

저장탄약의 품목별 신뢰도평가 사례 연구

윤근식[†] · 이종찬

국방기술품질원

A Case Study on the Reliability Assessment of Stockpile Ammunition

Keun Sig Yoon[†] · Jong Chan Lee

Defense Agency for Technology and Quality

Purpose: The purpose of this study was to find out that the statistical method of stockpile reliability of ammunition by items can be applied to the reliability assessment of stockpile ammunition.

Methods: We reviewed the statistical method of stockpile reliability of ammunition by items and verified the possibility of its application by case study.

Results: We found that the statistical method of stockpile reliability of ammunition by items is very useful and effective to present the reliability of ammunition based on each item and to predict the change of the reliability in the future. The reliability of proximity fuse was about 94.5% and was influenced by manufacture's year and the difference between lot and lot more than storage period.

Conclusion: The statistical method of stockpile reliability of ammunition by items can be applied to the reliability assessment of various stockpile ammunitions such as ammunition for mortar and canon.

Key Words : ASRP, Ammunition, Reliability, One-shot Device, Statistical Analysis

1. 서 론

탄약은 화약, 방사능물질 등을 이용해 인원과 물자 및 시설을 직접적으로 파괴하는 유일한 무기로서 전쟁의 성패를 좌우하는 중요한 무기체계의 하나이다. 또한 탄약은 사용되기 전 저장되어 있는 시간이 매우 길다. 즉, 수명기간동안 대부분을 저장 또는 전투준비상태(stand-by readiness)로 보내게 된다. 반면 기동장비 등의 무기체계는 저장기간이 거의 존재하지 않으며 제품의 전 수명 간 지속적으로 사용되어진다. 따라서 해당 제품을 사용하는 중에 고장이나 결점이 발생할 경우 바로 확인할 수 있다. 이에 반해서 탄약은 저장기간이

매우 길고 작동을 시키지 않으므로 수명주기 동안에 실패 데이터에 대한 확보가 제한적이다. 또한 저장기간 동안 신뢰도는 서서히 저하되고 있으므로 저장탄약에 대해서 주기적으로 상태를 확인해야 한다[1].

그리고 단 한 번의 기능을 발휘하고 그와 동시에 파괴되는 특성이 있기 때문에 사용해보기 전에는 탄약의 성능이나 안전성 등을 확인할 수 없으므로 시험을 통해서 신뢰도를 평가할 수밖에 없다. 하지만 시험 시 제품이 파괴되는 특성과 시험비용 때문에 전체를 대상으로 시험할 수 없으므로 모집단 즉, 해당 로트로부터 표본을 추출하고 시험을 수행하여 그 결과를 통계적으로 분석하여 로트의 신뢰도를 평가한다.

이에 따라 국방기술품질원은 '98년부터 현재까지 저장탄약에 대한 신뢰성평가를 수행하면서 추진제를 중심으로 한 저장수명예측기법을 연구하여 저장탄약의 신뢰성 향상에도 기여하였다[2]. 평가대상도 육·해군의 재래식탄약과 미제탄약 위주에서 육·해·공군으로 확대

[†] Corresponding Author
 Defense Agency for Technology and Quality, 37
 Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, 130-010, Korea
 Tel: +82.2.961.1948 Fax: +82.2.964.0198
 E-mail: ksyoon@dtaq.re.kr

하였으며, 시험물량 면에서도 대폭 증가시켜 많은 로트에 대한 평가를 완료하였다. 이러한 성과에도 불구하고 각각의 로트에 대해서 신뢰성평가를 수행하고 로트 단위로 사용가능성과 안전성을 판단하는 방법은 국내 시험장 여건을 고려할 때 시험비를 현재보다 더 많이 투자하더라도 한계가 있다. 또한 시험결과를 로트단위에 국한하여 적용하므로 전체적인 탄약의 신뢰도를 파악한다거나 향후 신뢰도 변화 추이를 예측하는 것이 매우 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 대책마련이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 접근신관의 저장탄약신뢰성평가(ASRP, Ammunition Stockpile Reliability Program) 결과를 활용하여 품목별 신뢰도 평가에 대해서 연구하였다. 먼저, 품목별 신뢰도 산출에 필요한 통계적 분석기법을 제안하고, 접근신관의 ASRP결과를 제안된 기법으로 분석하여 품목신뢰도를 산출하였다. 또한 품목별 신뢰도 변화를 예측할 수 있는 평가방법과 향후 품목별 저장신뢰도 평가를 위한 방안을 고찰하였다.

2. 품목별 저장신뢰성평가 개념 및 필요성

저장탄약신뢰성평가는 군에 저장 중인 탄약에 대하여 주기적으로 비기능시험, 기능시험, 저장분석시험 등을 수행하고 탄약의 사용가능성(Serviceability), 안전성(Safety), 신뢰성(Reliability) 및 성능(Performance)을 통계적으로 분석하고 평가하여 탄약의 계속저장, 제한사용, 우선불출 및 폐기 등을 결정하는 종합적인 탄약신뢰성평가 업무이다. 즉, ASRP는 저장탄약의 신뢰성 확보와 군 전투력 향상을 목적으로 실시되는 종합적인 탄약평가 시스템이다[3].

저장탄약신뢰성평가는 <그림 1>과 같이 평가계획, 시험, 결과분석 및 평가, 후속조치의 순서로 이루어진다 [1,3].

현재 적용하고 있는 저장탄약신뢰성평가에서 평가단위는 로트이다. 로트단위로 시험평가를 수행하여 해당 로트에 대하여 사용가능성과 안전성 등을 평가하여 저장탄약의 상태기호 즉, 계속저장, 조건부 불출, 우선불출, 폐기 등의 등급을 부여하고 있다. 이러한 방법은 제조연도가 오래된 로트, 성능 의심 및 변질 우려 로트, 약작용 발생한 로트 등 저장신뢰성이 낮은 로트를 우선적으로 평가하는 것으로 로트 단위 탄약관리에 유용하다. 하지만 로트단위 평가로 인해 품목 단위의 신뢰도

를 파악하거나 전체적인 로트 간 또는 시험년도 간 신뢰도를 비교 분석하는데 한계가 있다. 무엇보다도 굳이 요구하는 평가물량 대비 소화할 수 있는 역력이 부족하여 대상로트들을 전부 평가하기 위해서는 수십년이 소요될 수 있다.

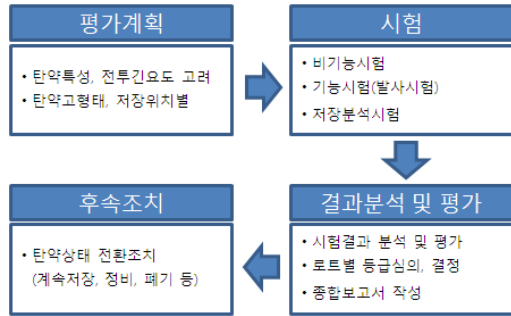


Fig. 1. Procedure of Ammunition Stockpile Reliability Program

따라서 현재의 로트단위 평가를 품목별 평가체계로 전환하는 것을 검토할 필요가 있다. 품목별 평가란 모집단인 품목에 대한 통계적 분석이 가능하도록 저장기간, 로트수 등을 고려하여 표본로트를 선정하고 선정된 로트 내에서 일정량의 시료를 추출하여 평가하는 것이다. <그림 2>는 로트단위 평가와 품목별 평가의 개념도를 나타낸 것이다.

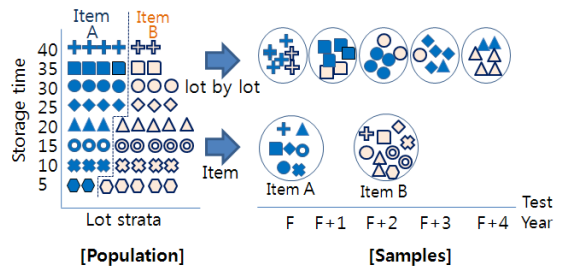


Fig. 2. The evaluation scheme of lot level and Item level

<그림 2>에서 보는 바와 같이 2개 품목으로 구성된 로트모집단이 있는 경우 로트별 평가는 모든 로트를 대상으로 저장기간이 오래된 순서대로 매년 일정한 로트수를 평가하는 것이고 품목별 평가는 품목별로 저장기간, 로트수 등을 고려하여 평가로트수를 선정하게 된다. 품목 A의 경우 로트별 평가 시에는 F년부터 F+4년까지 매년 약 4개 로트씩 19개 로트를 평가하여 저장기간

20~40년인 로트에 대해서만 평가결과를 얻는데 반해서 품목별 평가의 경우에는 F년에 8개 로트만을 평가함으로써 품목에 대한 전반적인 신뢰성정보를 얻을 수 있다. 이처럼 품목별 평가는 평가로트수는 줄이면서 신뢰성정보는 많이 획득할 수 있다. 평가로트수가 감소하면 그에 따라 시험평가 비용도 감소하는데 <그림 2>의 품목 A 사례의 경우 품목별 평가는 로트별 평가와 비교하여 30%(8/27)의 비용만이 소요된다. 품목별 평가의 효과를 높이기 위해서는 제조년도, 저장기간 등 인자들을 고려하여 신뢰도 변화 및 차이를 파악할 수 있도록 통계적 샘플링 기법을 적용하여 표본로트를 선정하여야 한다. 다만 평가 품목의 로트들이 일부 특정 제조년도에만 생산되었거나 로트간의 신뢰도 차이가 적으면서 시간에 따라 서서히 감소하는 경우 등에 따라 품목별 평가의 효율성이 다르다고 할 수 있다.

3. 품목별 저장신뢰도 분석 통계기법

통계도구들은 모집단으로부터 취한 시료를 기초로 어떤 모집단의 분포특성을 분석하는데 사용된다. 저장 탄약의 경우에도 통계적 방법을 활용하여 샘플링된 시료를 통해서 모집단의 특성을 추정하고 신뢰도 또는 성공확률을 예측할 수 있다.

3.1 품목별 신뢰도 산출

탄약과 같은 일회성시스템(One-shot Device)은 일회적 사용을 목적으로 설계된다. 따라서 생산 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_i 에서 시료 n 개를 추출 시험하여 r 개의 불량이 발생한다면 신뢰도는 식 (1)에 의해 구할 수 있다.

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

위 식은 과거의 실험데이터를 이용하지 않고 현 시점에서의 실험데이터를 이용하여 신뢰도를 평가하는 것으로 비누적방식이다. 누적방식은 현재 시점까지 확보한 모든 데이터를 이용하여 나타내는 것으로 시간에 따

른 신뢰도 값들이 크게 변화하지 않는 경우에 비누적식보다 더 정확하게 신뢰도를 추정할 수도 있다. 즉 시간에 따른 신뢰도 저하 속도에 비해 평가주기가 짧아서 평가 시의 신뢰도가 거의 동일할 경우는 누적방식을 사용할 수 있다[4, 5].

$$\hat{R}(t_i) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^i r_j(t)}{\sum_{j=1}^i n_j(t)} \quad (2)$$

한편 비누적식과 누적식을 혼합하여 신뢰도를 추정하는 혼합형 방식을 이용하여 신뢰도를 산출할 수도 있다. 이러한 세 가지 방법을 비모수 추정법이라고 하는데, 불량에 대한 분포 정보를 고려하지 않고 이 데이터를 이용하여 직접 신뢰도를 추정하는 방법이다. 비모수 추정법을 이용하여 시험평가 시점에서의 신뢰도를 추정하고 추정된 신뢰도 값들을 이용하여 미래 시점에서의 신뢰도를 예측할 수 있다. 일반적으로 고려되는 수명분포를 나타내는 확률지를 이용하여 시험 평가한 시점에서의 신뢰도 값들을 확률지에 타점하고 타점들을 가장 잘 나타내는 직선을 추정함으로써 수명분포 및 신뢰도함수의 특성을 나타내는 파라미터들을 구하면 된다[4].

3.2 확률분포와 불량률 추정

3.2.1 확률분포

탄약과 같은 일회성 시스템은 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 다음과 같다. 즉, 이항확률변수 r 은 모집단의 불량률이 p 일 때 n 개의 시험 중 발생하는 불량수를 의미하며 다음과 같은 이항분포확률을 적용할 수 있다.

$$P(r) = \frac{n!}{r!(n-r)!} p^r (1-p)^{n-r} \quad (3)$$

여기서, p : 불량률
 n : 시료크기
 r : 불량수
 $P(r)$: 시료 n 개에서 불량수가 r 일 확률

그리고 식 (3)에 따라 시료 n개의 시험에서 발생하는 k 또는 그 이하의 불량 확률을 계산하기 위해서 식 (4)와 같이 각각의 불량 발생 확률을 합하면 된다.

$$P(r \leq k) = \sum_{r=0}^k P(r) \tag{4}$$

한편, 로트의 크기가 작고 채취한 시료가 상대적으로 큰 비율(30% 이상)을 차지할 때에는 이항분포를 사용하는 것은 부적절하다. 왜냐하면 이항분포는 모집단이 무한하다는 가정 하에 시행하기 때문이며, 합격확률을 과대 추정하게 된다. 따라서 이항분포 대신 초기하분포를 사용하는 것이 바람직하다. 만약 잠재적인 실패수 M을 포함하고 있는 로트 크기 N에서 시료 n개를 시험하고 r개가 실패하였다면 이 사건의 확률은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P(r) = \frac{M C_r \cdot N-M C_{n-r}}{N C_n} \tag{5}$$

만약 시료를 시험하였을 때 실패수가 k개 이하인 로트를 수락한다면, 잠재적인 실패 M을 포함하고 있는 로트의 수락확률은 식 (4)와 같다.

3.2.2 불량률 추정

제품특성의 불일치는 일반적으로 불량률로서 표현된다. 불량률은 시료크기에서 발생한 실패수를 시료크기로 나눈 값이다. 시료 n개를 시험하여 r개의 실패가 발생한 것을 가정할 때 모집단의 불량률은 시료를 취한 모집단의 실제 불량률의 상한, 하한값을 계산함으로써 추정할 수 있으며, 이를 위해 F분포를 사용한다.

식 (6)과 식 (7)은 어떻게 모집단의 불량률에 대한 하한값(P_L)과 상한값(P_U)을 추정하는지를 나타낸다. F값은 통계프로그램 또는 통계서적을 참고하면 된다[6].

$$P_L = \frac{1}{1 + [(n-r+1)/r]F_L} \tag{6}$$

여기서, r : 불량수
 n : 시료크기
 F_L : 요구 신뢰수준과 아래 자유도에 대한 F분포 값
 $v_1 = 2(n-r+1)$
 $v_2 = 2r$

$$P_U = \frac{1}{1 + \frac{n-r}{r+1} \left(\frac{1}{F_U} \right)} \tag{7}$$

여기서, r : 불량수
 n : 시료크기
 F_U : 요구 신뢰수준과 아래 자유도에 대한 F분포 값
 $v_1 = 2(r+1)$
 $v_2 = 2(n-r)$

3.3 소집단간 신뢰도 비교 및 결합

대상품목의 상태기호별, 저장기간별, 제조사별 등으로 로트를 분류하여 분포를 확인하고, 이러한 분포를 고려하여 시험로트를 샘플링하여 평가를 한다. 이후 각각의 로트에 대한 신뢰도를 산출하고 이들 신뢰도를 비교, 분석하여 데이터의 유사성이 확인되면 전체 데이터를 결합하여 신뢰도를 산출할 수도 있다.

3.3.1 소집단간 신뢰도 비교

품목 내 로트 간 신뢰도, ASRP 시험년도 간 신뢰도, 군 사격결과와 ASRP 시험결과 간 신뢰도 비교에는 카이제곱 검정을 사용할 수 있다. 이 경우 모집단별로 신뢰도 즉, 성공확률이 동일한 확률을 갖는지 알아보하고자 하는 것이므로 동질성에 대한 카이제곱 검정이라 할 수 있다. 카이제곱 검정은 우선 집단별로 차이가 있는지에 관하여 귀무가설과 대립가설을 설정하고 교차분석표나 분할표를 작성하여 관측값과 기댓값 간의 차이를 계산하여 카이제곱 값을 구한다. 카이제곱 값과 임계치를 비교하여 차이가 있는지에 대한 가설을 검정하여 귀무가설을 채택하거나 기각할 수 있다. 카이제곱 검정법의 경우 표본크기에 의해 절대적으로 영향을 받으며 변수의 모든 범주의 칸에 기대빈도가 최소한 5이상이어야 한다. 일반적으로 기댓값이 5미만인 셀이 전체의 25%를 넘으면 카이제곱검정을 쓰지 않는 것이 좋다고 알려져 있다. 그렇지 않으면 카이제곱 값이 지나치게 커지게 되는 오류가 발생한다. 따라서 표본의 수가 적을 때는 대표본 근사방법보다는 피셔의 정확검정(Fisher's Exact Test)을 사용하여 추론한다. 그리고 기댓값이 작은 경우가 아니더라도, 관측값이 심하게 불균형을 이룰 경우에는 가능한 한 피셔의 정확검정을 사용하는 것이 좋다.

검정통계량은 다음 식과 같으며, 이의 자유도는 (r-1)(c-1)인 카이제곱분포를 이룬다[7].

$$\chi_o^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (8)$$

따라서 귀무가설에 대한 유의수준이 α 인 경우 기각 역은 다음과 같다. 검정통계량 값을 기각값과 비교하여 검정통계량 값이 더 크면 귀무가설을 기각한다.

$$\chi_o^2 > \chi_\alpha^2((r-1)(c-1)) \quad (9)$$

분할표의 자유도가 1인 경우는 검정통계량 값이 약간 높게 계산된다. 그래서 다음의 식과 같이 관측값-기댓값의 절대값에서 0.5를 뺀 다음 제곱하며, 이 방법을 야트보정이라 한다.

$$\chi_o^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(|O_{ij} - E_{ij}| - 0.5)^2}{E_{ij}} \quad (10)$$

3.3.2 소집단별 신뢰도 결합

품목별 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 제공하고 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 결합할 수 있다[8].

3.4 신뢰도 변화 추이 분석

3.4.1 저장기간에 따른 신뢰도 변화 추이

저장기간 또는 제조년도에 따른 신뢰도 변화추이는 회귀분석을 통해 파악할 수 있다. 이 경우 <그림 3>에서 보는 바와 같이 저장기간 또는 제조년도별 개별 로트에 대한 신뢰도 데이터를 이용하거나 동일 저장기간에 따른 시험결과를 누적하여 파악하는 방법과 저장기간별 여러 개의 로트의 신뢰도 데이터가 있거나 모집단의 신뢰도 구간추정을 통한 값을 활용하여 변화추이를

판단하는 방법을 활용할 수 있다.

만약 품목에 대한 요구 신뢰도 R이 정해져 있을 경우에 신뢰도 변화추이에 따라 저장기간 T인 시점을 확인할 수 있으며, 이 저장기간을 이 품목의 저장수명으로 판단할 수 있다.

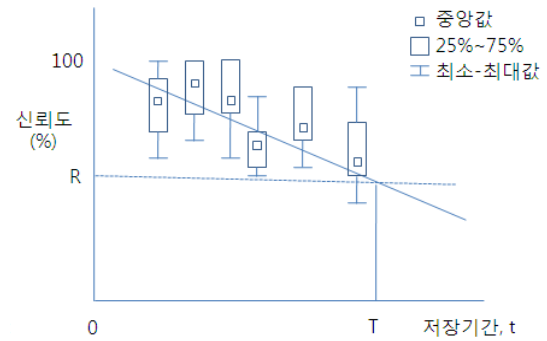


Fig. 3. Reliability trend analysis with storage time

3.4.2 시험주기에 따른 신뢰도 변화 추이

품목별 로트가 특정년도에 한정되어 있다면 한 번의 시험평가를 통해서 저장기간에 따른 신뢰도 변화추이를 파악하기 힘들다. 따라서 주기적인 시험결과를 누적하여 비교분석함으로써 신뢰도 변화추이를 파악할 수 있다. 시험주기별 신뢰도 변화가 곧 저장기간에 따른 신뢰도 변화로 볼 수 있다. 다만 매 시험주기간 시험항목, 시험조건 등이 동일해야 하며, 최소한 2회 이상 일 반적으로 3회 이상의 시험이 되어야 신뢰도 변화추이를 파악할 수 있다.

<그림 4>는 시험주기에 따른 품목의 신뢰도 변화추이로 해당 품목별 로트가 특정년도에 한정되어 있으므로 시험년도에서 제조년도를 빼면 곧 저장기간이 된다. 이렇게 시험을 몇 차례 진행하면 시험기간 경과에 따라 저장기간이 자동적으로 늘어나게 되어 결국에는 저장기간에 따른 신뢰도 변화추이를 확인할 수 있다.

이상과 같이 품목별 신뢰도 변화추이를 저장기간에 따른 신뢰도 변화와 시험주기에 따른 신뢰도 변화로 파악할 수 있다. 하지만 경우에 따라서는 저장기간에 따른 환경변화와 최초의 로트품질의 변동 등에 의해 신뢰도 변화추이의 경향성이 나타나지 않을 수도 있다. 이런 경우에는 <그림 3>과 <그림 4>에 나타난 회귀직선을 구하기 힘들거나 회귀직선을 얻더라도 로트별 신뢰도의 변동성이 크기 때문에 결정계수 값이 매우 낮아진다. 이 경우에는 분석에 사용한 회귀모형이 적합하지

않음을 의미하기 때문에 회귀모형을 재검토하거나 더 많은 표본을 추출하여 시험을 실시하여야 한다.

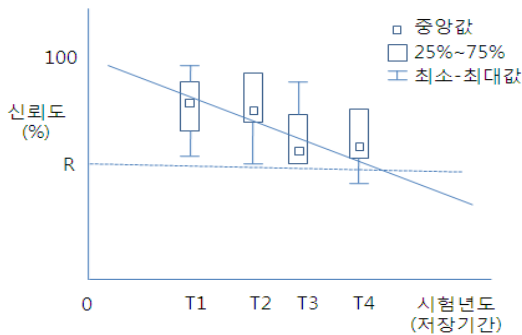


Fig. 4. Reliability trend analysis with test cycle

4. 품목 신뢰도 분석 사례

접근신관의 ASRP결과를 사례로 해서 앞에서 도출한 통계분석 기법을 적용하여 품목 신뢰도를 산출하였다. 신뢰도 산출에 사용한 접근신관 ASRP 자료는 '03년, '07년, '09년에 평가한 50개 로트에 대한 결과이다. <표 1>은 접근신관의 제조년도별 보유로트수와 시험년도별 평가로트수를 나타낸 것이다.

'03년에는 저장기간이 가장 오래되어 성능이 의심되는 '86년산 3개 로트와 비교대상으로 '96년산 2개 로트에 대해서 로트별로 평가를 실시하였다. 반면 '07년과 '09년 ASRP에서는 제조년도에 따라 평가로트를 고르게 선정하였으며 평가로트수도 대폭 증가시켜 품목별 평가 개념을 적용할 수 있을 수준이다. 이에 따라 시험결과 분석 및 평가가 어떻게 달라질 수 있는지 확인하고 품목별 평가 시 적용해야 할 사항들을 파악하였다.

4.1 접근신관 개요 및 기능결점

접근신관은 105MM, 155MM, 8인치 곡사포탄, 4.2인치 박격포탄 등에 사용하는 신관으로 탄이 목표물 접근 또는 충격 시 탄이 폭발되도록 기폭시켜주는 역할을 한다. <그림 5>는 접근신관의 작동순서를 나타낸 것이다.

<표 2>는 접근신관의 기능시험 시 발생하는 결점(defects)들을 치명결점, 중결점, 경결점으로 분류하여 나타낸 것으로 주로 접근기능에서 신관불발 및 충격작동되는 결점이 발생된다. 신관이 불발되면 탄을 기폭시킬 수 없기 때문에 중결점으로 구분하고, 접근기능에서

충격작동하는 것은 경결점으로 구분할 수 있다[9-11].

Table 1. The number of stockpile lot or test lot

year of manufacture	number of test lots	number of test lots			
		'03	'07	'09	total
'86	3	3	-	-	3
'87	11	-	2	2	4
'88	7	-	2	3	5
'89	7	-	2	-	2
'90	8	-	2	-	2
'91	6	-	2	1	3
'92	6	-	2	4	6
'93	6	-	2	4	6
'94	8	-	2	4	6
'95	4	-	2	2	4
'96	4	2	2	1	5
'97	2	-	-	2	2
'98	5	-	-	2	2
'99	5	-	-	-	-

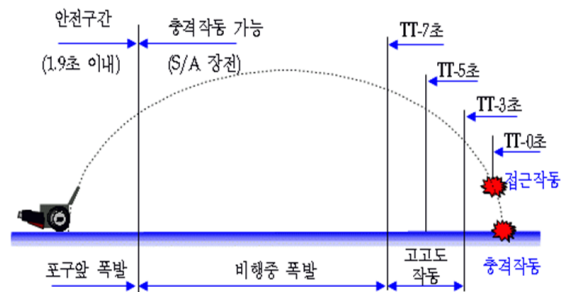


Fig. 5. The operating mechanism of proximity fuse

Table 2. The defect classification of proximity fuse

classification	defect list	note
critical	· premature · explosion on flight.	
major	· early Function · dud	frequently occur
minor	· inverse function (function ground)	

4.2 '03년도 ASRP결과 분석

'03년에 평가한 접근신관 로트들의 기능특성에 대한 신뢰도는 다음과 같다. 우선 <표 1>에서 보는 바와 같이 평가시점 기준으로 접근신관 로트들의 저장기간은 4년에서 17년까지 분포해 있으며, 시험대상으로는 저장기간이 7년, 17년된 로트들이 선정되었다[9]. '03년 ASRP 시험결과 5개 로트들의 신뢰도는 식 (1)을 사용하였고 신뢰수준 90%에서 신뢰하한값은 모집단 로트의 불량률을 추정하여 산출하였다. 로트별 불량률은 모두 10% 이내로 발사시험 로트수락 판정기준에 비해 낮았다. 각 로트에 대한 신뢰도 및 90% 신뢰하한값을 <표 3>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 로트별 신뢰도는 91.7~100%로 양호하였으며, 90%신뢰하한값도 82.4%이상으로 양호하였다.

Table 3. Results of 2003 test by the year of manufacture

year of manufacture	lot	no. of samples	no. of success	no. of fail	reliability (%)	90% lower confidence level
'86	86-1	36	34	2	94.4	85.9
	86-2	36	35	1	97.2	89.6
	86-3	36	36	0	100	93.8
'96	96-1	36	33	3	91.7	82.4
	96-2	36	35	1	97.2	89.6
total		180	173	7	96.1	93.5

로트 간 신뢰도 즉, 성공확률의 차이는 두 모비율 차이 검정과 동질성검정을 실시하고자 하였으나 분할표 간의 기댓값이 5보다 작게 나타나며 관측값이 심하게 불균형을 이루기 때문에 피셔의 정확검정을 사용하였다. 피셔의 정확검정 결과, 신뢰도가 가장 높은 86-3로트와 가장 낮은 96-1로트 간에도 p-value가 0.1197로 로트의 신뢰도 간에는 유의한 차이가 없는 것으로 판단되었다. 따라서 '03년도의 시험결과를 토대로 접근신관의 전력지수평가 및 전투준비태세 파악 등을 판단하기 위해서 품목 신뢰도를 한 값으로 표현하고자 데이터를 결합하여 전체 로트에 대한 신뢰도를 산출하였다. 그 결과 품목의 신뢰도는 96.1%, 신뢰수준 90%에서 신뢰하한값은 93.5%로 산출되었다.

제조년도 '86년과 '96년 두 모집단 간 신뢰도 즉, 성공확률에 대해서도 피셔의 정확검정을 실시하였다. <표 4>에서 보는 바와 같이 단측검정 p-value가 약 0.29로 유의수준 0.05, 0.10, 0.20으로 할 경우보다 크므로 두 모집단간 차이가 없다는 귀무가설을 기각할 수 없다. 즉, 두 모집단의 성공확률 간에는 차이가 없다고 판단할 수 있다.

Table 4. Fisher's Exact Test Results of 2003 test by the year of manufacture

events	'86	'96	Fisher's Exact Test Results
success	105	68	Table = [105, 68, 3, 4] Left : p-value = 0.908108 Right : p-value = 0.286474
fail	3	4	2-Tail : p-value = 0.439944

이와 같이 '03년 ASRP 시험결과를 종합해 보면 제조년도 '86년과 '96년의 로트 간 신뢰도 차이는 없으며, 저장기간 경과에 따른 신뢰도 저하도 없는 것으로 판단된다. 이러한 이유는 시험년도 기준으로 저장기간 7년과 17년이 접근신관의 성능에는 큰 영향을 미치지 못했기 때문이다. 따라서 '03년 ASRP 결과로부터 품목 신뢰도를 산출한다면 전체 자료를 결합하여 구해진 93.5%를 접근신관의 신뢰도로 제안할 수 있다.

하지만, '03년 ASRP결과는 전체 보유로트 대비 시험로트수가 작고 특정 제조년도 로트만 샘플링한 것으로 대표성이 취약하다는 한계가 있으므로 제조년도가 '86년, '96년으로 한정된 신뢰도로 볼 수 있다.

4.3 '07년도 ASRP결과 분석

'07년 ASRP시험은 '87~'96년에 제조된 로트에 대해서 연도별로 2개 로트를 시험하였다[10]. ASRP평가년도 기준으로 시험 로트들의 저장기간은 11년에서 20년이었다. 시험 로트의 개별 신뢰도를 제조년도별로 도시하면 <그림 6>과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 로트 신뢰도는 최저 22.2%에서 최대 100%이며, 신뢰수준 90%에서 신뢰하한값은 각각 13.4~93.8% 범위를 나타내고 있다. 제조년도가 '88~'92년인 로트들의 신뢰도가 80%미만으로 나타나며, 로트 간의 신뢰도 편차가 크게 나타나는 것을 쉽게 확인할 수 있다.

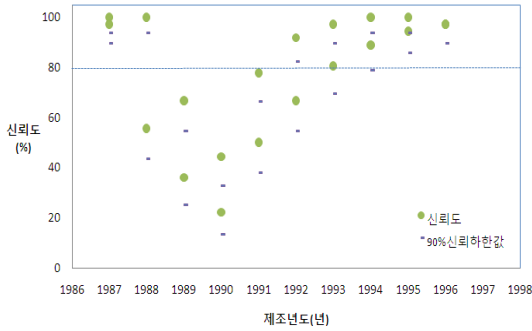


Fig. 6. Reliability of 2007 test lots by the year of manufacture

<표 5>는 제조년도별 신뢰도를 나타낸 것으로 제조년도가 '88~'92년인 것과 그 외 제조년도의 신뢰도 간 차이가 큰 것을 알 수 있다. 제조년도가 '88~'92년인 경우 신뢰도는 79.2%이하이며, 나머지 제조년도의 경우에는 88.9%이상으로 많은 차이를 나타내며, 90% 신뢰하한값의 경우에도 많은 차이를 보여주고 있다.

Table 5. Results of 2007 test by the year of manufacture

year of manufacture	no. of samples	no. of success	no. of fail	reliability (%)	90% lower confidence level
'87	72	71	1	98.6	94.7
'88	72	56	16	77.8	70.2
'89	72	37	35	51.4	43.2
'90	72	24	48	33.3	26.0
'91	72	46	26	63.9	55.7
'92	72	57	15	79.2	71.7
'93	72	64	8	88.9	82.6
'94	72	68	4	94.4	89.2
'95	72	70	2	97.2	92.8
'96	72	70	2	97.2	92.8
총합	720	563	157	72.1	69.5

제조년도별로 2개 그룹으로 구분하여 피서의 정확검정결과, <표 6>과 같이 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이처럼 '07년 ASRP결과는 '03년 ASRP에서 얻을 수 없는 더 많은 정보들을 얻을 수 있었으며, 이로 인해 이 품목의 제조년도별 신뢰도 차이를 파악할 수

있었다. 이와 같이 품목별 신뢰성평가를 위해서는 저장성에 영향을 미치는 인자들을 고려해서 로트 샘플링을 하는 것이 매우 중요하다는 것을 알 수 있다.

Table 6. Fisher's Exact Test Results by the year of manufacture

events	86~87 93~98	88~92	Fisher's Exact Test Results
success	343	220	Table = [343, 220, 17, 140] Left : p-value = 1.000000 Right : p-value = 2.2053e-31
fail	17	140	2-Tail : p-value = 4.4162e-31

4.4 '09년도 ASRP결과 분석

'09년 ASRP시험[11]을 실시한 접근신관 로트들의 저장기간은 평가년도 기준으로 11년에서 22년이었다. <그림 7>은 '09년 시험결과, 제조년도별 로트신뢰도를 나타낸 것으로 로트별 신뢰도는 16.7%~100%, 신뢰수준 90%에서 신뢰하한값은 9.0%~93.8%로 나타났다. 이는 '07년도 시험결과와 유사하게 '88~'92년에 생산된 로트에서 불량률이 많이 발생했기 때문이며, 제조년도별 피서 정확검정 결과도 같은 추세를 보여주었다.

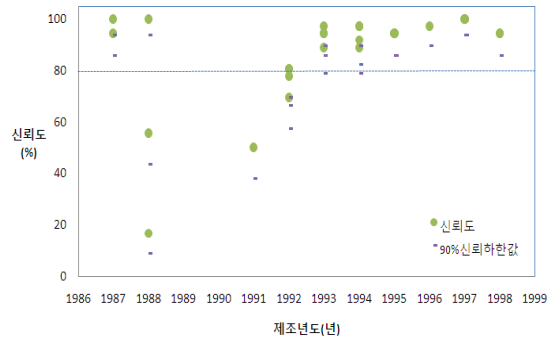


Fig. 7. Reliability of lots by the year of manufacture (2009 test)

<표 7>은 제조년도별 신뢰도를 나타낸 것으로 제조년도가 '88~'92년인 것과 그 외 제조년도의 신뢰도 간 차이가 큰 것을 알 수 있다. 제조년도가 '88~'92년인 경우 신뢰도는 77.1%이하이며, 나머지 제조년도의 경우에는 93.8%이상으로 많은 차이를 나타내고 있다.

제조년도별로 2개 그룹으로 구분하여 피서의 정확검정결과, <표 8>과 같이 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 7. Results of 2009 test by the year of manufacture

year of manufacture	no. of samples	no. of success	no. of fail	reliability (%)	90% lower confidence level
'87	72	70	2	97.2	92.8
'88	108	62	46	57.4	50.8
'89	-	-	-	-	-
'90	-	-	-	-	-
'91	36	18	18	50.0	38.2
'92	144	111	33	77.1	72.0
'93	144	135	9	93.8	90.3
'94	144	135	9	93.8	90.3
'95	72	68	4	94.4	89.2
'96	36	35	1	97.2	89.6
'97	72	72	0	100	96.9
'98	72	68	4	94.4	89.2
총합	900	774	126	86.0	84.4

Table 8. Fisher's Exact Test Results of the manufacture's year

events	86~87 93~98	88~92	Fisher's Exact Test Results
success	583	189	Table = [583, 189, 29, 97] Left : p-value = 1.000000 Right : p-value = 1.3535e-29 2-Tail : p-value = 1.3535e-29
fail	29	97	

4.5 데이터 결합 및 종합분석

접근신관의 3개 시험년도별 결과를 종합하여 품목 신뢰도를 산출하기 위해서는 데이터 결합을 해야 한다. 데이터 결합을 위해서는 3.3.2절에서 제시한 바와 같이 결합하고자 하는 소집단의 데이터가 통계적 특성이 유사해야 한다. 앞에서 살펴본 바와 같이 제조년도가 '88~'92년인 것과 그 외 제조년도의 신뢰도 간 차이가 큰 것을 알 수 있으며, 제조년도별 신뢰도 경향이 유사하므로 '03년, '07년, '09년 시험결과를 종합하여 <표 9>에 나타내었다.

<표 9>에 나타난 바와 같이 접근신관의 전체신뢰도는 83.9%이며, 제조년도별로는 33.3~100%로 그 범위가 넓은 것을 알 수 있다. '88~'92년 제조된 접근신관

의 신뢰도는 33.3~77.8% 범위에 있으며, 결합신뢰도는 63.4%이고 신뢰수준 90%에서 신뢰하한값은 60.9%이다. 반면 그 외 제조년도의 접근신관 신뢰도는 92.1%~100%이고 신뢰수준 90%에서 신뢰하한값은 94.5%로 매우 높다. 또한 제조년도 간의 신뢰도 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

Table 9. Reliability by the year of manufacture

year of manufacture	no. of samples	no. of success	no. of fail	reliability (%)	90% lower confidence level
'86	108	105	3	97.2	93.9
'87	144	141	3	97.9	95.4
'88	180	118	62	65.6	60.6
'89	72	37	35	51.4	43.2
'90	72	24	48	33.3	26.0
'91	108	64	44	59.3	52.6
'92	216	168	48	77.8	73.7
'93	216	199	17	92.1	89.2
'94	216	203	13	94.0	91.3
'95	144	138	6	95.8	92.8
'96	180	173	7	96.1	93.5
'97	72	72	0	100	96.9
'98	72	68	4	94.4	89.2
총합	1,800	1,510	290	83.9	82.7
88~92	648	411	237	63.4	60.9
86~87 93~98	1,152	1,099	53	95.4	94.5

신뢰도 값이 90%보다 높은 제조년도와 그렇지 않은 제조년도의 신뢰도를 소집단으로 구분하여 피서의 정확검정을 수행한 결과 <표 10>과 같으며 '88~'92년 결과와 나머지 제조년도간에는 신뢰도에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 접근신관의 신뢰도는 '88~'92년 자료를 제외하고 산출한 94.5%로 하는 것이 타당하다.

<그림 8>은 신뢰도 차이가 있는 소집단을 서로 구분하여 시험주기별 시험결과를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 신뢰도가 90%보다 높은 소집단은 신뢰도 변화가 거의 없는데 반해 신뢰도가 낮은 소집단은 수락시험결과는 유사하였으나 저장기간이 10년 이상

경과한 '07년 시험에서는 신뢰성이 저하된 것으로 나타났다. 이는 저장 중 '88~'92년에 제조된 로트들이 저장 신뢰성 저하가 심했던 것으로 해석할 수 있다. 특히 '90년 제조된 로트의 신뢰도가 가장 낮게 나타났으며, 해당 제조년도 시험로트가 많은 07년도 ASRP시험 시 신뢰도가 가장 낮았다. 시험주기별 시험결과를 분석한 결과, 특정 제조년도 로트가 수락시험에서는 신뢰도 차이를 확인할 수 없었으나 일정기간 경과 후의 저장신뢰성 차이를 확인할 수 있었다.

Table 10. Fisher's Exact Test Results of combined data by reliability level

events	86~87 93~98	88~92	Fisher's Exact Test Results
success	1,099	411	Table = [1099, 411, 53, 237] Left : p-value = 1.000000
fail	53	237	Right : p-value = 7.8879e-69 2-Tail : p-value = 7.8879e-69

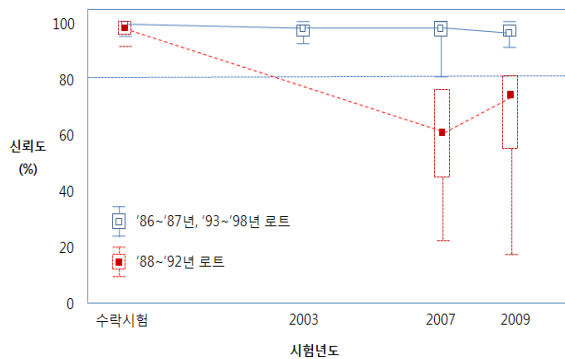


Fig. 8. Results by test-cycles('03, '07, '09 test) and production groups('88~'92 or else)

지금까지 살펴본 결과에서 알 수 있듯이 만약 '03년 ASRP 시험결과만으로 이 접근신관의 신뢰도를 확인하였다면 '86년과 '96년 제조된 로트의 신뢰도를 보고 저장기간 또는 제조년도에 따른 신뢰도 변화가 나타나지 않는 것으로 판단할 수밖에 없었을 것이다. 하지만 '07년, '09년 ASRP 시험결과를 통해 알 수 있듯이 품목 전체 재고에 따라 제조년도별 로트를 표본으로 취함으로써 '88~'92년까지 제조된 로트들의 신뢰도가 저하되었을 뿐만 아니라 로트 간의 신뢰도 차이가 많이 나는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 저장탄약의 품목별 신뢰도를 산출하기 위해서는 제조년도별 현황을 분류하고

전체 품목을 대표할 수 있도록 표본 로트를 선정하는 무엇보다도 중요하며, 다양한 관점에서 통계분석 기법을 적용한 분석이 이루어져야만 한다.

결론

본 연구에서는 저장탄약의 신뢰성평가를 현재의 로트단위 평가에서 품목단위 평가 체계로 전환하기 위한 개념 검토와 저장탄약의 신뢰성을 평가하기 위한 통계적 기법들을 살펴보았다. 또한 접근신관의 신뢰도 산출 사례를 통해서 저장탄약의 신뢰도를 품목단위로 제시하고 신뢰도 변화를 예측할 수 있는 방안에 대해 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, ASRP를 수행하는 모집단의 범위를 로트에서 품목으로 확장함으로써 품목 신뢰도뿐만 아니라 제조년도간, 시험년도간 차이 등 많은 신뢰도 정보를 얻을 수 있고 시험평가비용도 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 품목별 신뢰도평가에 필요한 단순 신뢰도 산출 및 소집단별 데이터 결합을 통한 신뢰도 산출, 피서의 정확검정 등 통계분석방법을 제시하고 사례를 통해 실 적용가능성을 확인하였다.

셋째, 접근신관에 대해서 제조년도별 신뢰도를 산출하고, 일부 제조년도를 제외한 품목의 신뢰도를 산출하였다. 품목 신뢰도는 약 94.5%이며, 저장기간에 따른 신뢰도 저하현상은 나타나지 않은 것을 확인하였다.

넷째, 제조년도별 신뢰도 비교분석을 통해 분석대상 접근신관의 신뢰성은 저장기간에 따른 저하보다는 제조년도 및 로트 간 차이가 큰 것을 확인하였다.

다섯째, 품목별 신뢰도를 정확히 산출하기 위해서는 품목 모집단의 특성을 고려하여 시험로트를 샘플링하는 것이 중요함을 알 수 있었다.

본 연구에서 얻어진 품목별 신뢰도 분석기법은 박격포탄, 곡사포탄 등 다양한 저장탄약의 품목 신뢰도를 산출하는데 활용할 수 있을 것이다. 그리고 본 연구에서 얻어진 신뢰도와 수락시험 시 신뢰도를 비교하여 향후 신뢰도 변화추세를 예측함으로써 적정 시험주기 설정은 물론 탄약의 획득, 정비, 폐기 등 탄약정책 수립에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] Kim, Youngseub, et al.(2010), *Introduction to de-*

- fense quality management*, Hyungseul publishing network, pp. 284-292.
- [2] Lee, Jongchan, et al.(2007), "A study on the shelf-life prediction of the single base propellants using accelerated aging test", *Journal of korean society for quality management*, Vol. 35, No. 2, pp. 45-52.
- [3] Yoon, Keunsig, et al.(2006), "A case study of Six Sigma for improving non-function test process in the ammunition stockpile reliability program", *Journal of korean society for quality management*, Vol. 34, No. 4, pp. 13-21.
- [4] Sim, hanggeun et al.(2009), "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.
- [5] Ministry of Defence(2008), "Reliability and Maintainability(R&M) Assurance Activity Part 1 One-Shot Devices/ Systems", *Defence Standard 00-42*, Part 1, Issue 2, pp. 1-23.
- [6] Edward R. Sherwin(2004), "Analysis of "One-Shot" Devices", *Selected Topics in Assurance Related Technologies*, Vol. 7, No. 4, pp. 1-4.
- [7] Nam, chunhyun and Kim, Hwanjung(2005), *Introduction to modern statistics*, Shinyoungsa.
- [8] Jorge Luis Romeu(2008), "Combining Data", *Selected Topics in Assurance Related Technologies*, Vol. 11, No. 1, pp. 1-8.
- [9] Ko, Hongseok, et al.(2004), *The report on the ASRP's Activities in 2003*, DQAA-04-992-T, Defense Agency for Technology and Quality, pp. 190-206.
- [10] Kim, Younghwa, et al.(2008), *The report on the ASRP's Activities in 2007*, DTaQ-08-1693-T, Defense Agency for Technology and Quality, pp. 318-331.
- [11] Na, Sangeon et al.(2010), *The report on the ASRP's Activities in 2009*, DTaQ-10-2235-T, Defense Agency for Technology and Quality, pp. 200-215.

2012년 1월 16일 접수, 2012년 4월 30일 1차 수정, 2012년 7월 9일 2차 수정,
2012년 8월 20일 3차 수정, 2012년 9월 8일 채택