

저장탄약신뢰성평가 데이터를 이용한 기계식시한신관 KM577A1 저장수명 추정 연구

이동녜[†] · 윤근식

국방기술품질원

A Study on the Estimation of Shelf Life for Fuze MTSQ KM577A1 from ASRP Data

Dongnyok Lee[†] · Keunsig Yoon

Defense Agency for Technology and Quality

Purpose: The purpose of this study is to estimate shelf life of fuze MTSQ (Mechanical Time & Super Quick) KM577A1 from Ammunition Stockpile Reliability Program (ASRP) data.

Methods: For many years, ammunition test data had been gathered from ASRP. In this study, lot selection criteria and reliability score of functioning time for fuze are proposed. Reliability score of functioning time and failure data are used to estimate shelf life.

Results: The results of this study are as follows; The failure modes of fuze MTSQ KM577A1 are dud, inverse function and mechanical time functioning failure (not operating in intended time). Dud and inverse function are major failure modes. Fuze MTSQ KM577A1's shelf life (B_5) is estimated 18.2 years conservatively.

Conclusion: Degradation of chemical components in fuze MTSQ KM577A1 is major factor for its reliability. And shelf life (B_5) of fuze MTSQ KM577A1 is estimated 18.2 years conservatively.

Keywords: Ammunition Stockpile Reliability Program, One-shot Device, Fuze, Shelf Life

1. 서론

탄약은 수명기간 동안 지속적으로 사용하는 것이 아니라 단 한 번 기능을 발휘하고 파괴되는 One-shot Device(혹은 One Time Use Device)이다. One-shot Device는 목적에 적합한 환경을 조성하여 사용해 보기 전에는 해당 제품의 성능이나 안전성을 확인할 수 없으며 요구되는 신뢰도가 매우 높고 이로 인해 고장의 발생 빈도가 낮다. 기동장비 등의 무기체계는 저장

기간이 거의 존재하지 않고 전 수명 간 지속적으로 사용되어 고장이 발생할 경우 확인할 수 있으나 탄약은 저장기간 동안 작동되지 않으므로 저장 중에는 고장을 발견할 수 없다. 탄약은 저장수명 기간 동안 신뢰도가 서서히 저하되므로 주기적으로 상태를 확인해야만 한다[1].

국내 저장된 탄약의 성능과 안전성을 확인하기 위해 저장탄약신뢰성평가(ASRP; Ammunition Stockpile Reliability Program)를 실시하고 있다. 1998년 국방부

[†] 교신저자 dnlee@dtaq.re.kr

로부터 국방기술품질원이 저장탄약신뢰성평가 종합 관리부서로 지정되었고 1999년부터 저장탄약신뢰성 평가 업무를 주관하고 있다. 저장탄약신뢰성평가는 군에 저장 중인 탄약에 대하여 주기적으로 비기능시험(육안검사), 기능시험(사격시험) 및 저장분석시험(이화학시험)을 실시하고 사용 가능성과 안전성을 평가한다. 평가결과에 따라 탄약은 계속저장, 조건부 불출, 우선불출, 폐기 등으로 탄약상태기호(Condition Code)가 부여된다.

현재까지 저장탄약신뢰성평가는 로트 단위 평가이다. 로트 단위로 평가할 경우 탄약의 관리에는 유용하지만 품목의 신뢰도를 파악하거나 전체적인 로트 사이 또는 시험년도 사이의 신뢰도를 비교하는데 한계가 있다. 또한 탄약의 성능데이터와 수명데이터는 사격을 통해서 얻을 수 있으나 평가에 소요되는 비용과 시간뿐만 아니라 안전 등의 이유로 시료수에 제약이 있고 탄약의 높은 신뢰도로 인해 고장의 발생 빈도가 낮아 저장수명을 추정하는 데 어려움이 있다.

로트 단위 평가의 한계를 해결하기 위하여 탄약 품목별 신뢰도 추정 연구[2], 추진장약의 신뢰도와 저장수명 추정 연구[3] 등 탄약의 신뢰성을 품목단위로 평가하는 방법에 대한 연구가 이루어져 왔다. 또한 가속 열화시험을 통해 신관구성품의 저장수명을 예측하는 연구[4], 추진제의 수명연장[5], 의약품 사용기간평가 기법을 활용하여 저장탄약의 최초시험연수를 결정하는 연구[6] 등 탄약의 저장수명을 추정하기 위한 연구가 지속적으로 수행되고 있다.

본 연구에서는 저장탄약신뢰성평가 대상탄약 중에서 기계식시한신관 KM577A1의 저장수명을 추정하고자 하였다. Chang *et al.*[4]이 신관 구성부품에 한정하여 저장수명을 추정했던 것과는 달리 신관 완성품의 저장탄약신뢰성평가 데이터를 이용하여 저장수명을 추정하였다. 이를 위해 로트 단위의 저장탄약신뢰성평가 결과로부터 품목의 저장수명 추정에 필요한 로트선별기준을 제시하였다. 또한 기계식시한신관 KM577A1의 성능데이터와 수명데이터를 분석하는 방법을 제시하고 이를 통해 저장수명을 추정하였다. 기계식시한신관 KM577A1의 성능데이터는 신뢰성점수를 정의하여 저장기간에 따라 변화하는 추이를 분석하였고 수명데이터는 보수적 추정방법에 따라 저장수명을 추정하였다.

2. 기계식시한신관 KM577A1 제원과 특징

신관은 저장이나 이동시에는 안전한 상태를 유지하고 발사 후 목표물에 명중하거나 정해진 시간에 소정의 작동을 하여 탄체를 폭발시키는 장치이다. 신관의 주요 기능은 안전, 장전 및 기폭이라고 할 수 있다. 안전기능은 탄약을 저장, 수송 또는 취급할 때 안전한 상태로 유지하도록 해주는 기능이다. 장전기능은 발사 이후에 폭발계열(Explosive Train)을 정렬시키고 스위치들을 연결/차단하며 논리회로 등을 동작시켜 목적하는 조건이 형성될 때 신관이 즉각 작동할 수 있는 상태를 갖추는 것이다. 기폭기능은 목적하는 지점이나 시간에 탄두를 폭발시키는 기능이며 기폭 방식에 따라서 충격신관, 시한신관, 접근신관 등으로 구분할 수 있다.

시한신관은 사용자가 설정한 시간에 기폭되며 자동이나 수동으로 시간을 설정한다. 시한신관은 화공부품으로 연소시간을 조절하는 연소형 신관과 시계치차의 작동원리를 사용하는 기계식 신관이 있으며 전자식으로 시한장치를 설계한 신관도 운용되고 있다[7].

기계식시한신관 KM577A1은 시한기능과 충격기능이 있다. 시한기능은 기계식으로 작동하고 2~200초까지 0.1초 단위로 조정이 가능하다. 탄두의 직경이 105mm, 155mm, 4.2inch인 탄약 중 조명탄과 DPICM (Dual-Purpose Improved Conventional Munition)과 같이 공중에서 폭발하는 형태의 탄체(Air-burst carrier-type projectile)에 결합하여 사용할 수 있다. 기계식시한신관 KM577A1의 폭발계열은 격침 → KM94 기폭관(Detonator) → KPA510 연결관(Lead) → 전폭약(Booster) 순이다. 기계식시한신관 KM577A1의 형상은 <Fig. 1>과 같고 사양은 <Table 1>과 같다[8].

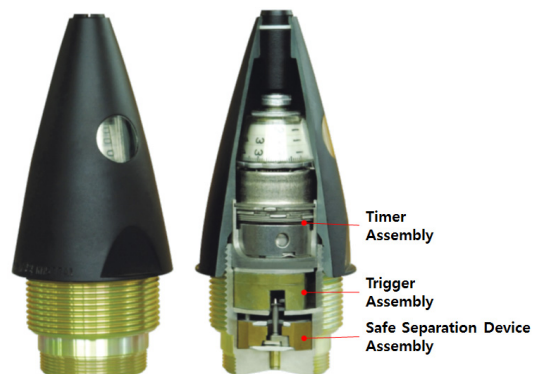


Fig. 1 Configuration of KM577A1

Table 1 Specification of KM577A1

Type	MTSQ (Mechanical-Time & Super Quick)
Length(Overall)	133.91mm
Diameter(Overall)	61.34mm
Weight(Overall)	311g
Setting Time	2~200sec
Temperature Range	Operating: $-37^{\circ}\text{C}\sim+63^{\circ}\text{C}$ Storage: $-54^{\circ}\text{C}\sim+74^{\circ}\text{C}$

기계식시한신관 KM577A1의 고장모드(Failure Mode)는 시한실패와 시한시간이탈로 분류할 수 있다. 시한 실패는 신관 기폭이 되지 않는 불발(Dud)과 설정된 시간에 공중에서 기폭되지 않고 지면에 충돌 후 폭발하는 역기능(Inverse Function)이다. 시한시간이탈(Time Function Failure)은 신관의 작동 시간이 규정된 요구 범위에 미달하거나 초과하여 공중에서 기폭하는 것이다.

Chang *et al.*[4]은 가속열화시험을 통한 기계식시한신관 KM577A1용 Lead Azide계 기폭관의 저장수명 연구에서는 10% 반폭 발생 시점을 기준으로 저장수명이 약 22.4년일 것이라고 추정하였다. 반폭은 신관의 폭발계열에서 기폭관과 연결관까지 폭발이 되었지만 폭발 에너지의 부족으로 전폭약이 폭발하지 않는 것이다.

3. 데이터 특징과 분석방법

3.1 저장탄약신뢰성평가 데이터 특징 및 선별기준

One-shot Device는 장기간 저장되기 때문에 마모인자가 아닌 자연적인 스트레스로 인한 구성품의 열화가 시스템 고장의 주요 원인이다[9]. One-shot Device는 시험 전에는 고장 데이터를 수집할 수 없으므로 <Fig. 2>와 같이 특정 시점에서 시험이나 검사에 의존하여 데이터를 수집한다. 저장탄약신뢰성평가 데이터 역시 특정 시점에서 시험과 검사를 통해 얻어진 데이터이다. 저장탄약신뢰성평가 데이터는 제조 당시의 품질뿐만 아니라 저장기간 동안의 환경적 영향으로 인한 품질이 동시에 반영된다.

저장탄약신뢰성평가는 로트 단위 평가로 각 로트에서 샘플링된 일정수의 시료를 평가한다. 로트 단위 저장탄약신뢰성평가 데이터는 다음과 같은 특징이 있다. 로트단위 저장탄약신뢰성평가 데이터는 초도생산물 로트와 양산물 로트를 구분하여 평가하지 않으며 각 로트마다의 사용가능성과 안정성을 중심으로 데이터를 관리한다. 국방규격에서는 최초 생산 후 3개 로트까지는 초도생산물로 정하고 있으며 그 이후 생산품부터 양산물 로트에 해당한다. 초도생산품의 경우 품목의 생산품질이 안정되기 이전으로 균질한 공정품질수준이 확보되지 않음으로 인해 수명에 영향을 줄 수 있는 요인이 내포될 수 있다.

품목의 신뢰성과 저장수명을 평가하기 위해서는 각

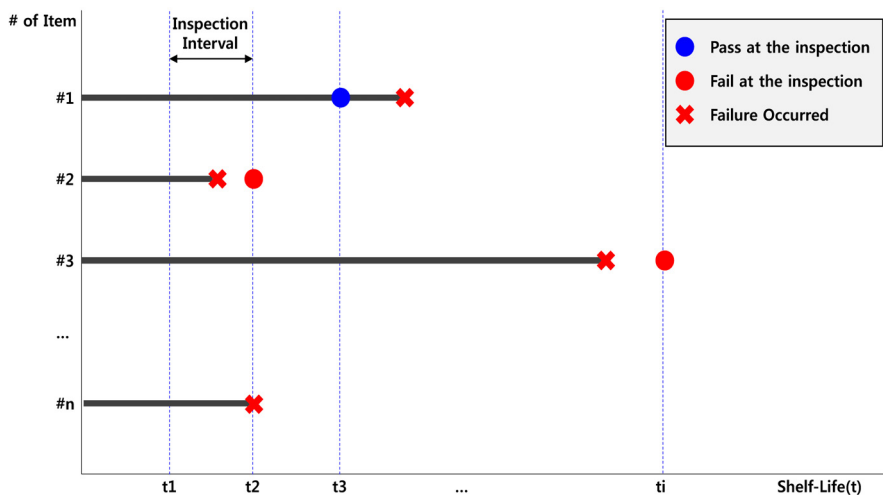


Fig. 2 Conceptual description of one-shot device's test data

로트의 고장 특성과 평가결과를 파악한 후 저장수명 추정에 적합한 데이터를 갖는 로트를 선정해야 한다. 만약 특정 로트에서 발생하는 고장특성을 저장수명 추정에 반영한다면 결과가 왜곡될 수 있다. 이에 로트 단위 저장탄약신뢰성평가 결과로부터 품목의 저장수명 추정을 위해 필요한 로트 선별 기준을 다음과 같이 정하였다.

첫째, 초도생산품 로트는 제외한다. 품질이 안정화 되기 전에 생산된 초도품의 경우, 생산과정에 내재된 품질문제가 수명에 영향을 미칠 수 있으므로 초도생산품에 대한 신뢰성 분석은 개별 로트로 평가하는 것이 타당하다.

둘째, 제조상 결함이나 환경적 요인(고온/저온/다습한 환경에서 저장, 침수 등)으로 인해 발생한 로트의 고유한 고장이라고 판단되는 로트는 제외한다. 이러한 로트는 품목의 저장수명 추정을 왜곡시킬 수 있으므로 개별 로트로 평가하는 것이 타당하다.

셋째, 저장기간 중 정비되어 부품이 교체된 로트는 제외한다. 탄약은 저장기간 중에 구성품을 교체하는 개수정비(Renovation Maintenance)를 실시하기도 한다. 개수정비된 로트의 경우는 수명에 영향을 미치는 구성품이 교체된 것으로 품목에 대한 대표성을 갖지 못한다. 그러므로 개수정비된 로트는 개별 로트로 평가하여 사용여부를 판단하는 것이 타당하다.

3.2 시한신관 성능데이터 특징 및 분석방법

성능데이터는 시간이 경과됨에 따라서 제품의 성능이 저하되는지를 측정된 자료로서 정해진 제품 특성에 따라 치명적 수준까지 성능이 저하될 경우 고장으로 판정하는 데이터이다[10]. 시한신관의 성능데이터는 시한시간(Functioning Time)이 있다. 시한시간은 발사 후 기폭이 되기까지 측정된 시간이다. 시한시간에 대한 규격상한(USL: Upper Specification Limit)과 규격하한(LSL: Lower Specification Limit)은 규격서와 시험절차서에 제시되어 있으며 기계식시한신관KM577A1의 시한시간에 대한 규격상한 및 하한은 <Table 2>와 같다.

성능데이터는 연속적인 값의 계량형 데이터로서 정해진 범위를 벗어났을 때 고장으로 분류할 수 있다. 또한 성능데이터는 적절한 신뢰성 지표를 정의하여 그 지표값이 허용된 수준을 벗어날 때까지의 기간으로 수명을 추정할 수도 있다.

Table 2 Functioning time criteria of KM577A1

Time Setting(sec)	Time Criteria (sec)
20.0	18.75~21.25
28.0	26.44~29.56
53.0	50.44~55.56
57.0	54.50~59.50
60.5	57.90~63.10
75.0	72.00~78.00

Park and Ham[11]은 동일한 제품군에서 선진 제품의 신뢰성 수준과 국산 제품의 신뢰성 수준을 정량적으로 비교하기 위해 신뢰성지수(RI: Reliability Index)를 제안하였다. 제품 초기 특성값 산포, 환경시험 후의 특성변화율, 제품설계여유도, 제품수명 또는 고장률의 4가지 항목을 신뢰성점수(RS: Reliability Score)로 정하였다. 신뢰성점수와 항목에 대한 가중값을 이용하여 식 (1)과 같이 신뢰성지수를 정의하였다.

$$RI(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times RS_{O_i}}{\sum_{i=1}^n w_i \times RS_{T_i}} \times 100\% \quad (1)$$

식 (1)에서 w_i 는 i 번째 신뢰성점수의 가중값, RS_{O_i} 는 대상 제품의 i 번째 항목에 대한 신뢰성점수이고 RS_{T_i} 는 대상 제품과 동일한 제품군에서 세계적으로 가장 우수한 신뢰성을 갖는 제품의 i 번째 항목에 대한 신뢰성점수이다.

Park and Ham[11]이 동일한 제품군 안에서 세계적으로 가장 우수한 신뢰성을 갖는 제품을 기준으로 신뢰도를 비교하는 것과는 달리 본 연구에서는 동일 제품(혹은 로트)의 저장기간에 따른 신뢰도를 비교해야 한다. 이를 위해서는 생산 직후(저장기간(t) = 0)의 신뢰성점수를 기준으로 저장기간에 따라 신뢰성지수의 추이를 분석하거나 저장기간에 따라서 신뢰성점수의 추이를 분석하는 방법을 적용할 수 있다.

본 연구에서는 생산 직후(저장기간(t) = 0)의 신뢰성점수를 얻을 수 없으므로 후자를 선택하였다. Park and Ham[11]이 제시한 4가지 신뢰성점수 중에서 공정능력지수를 이용하여 특성값의 산포를 점수화한 점에 착안하여 시한시간 신뢰성점수(RS_t)를 정의하였다. 시한시간 신뢰성점수(RS_t)는 식 (2)와 같이 공

정능력지수의 계산식에 따라 정의하였으며, 저장기간에 따라 변화하는 추이를 분석하면 특정 수준 이하로 낮아질 때까지의 저장수명을 추정할 수 있다.

$$RS_i = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right) \quad (2)$$

$$= (1 - K) \times \left(\frac{USL - LSL}{6\sigma}\right)$$

$$K = \frac{|0.5 \times (USL + LSL) - \mu|}{0.5 \times (USL - LSL)} \quad (0 \leq K < 1)$$

여기서, USL : 규격상한(Upper Specification Limit)

LSL : 규격하한(Lower Specification Limit)

K : 치우침도

μ : 평균

σ : 표준편차

공정능력평가에서는 공정능력지수가 1.33 이상일 경우, 공정능력이 충분하다고 평가하며 이때의 고장은 백만 단위당 63개(0.0063%)이다[1]. 이와 같이 만약 시험시간 신뢰성 점수(RS_i)가 1.33 이상이면 시험시간에 대한 신뢰도는 충분하다고 판단할 수 있다.

3.3 시험신관 수명데이터 특징 및 분석방법

수명데이터는 어떤 제품이 의도된 기능을 제대로 수행하고 있거나 고장인지의 여부에 의해 얻을 수 있는 데이터로서 고장까지의 기간에 관한 척도(시간, 사이클 수 등)로 표현된다. 수명데이터는 완전데이터, 관측중단데이터, 구간데이터, 다중관측중단데이터, 계수형 데이터 등의 유형이 있다[10]. 시험신관의 수명데이터는 성공과 실패로 표현되는 계수형 데이터이면서 임의관측중단 데이터이다.

One-shot Device는 이항분포를 이용하여 시료 크기 n 에서 고장이 r 번 발생할 확률을 식 (3)과 같이 표현할 수 있다. 여기서 p 는 로트가 합격할 수 있는 하한의 수준인 LTPD(Lot Tolerance Percent Defective)이다[12].

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

여기서, p : Proportion defective(or failure)

n : Sample size

r : Number defective(or failure)

$P(r)$: Probability of getting exactly r defective

or failed units in a sample of n units

하지만 이항분포는 모집단이 무한하다는 가정 하에 시행되므로 로트의 크기가 작고 채취한 시료가 상대적으로 큰 비율(30% 이상)을 차지할 때에는 합격확률이 과대 추정되어 이항분포를 사용하는 것은 부적절하다[2].

식 (3)에 따라 시료 n 개 중에서 k 또는 그 이하의 고장률을 계산하기 위해서 식(4)와 같이 각각의 고장이 발생 확률을 합하면 된다. 또한 n 개의 시료에서 k 또는 그 이하의 고장이 발생할 확률 P 에 대한 신뢰수준은 식 (5)와 같다[12].

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

$$Confidence\ Level = CL = 1 - P(r \leq k) \quad (5)$$

저장탄약신뢰성평가에서 얻어지는 고장은 시험 시점에서 발생한 고장이 아니며 시험 시점까지의 누적 고장을 의미한다. 과거 실험데이터를 이용하지 않고 현 시점에서의 실험 데이터만을 이용하여 신뢰도를 분석하는 비누적방식이 아닌 현재 시점까지 확보한 모든 데이터를 이용하여 신뢰도를 추정하는 누적방식으로 시간 t_i 까지의 신뢰도를 식 (6)을 이용하여 구할 수 있다[2]. 누적방식은 시간에 따른 신뢰도 값들이 크게 변화하지 않는 경우에 비누적방식보다 더 정확하게 신뢰도를 추정할 수 있기 때문에 시간에 따른 신뢰도 저하 속도에 비해 평가주기가 짧아 평가 시의 신뢰도가 거의 동일한 경우에는 누적방식을 사용할 수 있다[13]. 이러한 방법은 비모수 추정방법이라고 하는데 고장에 대한 분포 정보를 고려하지 않고 데이터를 이용하여 직접 신뢰도를 추정하는 방법이다[2].

$$\hat{R}(t_i) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^i r_j(t)}{\sum_{j=1}^i n_j(t)} \quad (6)$$

만약 데이터가 특정 분포를 따른다고 가정할 수 있다면 모수적 추정방법으로 신뢰도를 추정할 수 있다. 모집단의 고장률은 시료를 취한 모집단에 대한 고장률의 상한값(P_U)과 하한값(P_L)을 계산함으로써 추정

할 수 있으며 고장률에 대한 상한값(P_U)과 하한값(P_L)의 추정은 식 (7), 식 (8)과 같다[12].

$$P_L = \frac{1}{1 + [(n-r+1)/r]F_L} \quad (7)$$

여기서, r : 고장 개수

n : 시료 크기

F_L : 요구 신뢰수준과 아래 자유도에 대한 F 분포 값

$$v_1 = 2(n-r+1), v_2 = 2r$$

$$P_U = \frac{1}{1 + [(n-r)/(r+1)](1/F_U)} \quad (8)$$

여기서, r : 고장 개수

n : 시료 크기

F_U : 요구 신뢰수준과 아래 자유도에 대한 F 분포 값

$$v_1 = 2(r+1), v_2 = 2(n-r)$$

어떠한 제품의 수명분포가 $f(t)$ 라면, 고장 개수로 표현할 수 있는 계수형 데이터에 대한 신뢰도($R(t)$)와 불신뢰도($F(t)$)는 식 (9), 식 (10)과 같다.

$$R(t) = \int_t^\infty f(t)dt \equiv \frac{N-r(t)}{N} \quad (9)$$

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt = 1 - R(t) \equiv \frac{r(t)}{N} \quad (10)$$

여기서, $r(t)$: 시점 t 에서의 고장 개수

N : $t=0$ 에서의 총 수량

대표적인 수명분포에는 지수분포(Exponential Distribution)와 Weibull 분포가 있다. 지수분포는 우발고장기간에서와 같이 시간에 관계없이 시간에 관계없이 일정한 고장률을 설명하는데 적합한 분포이다. 고장률(λ)을 모수(Parameter)로 갖는 지수분포의 확률밀도함수, 신뢰도함수는 및 고장률 함수는 식 (11)~식 (13)과 같다.

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (11)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (12)$$

$$\lambda(t) = \lambda \quad (13)$$

여기서, $\lambda > 0, t \geq 0$

Weibull 분포는 신뢰성 분석에서 널리 쓰이는 분포

로 IFR(Increasing Failure Rate), CFR(Constant Failure Rate), DFR(Decreasing Failure Rate)를 모두 표현할 수 있는 유용한 분포이다. 형상모수(Shape Parameter)가 m , 척도모수(Scale Parameter)가 η 인 Weibull 분포의 확률밀도함수, 신뢰도함수 및 고장률함수는 식 (14)~식 (16)과 같다.

$$f(t) = \frac{m}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m} \quad (14)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m} \quad (15)$$

$$\lambda(t) = \frac{m}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \quad (16)$$

여기서, $m > 0, \eta > 0, t \geq 0$

시한신관의 수명데이터는 Minitab에서 임의관측중단(Arbitrary censoring)분석이 가능한 형태의 데이터로 전환하여 모수적 추정방법으로 저장수명을 추정할 수 있다. 이를 위하여 분포 ID Plot(Distribution ID Plot) 분석을 통해 수명데이터에 적합한 수명분포를 확인하여야 한다.

Minitab은 모수를 추정하는 방법으로 최우추정법(MLE: Maximum Likelihood Estimation)과 최소제곱법(LSE: Least Square Method)을 제공한다. 최소제곱법(LSE)은 데이터 집합에서 제곱 편차의 합이 최소인 점에 회귀선을 적합시키는 방법이며 최우추정법(MLE)은 우도함수를 이용하여 통계적으로 최대 우도를 갖도록 모수를 추정하는 방식이다[10].

데이터가 관측 중단으로 고장이 아주 적을 경우에 최우추정법(MLE)은 관측 중단된 데이터를 포함하여 전체 데이터 집합의 정보를 사용하지만 최소제곱법(LSE)은 관측 중단된 관측치의 정보를 무시하기 때문에 최우추정법(MLE)이 더 많은 정보를 사용한다[14]. 이러한 장점을 고려하여 모수추정은 최우추정법(MLE)을 적용하였다.

4. 실증 분석

기계식시한신관 KM577A1의 저장수명추정을 위하여 2005년, 2006년, 2013년에 저장탄약신뢰성평가를 수행한 18개 로트 24회 794발의 시한시간이탈(Mechanical Time Function Failure)과 시한실패(Dud & Inverse Func-

tion)를 분석하였다. 1989년에서 2000년 사이에 생산된 로트가 저장탄약신뢰성평가의 대상이었으며 평가시점에서 저장기간은 6~24년이었다[15-17].

18개 로트 794발에서 시한시간이탈은 없었으며 시한실패가 81발 발생하였다. 시한실패 81발 중에서 불발이 68발로 지면폭발이 13발인데 비하여 5.2배 정도 높은 비율로 발생하였다. 저장탄약신뢰성평가에서 수집된 18개 로트 중 초도생산 로트 3개 로트, 개수 정비된 3개 로트, 로트특성으로 결함이 과다한 2개 로트(초도생산 로트 1개 포함)를 제외하고 10개 로트를 분석하였다. 선별된 10개 로트의 저장기간은 6년에서 22년이다.

로트특성으로 판단된 결함은 KM94 기폭관의 성능저하로 인한 불발 과다이며 이러한 현상은 초기에 생산된 로트(초도생산로트 포함)에서 발생하였다.[18] 이후 해당 로트는 개수정비 되었으며 후속 평가에 동일한 결함은 발견되지 않았다.

4.1 성능데이터 분석 결과

기계식시한신관 KM577A1 시한시간의 개별측정값 자료가 있는 2013년 저장탄약신뢰성평가 데이터에서 시한시간이 정규분포에 적합하지 검토하였다.

<Fig. 3>과 <Fig. 4>에서 시한시간의 개별측정값에 대한 정규분포 적합성은 p 값이 0.05 이상으로 측정된 시한시간은 정규분포에 적합하다. 저장기간에 따라서 기

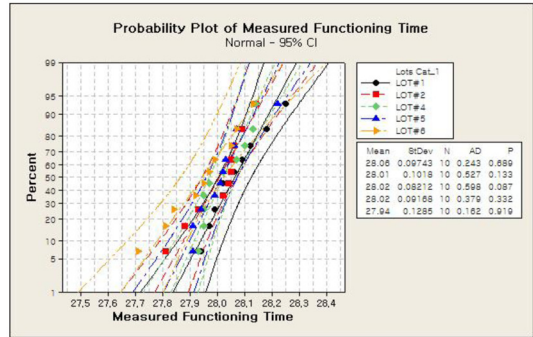


Fig. 3 Probability plot for 28sec

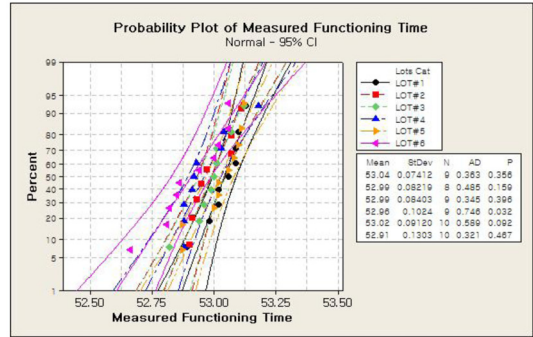


Fig. 4 Probability plot for 53sec

계식시한신관 KM577A1의 시한시간 신뢰성점수(RS_t) 평균값 및 95% 신뢰구간은 <Fig. 5>와 같다.

저장기간에 따른 시한시간 신뢰성점수(RS_t) 평균값

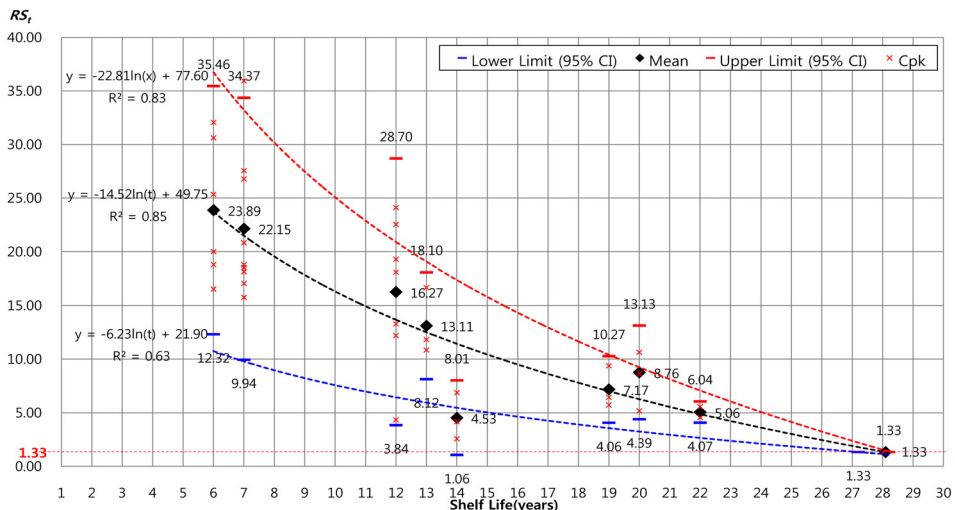


Fig. 5 Shelf life versus RS_t with 95% CL interval

기계식시한신관 KM577A1의 저장수명 추정은 기존 연구에서 제안된 누적고장수를 이용하여 품목의 신뢰도를 산출하였다. Minitab의 임의관측데이터 분석으로 수명을 추정하였고, 관측기간은 사용자의 신뢰성을 보장하는 측면에서 보다 엄격한 조건으로 관측개시 시점을 “0”으로 적용하였다[3].

수명데이터에 적합한 수명분포를 파악하기 위하여 지수분포와 Weibull 분포를 포함하여 11가지 수명분포에 대한 적합도 검정을 수행하였다. 각 분포의 Modified Anderson-Daring(AD*)값은 <Table 4>와 같다. 정규분포를 포함하여 8개 분포의 Modified Anderson-Daring (AD*)값이 147.711이었으며, Weibull 분포를 포함한 3개 분포의 Modified Anderson-Daring(AD*)값이 147.712이다. Modified Anderson-Daring(AD*)값의 차이는 크지 않았다.

3모수 로그정규분포, 3모수 로그로지스틱분포, 3모수 Weibull 분포, Weibull 분포, 로그로지스틱분포,

로그정규분포는 신뢰구간이 발산하여 수명추정에 적합하지 않았다. 신뢰구간이 발산하는 Weibull 분포 등 7개의 수명분포는 제외하고 정규분포 등 5개의 수명분포에 대한 B₅수명은 <Table 5>와 같다. 정규분포로 가정하여 보수적으로 추정할 경우 B₅수명은 약 18.2년으로 가장 짧았고, 2모수 지수분포로 가정할 경우 약 21.9년으로 가장 길었다.

5. 결론

본 연구에서는 저장탄약신뢰성평가를 통해 얻어진 로트 단위의 데이터로부터 품목의 저장수명추정에 필요한 로트선별기준을 제시하였다. 또한 저장기간에 따라 신관의 시한시간 신뢰도가 변화하는 추이를 파악하고자 시한시간 신뢰성점수(RS_i)를 정의하였다. 기계식시한신관 KM577A1의 시한시간 신뢰성점수(RS_i)와 시한실패 데이터를 분석하여 저장수명을 추정하였다.

2005년에서 2013년까지 얻어진 기계식시한신관 KM577A1의 저장탄약신뢰성평가 데이터를 분석하여 다음의 결과를 도출하였다.

첫째, 기계식시한신관 KM577A1의 고장모드(Failure Mode)는 시한실패(Dud & Inverse Function)와 시한시간이탈(Mechanical Time Function Failure)로 분류할 수 있다. 저장기간 22년 동안 기계식시한신관 KM577A1은 시한시간이탈로 인한 고장은 없었다.

둘째, 기계식시한신관 KM577A1의 시한시간 신뢰성점수(RS_i)는 저장기간이 약 27.2년 이상 경과되면 1.33 이하로 낮아질 것으로 추정된다.

셋째, 기계식시한신관 KM577A1의 양산품 합격수준에 준하여 B₅ 수명을 기준으로 저장수명을 추정하였다. B₅ 수명은 수명분포에 따라 차이가 있으나 약 18.2년~21.9년으로 추정된다.

넷째, 기계식시한신관 KM577A1은 시한시간에 대한 신뢰성이 높으나 불발이 대부분의 고장을 차지하는 점을 볼 때, 시한신관의 기계적 구성품의 수명저하보다 기폭관, 연결관, 전폭약 등 화공품의 성능이 저장수명을 결정하는 요인이다.

기계식시한신관 KM577A1의 보다 정확한 저장수명을 추정하기 위해서는 지속적인 저장탄약신뢰성평가를 통해 수명데이터와 성능데이터의 확보가 필요하다.

Table 4 Modified Anderson-Daring test statistics

Distribution	AD*	Distribution	AD*
Normal	147.711	Exponential	147.711
Logistic	147.711	2-Parameter Exponential	147.711
Smallest Extreme Value	147.711	Weibull	147.712
3-Parameter Lognormal	147.711	Loglogistic	147.712
3-Parameter Loglogistic	147.711	Lognormal	147.712
3-Parameter Weibull	147.711		

Table 5 B₅ life and 95% CL interval

	B ₅ Life	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Normal	18.1991	2.06764	14.1466	22.2516
Logistic	18.3955	1.94597	14.5815	22.2096
Smallest Extreme Value	18.4526	1.92679	14.6762	22.2291
Exponential	21.3587	5.18048	13.2776	34.3582
2-Parameter Exponential	21.9243	5.50425	11.1361	32.7124

또한 저장기간, 로트의 크기 등을 고려하여 로트를 선정하는 등 체계적으로 구성된 평가계획을 세워 품목단위로 저장탄약신뢰성평가를 수행한다면 보다 정확하게 저장수명을 추정할 수 있을 것이라 기대한다.

References

- [1] Kim, Y. S. *et al.* (2010). "Introduction to Defense Quality Management". Hyungseul Publishing Network.
- [2] Yoon, K. S. and Lee, J. C. (2012). "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.
- [3] Yoon, K. S. and Park, S. W. (2014). "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.
- [4] Chang, I. H. *et al.* (2010). "Storage Lifetime Estimation of Detonator in Fuze MTSQ KM577A1". *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol. 38, No. 4, pp. 504-511.
- [5] Bong, H. G. and Yoon, K. S. (2005). "The Study for the Single-based Propellant Shelf Life Extension". *Journal of Applied Reliability*, Vol. 3, No. 3, pp. 357-371.
- [6] Park, J. M., Lee, H. C., and Pack, S. C. (2017). "Determination of the Initial Test Years for One-shot System using Validity Assessment of Drugs". *Journal of Applied Reliability*, Vol. 17, No. 1, pp. 1-10.
- [7] Hong, J. T. (2011). "Technology of Modern Munitions". Bonn Design.
- [8] Jane's Ammunition Handbook (2017). "Fuze-Artillery-Fuzes". Last modified July 21. <https://janes.ihs.com/DefenseEquipment/Display/1333194>.
- [9] Chung, Y. H. *et al.* (2016). "Influence Analysis of Sampling Points on Accuracy of Storage Reliability Estimation for One-shot Systems". *Journal of Applied Reliability*, Vol. 16, No. 1, pp. 32-40.
- [10] Seo, S. K. (2015). "Minitab Reliability Analysis". Eretec Inc.
- [11] Park, J. W. and Ham, J. K. (2006). "Development of Reliability Index for Comparison of Components' Reliability". 2006 Spring Conference Proceedings of the Korean Reliability Society, pp. 140-148.
- [12] Sherwin, E. R. (2004). "Analysis of "One-Shot" Devices". *Selected Topics in Assurance Related Technologies*, Vol. 7, No. 4, pp. 1-4.
- [13] Sim, H. G., Park, S. G., and Son, Y. K. (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.
- [14] Ulrike, G. and Wiliam, Q. M. (2010). "A Comparison of Maximum Likelihood and Median-rank Regression for Weibull Estimation". *Quality Engineering*, Vol. 22, No. 4, pp. 236-255.
- [15] Park, D. S. *et al.* (2006). "The Report on the ASRP's Activities in 2005". Defense Agency for Technology and Quality, DTaQ-06-1213-T.
- [16] Na, S. E. *et al.* (2007). "The Report on the ASRP's Activities in 2006". Defense Agency for Technology and Quality, DTaQ-07-1348-T.
- [17] Koo, W. S. *et al.* (2014). "The Report on the ASRP Activities for the Army Ammunition in 2013". Defense Agency for Technology and Quality, DTaQ-14-4237-T.
- [18] Yoon, K. S. *et al.* (2011). "The Report on the Army ASRP's Activities in 2010". Defense Agency for Technology and Quality, DTaQ-11-2810-T.