값이 작은 경우가 아니라도 관측값이 심하게 불균형을 이룰 경우에는 가능한 한 초기하분포에 근거하고 있는 피셔의 정확검정을 사용하는 것이 좋다[7]. 카이제곱 검정통계량은 아래의 식 (7)과 같으며, 이는 자유도가 $(r-1)(c-1)$ 인 카이제곱분포를 이룬다.

$$\chi_o^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (7)$$

Where, O_{ij} = observed frequency counts

E_{ij} = expected frequency counts

r, c = number of row and column

따라서 귀무가설에 대한 유의수준이 α 인 경우 기각역은 식 (8)과 같다. 검정통계량 값이 기각값과 비교하여 검정통계량 값이 더 크면 귀무가설을 기각한다.

$$\chi_o^2 > \chi_\alpha^2((r-1)(c-1)) \quad (8)$$

분할표의 자유도가 1인 경우는 검정통계량 값이 약간 높게 계산된다. 그래서 아래의 식 (9)와 같이 관측값-기댓값의 절대값에서 0.5를 뺀 다음 제곱하며, 이 방법을 야트보정이라 한다.

$$\chi_o^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(|O_{ij} - E_{ij}| - 0.5)^2}{E_{ij}} \quad (9)$$

3.4 소집단별 신뢰도 결합

제조년도별 또는 저장기간별 신뢰도를 제시하기 위해서는 각각의 로트들에 대한 데이터를 수집하고 이들 데이터를 결합 분석하여야 한다. 신뢰구간 결정, 데이터 값의 예측, 데이터 모델링, 분포 결정 등을 위해 유사한 데이터를 결합하여 분석하는 것은 매우 유용하다. 만약 데이터 정보가 유사한 모집단으로부터 수집된 양질의 정보라면, 이들 많은 양의 데이터는 보다 많은 정보를 제공하

고 더 나은 예측 값을 얻을 수 있게 해 준다. 하지만 서로 다른 환경에서 수집된 데이터를 결합하다보면 외부 잡음이 데이터 내에 많이 포함되게 되어 편차가 증가하고, 신뢰구간의 크기와 불확실성 또한 증가하게 된다. 이러한 경우에는 데이터를 결합하는 것이 오히려 개별적으로 데이터를 분석하는 것 보다 나쁜 결과를 초래한다. 따라서 데이터가 통계적으로 큰 차이를 보이지 않을 경우에 결합하여야 한다[8].

4. 시험결과 분석

앞에서 언급한 바와 같이 군이 저장하고 있는 연막유탄의 재고현황을 확인 후 시험대상 로트로 선정된 연막유탄 16개 로트에 대하여 2019년에 실시한 시험결과, 비기능시험에서는 모든 로트가 결점 없이 양호하였다. 따라서 기능시험 결과에 대해 작동여부, 작동거리 및 작동높이에 대하여 저장기간에 따른 신뢰도 및 품질 특성 변화 추이를 분석하였다. 마지막으로 제조 후 수락시험 결과와 저장기간이 경과한 후의 ASRP 시험결과를 비교 분석하였다.

4.1 정상작동과 작동거리 신뢰도 및 변화 추이

Table 2는 제조년도에 따른 연막유탄 로트의 정상작동 및 작동거리에 대한 신뢰도를 나타낸 표이다.

Table 2. Reliability for operation and operating distance by year of manufacture

Year Mfd.	Age at test (years)	Number of Lot	Sample size	Number of failures	Reliability (%)	90% Lower CL
'01	18	1	20	0	100	89.1
'03	16	1	20	0	100	89.1
'06	13	2	40	0	100	94.4
'07	12	1	20	0	100	89.1
'09	10	2	40	0	100	94.4
'10	9	2	40	0	100	94.4
'11	8	2	40	0	100	94.4
'12	7	2	40	0	100	94.4
'13	6	1	20	0	100	89.1
'14	5	1	20	0	100	89.1
'15	4	1	20	0	100	89.1

Table 2에서 보는 바와 같이 제조년도별 모든 로트에서 작동실패(방출 또는 폭발실패)와 부적당한 작동거리와 같은 결점이 전혀 발생하지 않았다. 따라서 식 (1)에 따라 모든 제조년도별 로트의 신뢰도는 100%이며, 신뢰

수준 90%에서 신뢰도 하한값은 식 (6)의 불량률 상한값을 추정하여 구한 결과 제조년도별로 89.1% 또는 94.4%로 나타났다. 즉, 시험결과와 저장기간(시험년도-제조년도)이 경과함에 따른 정상작동 및 작동거리에 대한 신뢰도의 뚜렷한 변화는 관찰되지 않았다.

Fig. 3은 저장기간에 따른 정상작동 및 작동거리 신뢰도 변화 추이를 나타낸 것으로, 목표신뢰도 한계를 80%로 설정할 경우에도 저장기간이 20년 내에서는 양호한 것으로 추정할 수 있다.

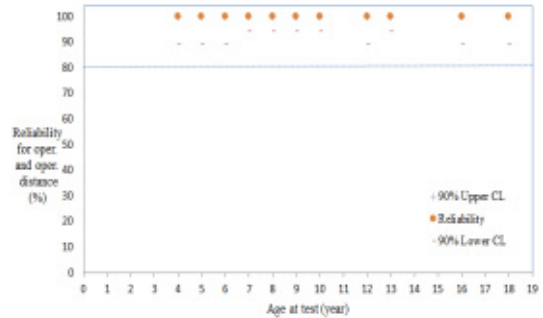


Fig. 3. Trends in reliability change for operation and operating distance by age at test

Fig. 4는 연막유탄 시험결과와 제조년도별 작동거리를 사분위 상자그림으로 나타낸 것으로, 연막유탄의 작동거리 기준 범위 내에 모든 데이터가 위치하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 최근 제조년도에서 오래된 제조년도로 갈수록 즉, 저장기간이 경과할수록 전반적으로 작동거리가 짧아지는 것으로 판단할 수 있다. 다만 '01년에 제조된 로트의 중앙값은 다소 높게 나타나는데 이는 초기 제조 로트의 품질 특성에 의한 것으로 추정되며, 보다 정확한 추정을 위해서는 추후 저장신뢰성평가를 통해 더 많은 데이터를 수집하고 분석할 필요가 있다.

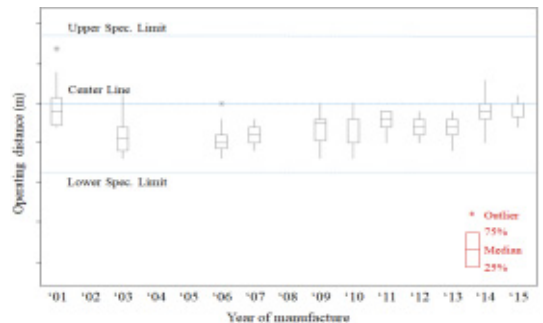


Fig. 4. Trend analysis of operating distance by year of manufacture

4.2 작동높이 신뢰도 및 변화 추이

Table 3은 2019년 연막유탄 시험결과 작동높이에 대한 신뢰도를 제조년도에 따라 나타낸 표이다.

Table 3. Reliability for operating height by year of manufacture

Year Mfd.	Age at test (years)	Number of Lot	Sample size	Number of failures	Reliability (%)	90% Lower CL
'01	18	1	20	10	50.0	33.8
'03	16	1	20	15	25.0	12.7
'06	13	2	40	22	45.0	34.1
'07	12	1	20	7	65.0	48.2
'09	10	1	20	10	50.0	33.8
		1	20	4	80.0	63.9
'10	9	2	40	20	50.0	38.8
'11	8	2	40	6	85.0	75.2
'12	7	2	40	17	57.5	46.1
'13	6	1	20	4	80.0	63.9
'14	5	1	20	1	95.0	81.9
'15	4	1	20	0	100	89.1

연막유탄의 작동높이에 대한 신뢰도는 Table 3에서 보는 바와 같이 '03년 제조로트의 작동높이 신뢰도가 25.0%로 가장 낮게 나타났으며, 제조년도가 오래된 로트일수록 작동높이 신뢰도가 대체적으로 조금 더 낮은 경향을 보이고 있다. 이러한 결과는 정상작동 및 작동거리에 대한 신뢰도를 나타낸 Table 2에서와 상당히 다른 결과로, 신뢰수준 90%에서 신뢰도 하한값이 80% 이상인 로트는 저장기간이 5년 이하인 '14년, '15년에 제조된 로트만 해당된다.

한편 '09년에 제조된 로트는 두 개의 로트 간 작동높이 신뢰도가 유의수준 5%에서 유의한 차이를 보여 데이터를 결합하지 않고 구분하여 나타내었다. 우선 '09-1로트와 '09-2로트의 작동높이 신뢰도의 동일성에 대한 카이제곱 검정을 위해서 다음과 같이 가설을 수립하였다.

- 귀무가설 : '09-1로트와 '09-2로트의 작동높이에 대한 성공확률(신뢰도)는 동일하다.
- 대립가설 : '09-1로트와 '09-2로트의 작동높이에 대한 성공확률(신뢰도)는 동일하지 않다.

그리고 두 개의 로트에 대한 작동높이 시험결과에 대한 분할표를 Table 4와 같이 나타내었다. 두 개 로트의 작동높이 성공과 실패에 대한 관측값과 기댓값(괄호 안

의 숫자)를 나타내었다.

Table 4. Chi-Square result (2 × 2 contingency table)

	Lot No. '09-1	Lot No. '09-2	Marginal Row Total
Success for Operating Height	10 (13) [0.69]	16 (13) [0.69]	26
Failure for Operating Height	10 (7) [1.29]	4 (7) [1.29]	14
Marginal Column Total	20	20	40

이 때 검정통계량은 식 (7)에 의해 구할 수 있으며, 자유도는 $(r-1)(c-1)$ 인 카이제곱분포를 이룬다. 검정통계량을 계산하면 3.956이다. 그리고 귀무가설에 대한 유의수준 5%에서 기각역은 식 (8)에 따라 구할 수 있다. 자유도가 $(2-1)(2-1)=1$ 이고, 유의수준이 $\alpha=0.05$ 이므로 기각역은 $\chi^2_o > \chi^2_{0.05}(1) = 3.8414$ 와 같다. 그러므로 $\chi^2_o = 3.956 > \chi^2_{0.05}(1) = 3.8414$ 이므로 귀무가설을 기각한다. 따라서 '09-1로트와 '09-2로트의 작동높이에 대한 성공확률(신뢰도)는 동일하다고 할 수 없다. 하지만 자유도가 1이므로 식 (9)에 따라 야트보정을 거치면 검정통계량이 2.747로 작아지기 때문에 결과는 달라진다. 즉, '09-1로트와 '09-2로트의 작동높이에 대한 성공확률(신뢰도)는 동일하다는 귀무가설을 채택하고, 두 로트의 데이터를 결합하여 2009년 제조로트의 신뢰도를 구한다. 이때 두 로트의 작동높이에 대한 신뢰도 검정을 위해서 통계프로그램을 활용하면 p 값이 0.0974로 나타나며, p 값이 유의수준 0.05보다 크므로 귀무가설을 채택한다. 즉 '09-1로트와 '09-2로트의 작동높이에 대한 성공확률(신뢰도)는 동일하다고 할 수 있다. 여기서 p 값은 귀무가설이 참이라고 할 때 표본이 귀무가설을 기각하지 못하는 확률이 된다.

위와 같이 '09-1로트와 '09-2로트의 작동높이 신뢰도(성공확률)의 차이에 대한 카이제곱 검정결과, 유의수준 5%에서 유의한 수준으로 귀무가설인 '09-1로트와 '09-2로트의 작동높이에 대한 성공확률(신뢰도)는 동일하다고 할 수 있다. 이러한 방법으로 제조년도 '01년~'10년 로트 간의 작동높이에 대한 신뢰도가 유의한 차이가 있는지 비교하여 Table 5에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 '03년 제조로트와 '07년, '09년 제조로트의 작동높이 신뢰도는 통계적으로 유의한 차이가 있으며, 나머지 제조년도 간의 작동높이 신뢰도는 통계적으로 유의한 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 '03년 제조로트의 작동높이 신

뢰도가 25.0%로 매우 낮은 것을 제외하고는 작동높이 신뢰도가 30% ~ 40%대로 유사하다는 것을 의미한다.

Table 5. Chi-Square Exact Test Comparison by the year of Manufacture (2001~2010)

Year Mfd.	2001	2003	2006	2007	2009	2010
2001		NSD	NSD	NSD	NSD	NSD
2003	NSD		NSD	SD	SD	NSD
2006	NSD	NSD		NSD	NSD	NSD
2007	NSD	SD	NSD		NSD	NSD
2009	NSD	SD	NSD	NSD		NSD
2010	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	

* SD: Statistically Different
NSD: Not Statistically Different

Table 6에는 '10년~'15년 제조로트 간의 작동높이에 대한 신뢰도가 유의한 차이가 있는지 비교한 것으로 '01년~'10년과는 조금 다른 특징을 보인다. 이는 Table 3에서와 같이 '10년, '12년 제조로트의 작동높이 신뢰도가 상대적으로 낮으며 '14년, '15년 제조로트의 작동높이 신뢰도가 매우 높게 나타나기 때문이다.

Table 6. Chi-Square Exact Test Comparison by the year of Manufacture (2010~2015)

Year Mfd.	2010	2011	2012	2013	2014	2015
2010		SD	NSD	SD	SD	SD
2011	SD		SD	NSD	NSD	NSD
2012	NSD	SD		NSD	SD	SD
2013	SD	NSD	NSD		NSD	SD
2014	SD	NSD	SD	NSD		NSD
2015	SD	NSD	SD	SD	NSD	

* SD: Statistically Different
NSD: Not Statistically Different

이러한 결과를 바탕으로 저장기간에 따른 작동높이 신뢰도 변화 추이를 Fig. 5에 나타내었다. 저장기간이 16년 경과된 '03년 제조로트의 작동높이 신뢰도가 가장 낮게 나타나며, 저장기간이 경과할수록 작동높이 신뢰도가 조금씩 낮아지는 경향을 확인할 수 있다.

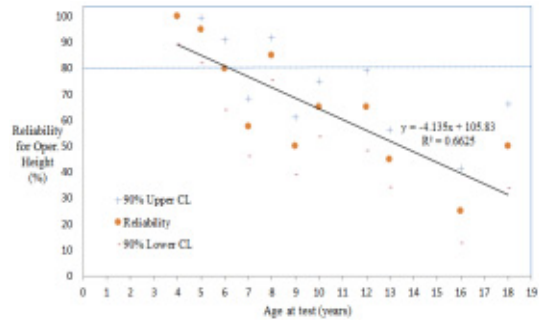


Fig. 5. Trends in reliability change for operating height by age at test

작동높이의 목표신뢰도 한계를 80% 이상으로 설정할 경우, 주어진 결과로부터 신뢰수준 90% 신뢰도 하한값이 신뢰도 80% 미만인 제조년도는 대략 '13년 제조로트부터이며, 시험년도 기준으로 저장기간이 약 6년 경과된 로트이다. 신뢰도에 대한 추세선 분석을 하면 목표신뢰도 한계를 80%로 설정할 경우 저장기간이 약 6년 경과되어야 신뢰도가 80% 이하로 낮아질 것으로 추정된다. 반면 신뢰수준 90%의 신뢰도 상한값을 기준으로 하면 저장기간이 약 8년~9년 경과하여야 신뢰도가 80% 이하로 낮아질 것으로 추정된다. 따라서 연막유탄의 저장수명은 측정항목 중 신뢰도가 낮게 나타나는 연막유탄의 작동높이에 따라 결정되며, 신뢰도 80%를 기준으로 저장수명은 약 6년에서 9년까지로 추정할 수 있다.

연막유탄의 작동높이 신뢰도 변화 추이에 대해 좀 더 자세하게 살펴보기 위해 2019년 시험결과 제조년도별 작동높이를 Fig. 6과 같이 사분위 상자그림으로 나타내었다. 제조년도별 작동높이 3사분위수가(상자의 윗선) 작동높이 기준 상한선을 넘지 않는 제조년도는 '11년, '13년, '14년, '15년 제조된 로트들이며 대부분의 제조년도별 로트들에서는 기준을 많이 초과하는 것을 알 수 있다.

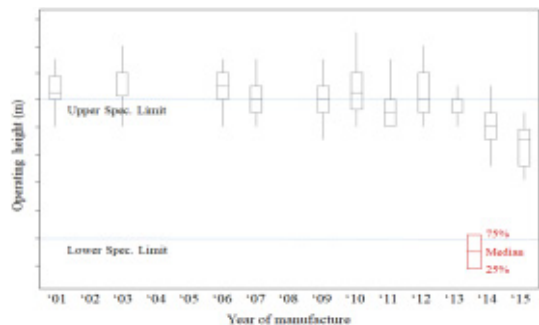


Fig. 6. Trend analysis of operating height by year of manufacture

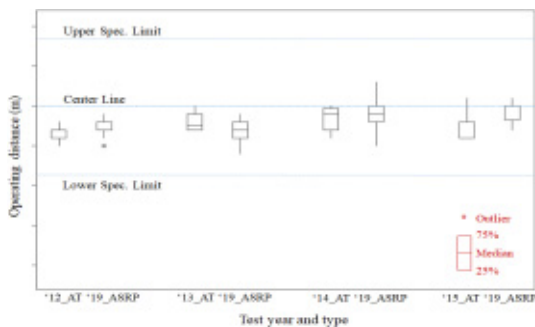
따라서 작동높이를 기준으로 볼 때 결점이 많이 발생하는 시점은 저장기간이 약 6년 정도 경과된 시점으로 추정할 수 있다.

4.3 수락시험과 ASRP 시험결과 비교 분석

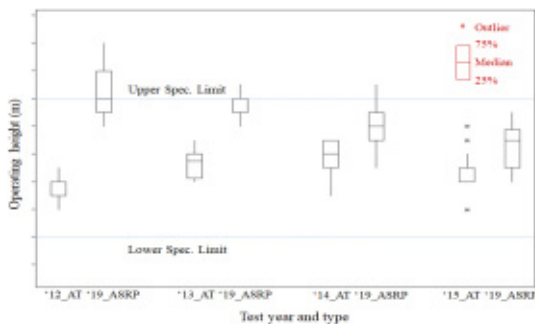
마지막으로 저장기간이 경과함에 따른 동일로트 연막유탄의 작동거리 및 작동높이 등의 품질특성 변화 추이를 파악하기 위하여 '12년에서 '15년에 제조된 연막유탄 4개 로트의 수락시험 결과와 2019년 실시한 동일로트의 ASRP 시험결과를 Fig. 7에 비교하여 나타내었다.

작동거리의 경우, 시험년도와 시험 종류에 관계없이 작동거리 기준 중심에서 하한값 범위 내에서 큰 변화나 경향성을 띄지 않으며 양호한 결과를 나타내고 있다.

반면, 작동높이는 제조당시의 수락시험 결과에 비해 저장기간이 경과한 이후의 ASRP 시험결과에서 보다 높게 나타났으며, 저장기간이 많이 경과할수록 작동높이의 변화가 큰 것을 알 수 있다.



(a) Trends of operating distance by test year and type



(b) Trends of operating height by test year and type

Fig. 7. Trend analysis of operating distance and height by lot by lot

5. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 연막유탄의 ASRP 시험 데이터로부터 저장기간에 따른 정상작동, 작동거리 및 작동높이에 대한 신뢰도 및 품질특성 변화 추이를 파악하고 저장수명을 추정하여 제시하였다.

첫째, 연막유탄은 저장기간이 경과함에 따른 정상작동 및 작동거리 신뢰도가 매우 양호하나 작동높이의 신뢰도가 낮아져서 저장수명에 영향을 미치는 것으로 확인된다. 저장기간이 약 7년 정도 경과된 시점에서부터 작동높이 기준을 초과하는 결점이 많이 발생하는 것으로 확인된다.

둘째, 연막유탄의 저장수명은 작동높이 신뢰도 변화 추이로부터 신뢰도 80%를 기준으로 약 6년에서 9년으로 추정할 수 있다.

셋째, 일정 저장기간이 경과함에 따라 연막유탄의 작동높이는 점점 높아지고, 이에 따라 작동높이의 신뢰도는 낮아지는 것을 고려할 때, 이러한 특성과 연관된 추진제 및 지연제에 대한 품질 개선이 필요하다.

향후 연막유탄의 신뢰도 및 수명예측을 보다 정확하게 추정하기 위해서는 지속적인 ASRP를 통한 데이터 확보 및 분석이 필요하다. 우선 군에서 보유하고 있는 탄약의 현황 및 과거 시험현황 등을 고려하여 시험대상 로트를 선정하는 체계적인 평가계획 수립이 되어야 한다. 다음으로 작동거리 및 작동높이와 같은 품질 특성에 영향을 미치는 추진제와 지연제의 성능에 대한 분석을 위해 포구 속도측정기 등의 측정장비를 활용하는 것이 필요하다. 왜냐하면 추진제 성능과 관련하여 탄속이 작동거리와 작동높이에 영향을 미치고, 지연제의 양에 따른 연막유탄의 지연시간이 작동시간에 영향을 미치기 때문이다. 본 논문에서 제시한 분석 기법과 결과가 향후 연막유탄의 신뢰도 및 저장수명 추정 연구에 매우 유용하게 사용될 수 있기를 기대한다.

References

- [1] S. J. Min, "Developing Vehicle-launched Smoke Grenade M&S of Moderate-resolution for Applications in Engagement Simulation", *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol.28, No.2, pp.59-69, 2019. DOI: <https://doi.org/10.9709/JKSS.2019.28.2.059>
- [2] 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>

- [3] 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.
- [4] H. G. Sim, "A study on the reliability analysis of one-shot system", *Journal of the korea association of defense industry studies*, Vol.16, No.2, pp.105-116, 2009.
- [5] Ministry of Defence, Reliability and Maintainability (R&M) Assurance Activity Part 1 One-Shot Devices/Systems, Defence Standard 00-42, Part 1, Issue 2, pp.1-23, 2008.
- [6] Edward R. Sherwin, "Analysis of "One-Shot" Devices", *Selected Topics in Assurance Related Technologies*, vol.7, No.4, pp.1-4, 2004.
- [7] C. H. Nam, H. J. Kim, Introduction to modern statistics, p.430, Shinyoungsa, 2005
- [8] Jorge Luis Romeu, "Combining Data", *Selected Topics in Assurance Related Technologies*, vol.11, No.1, pp.1-8, 2008.

정 현 석(Hyunsuk Jung)

[정회원]



- 2017년 2월 : 충남대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

MEMS, 신뢰성평가, 통계적 품질관리

이 중 찬(Jongchan Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 경북대학교 화학공학 (공학석사)
- 2003년 4월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원
- 2011년 9월 : 품질관리기술사

<관심분야>

신뢰성평가, 통계적 품질관리, 품질경영

이 준 혁(Junhyuk Lee)

[정회원]



- 2015년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학석사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

정보통신, 통계적 품질관리, 신뢰성평가