

박격포용 조명탄의 저장수명 예측 및 평가방안 연구

이종찬*, 이준혁, 정현석
국방기술품질원 국방신뢰성연구센터

A Study on the estimation of shelf-life and assessment plan of illuminating cartridges for mortar

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

요 약 조명탄은 야간 공격 및 방어 전투 시 또는 경계임무 수행 시 원하는 지점·지역을 조명하는데 사용되는 탄약으로 사격 시의 소음과 조명제에 의한 화재 발생 가능성, 그리고 연간 시험가능 물량 등과 같은 한계적 요소로 인해 사실상 시험평가가 제한적이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 조명탄 발사시험을 대체하는 지상정치시험을 적용하는 방안과 제한적인 시험을 효율적으로 수행하기 위해 평가 대상품목 및 로트 선정을 적절하게 수행하는 방안을 적용할 수 있다. 본 논문에서는 박격포용 조명탄에 대한 효율적 평가수행 방안을 적용하여 2019년 수행한 81mm 조명탄 KM계열의 시험결과를 분석하여 신뢰도 및 품질특성 변화 추세를 파악하고 저장수명을 추정하고자 하였다. 저장수명 추정 결과, 신뢰수준 90%에서 신뢰하한 값이 80%에 도달하는 시간을 기준으로 저장수명은 최소 10년 이상이며, 중결점 사항만을 고려할 때의 저장수명은 약 23년으로 추정되었다. 조명시간에 따른 저장수명은 요구되는 조명시간 정도에 따라 다르게 예측할 수 있는데, 조명시간 60초 이상 수준을 고려하면 약 11년 ~ 15년, 조명시간 40초 이상 수준을 고려하면 약 25년 ~ 28년으로 예측할 수 있다. 마지막으로 향후 저장탄약에 대한 신뢰성평가 방법에 대한 개선방안으로 박격포용 조명탄에 대한 평가방안을 제시하였다.

Abstract The cartridges used for illuminating a desired point or area are virtually limited in tests and evaluations because of limitations, such as noise during launch, the possibility of fires caused by illuminant charge, and the annual testable quantity. Therefore, to solve these problems, a ground fixed test, which replaces the firing test, or an evaluation method to perform limited tests, can be applied more efficiently. In this paper, the results of an 81mm illuminating cartridge, KM series performed in 2019 were analyzed comprehensively to identify the trends in reliability and quality characteristics and to estimate the shelf life. The shelf life was estimated to be at least 10 years based on the time when the lower confidence level reached 80% at a confidence level of 90%. Considering only major defects, the shelf life can be estimated to be approximately 23 years. On the other hand, the shelf life was estimated to be approximately 11 to 15 years and 25 to 28 years according to the effective illuminating time. Finally, an assessment plan of illuminating cartridges for the mortars was also presented as an improvement plan for an assessment method in the future.

Keywords : 81mm Illuminating Cartridge, Mortar, Ammunition, Reliability, Shelf-life

*Corresponding Author : Jongchan Lee(Defense Agency for Technology and Quality)
email: chance17@dtq.re.kr

Received June 17, 2020
Accepted September 4, 2020

Revised August 3, 2020
Published September 30, 2020

1. 서론

조명탄은 야간 공격 및 방어 전투 시 또는 경계임무 수행 시 원하는 지점·지역을 조명하는데 사용되는 탄약이다. 이러한 곡사포용 및 박격포용 조명탄에 대한 신뢰성평가는 최근까지 계속 수행해 왔으나, 발사 시의 소음과 조명제에 의한 화재발생 가능성, 그리고 연간 시험가능물량 등과 같은 한계적 요소로 인해 사실상 시험평가가 제한적이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 조명탄 발사시험을 대체하는 지상정치시험을 적용하는 방안과 제한적인 시험을 효율적으로 수행하기 위해 평가대상 품목 및 로트를 적절하게 선정하는 방안을 적용할 필요가 있다[1].

지상정치시험은 발사시험이 매우 제한적이거나 불가능한 경우 발사시험을 대체하여 시험하는 차선택으로 주로 곡사포용 조명탄에 적용할 수 있다. 조명탄을 지상정치시험 장비에 고정된 다음 전기식 기폭관 및 연결관을 사용하여 조명결합체를 방출하여 조명기능을 확인할 수 있다.

박격포용 조명탄의 경우에는 발사시험이 다소 제한적이기 때문에 연간 시험가능물량을 고려하여 60mm, 81mm, 4.2인치 조명탄들 중 평가대상 품목 하나를 몇 년 주기로 교대로 선정할 수 있다. 또한 해당품목에 대한 로트는 제조년도별 재고량과 탄약상태 등을 고려하여 적절하게 선정함으로써 평가대상 품목의 신뢰도 및 저장수명을 예측하고, 이러한 결과를 활용하여 향후 평가계획을 수립할 수 있다[1,2]. 따라서 2019년 평가대상 품목 선정 시에는 박격포용 조명탄에 대한 시험을 효율적으로 수행하고 시험결과 분석 및 활용성을 높이기 위해서 평가대상을 81mm 조명탄 KM계열 1개 품목으로 선정하고, 제조년도별 재고량 및 탄약상태 등을 고려하여 10개 로트를 선정 평가하였다.

본 연구에서는 박격포용 조명탄에 대한 효율적 평가수행 방안을 적용한 2019년 81mm 조명탄 KM계열의 시험결과를 분석하여 신뢰도 및 품질특성 변화 추세를 파악하고, 저장수명을 추정하고자 하였다. 또한 향후 박격포용 조명탄에 대한 효율적 평가수행 방안을 적용한 평가계획을 제시하였다.

2. 이론적 배경

2.1 일반제원 및 작동메커니즘

81mm 조명탄 KM계열의 일반제원은 Table 1과 같

이 중량은 약 4.6 kg, 조명시간은 약 60초이다. 조명탄은 몸체튜브, 콘 결합체, 조명결합체, 낙하산결합체, 신관, 날개결합체 등으로 구성되어 있다[1].

Table 1. Specification of 81mm illuminating cartridge, KM series

Specification		Note
Weight	approx. 4.6 kg	with fuze
Length	628.3 mm	with fuze
Burning Time	60 sec.	-
Fuze Model	KM84A1E1	Time fuze, burning type

박격포용 조명탄의 작동메커니즘은 개략적으로 Fig. 1과 같다. ①탄이 포신 내에 장입되면 뇌관 → 점화약통 → 추진장약 점화로 탄이 발사된 후 ②시한신관의 작동으로 낙하산결합체와 조명결합체를 방출되어 ③조명기능을 발휘하게 된다. 한편 뇌관불발의 경우 발사실패, 추진장약의 성능불량 등에 따른 사거리미달, 신관 작동시간 지연 또는 신관불발 등의 경우에는 조명기능을 발휘할 수 없게 된다.

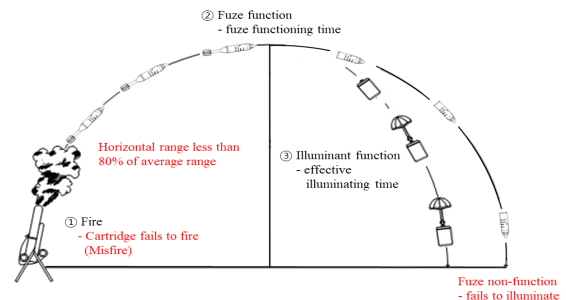


Fig. 1. The operating mechanism of illuminating cartridge

조명탄 KM계열에 사용되는 신관은 시한신관 KM84A1E1으로 텅스텐계 지연제가 적용된 지연링이 사용된다. 신관의 작동시간을 20초 또는 30초로 조정하면 해당위치에서 지연링이 점화되어 작동시간동안 연소가 진행된다. 정상적으로 연소가 진행된다면 최종적으로 방출 화약 결합체가 연소된 후 조명통이 분리되면서 내부의 발화제와 조명제가 연소되고 낙하산이 산개되어 일정 시간동안 조명기능을 발휘한다[3].

2.2 저장수명 예측 연구 사례

2.2.1 가속노화시험을 통한 저장수명 예측

저장수명 예측의 경우 가속노화시험을 통한 예측과 실제 환경에서 저장기간이 경과된 탄약에 대해 사격시험을 통해 나온 결과를 분석하여 예측하는 방법이 있다. 우선 81mm 조명탄 KM계열에 사용되는 신관의 지연제와 조명제에 대해 가속노화시험을 통한 저장수명 예측 연구를 살펴보면 다음과 같다.

시한신관 KM84A1E1의 지연제에 대한 저장수명 예측 연구[3]는 텅스텐계 지연제가 적용된 지연링을 대상으로 온습도 복합 가속노화 조건을 기반으로 가속노화시험을 수행하였다. 시험 결과 작동시간 규격을 초과하는 확률이 10%인 시점을 기준으로 각 가속조건에서의 B_{10} 수명을 계산하였고, 이를 바탕으로 다양한 수명-스트레스 모델식을 적용하여 실제 저장조건에서의 B_{10} 수명을 예측하였다. 저장수명 예측결과는 모델식별로 최소 11.8년에서 최대 17.6년으로 예측되었고 실제 필드데이터에 모수 추정법을 적용하여 분석한 결과 저장 수명은 11.2년으로 추정되었다.

조명제에 대한 저장수명 예측 연구[4]는 유효조명시간 감소 문제점이 발생한 조명탄의 마그네슘계 조명제를 대상으로 60℃와 70℃ 조건의 가속노화시험을 실시하여 조명시간을 측정하고 저장수명을 예측하였다. 조명제의 저장 신뢰도를 예측한 결과 20℃, 23℃ 및 25℃ 저장온도 기준으로 10% 수준의 규격 불만족 발생 시점인 B_{10} 수명은 각각 약 12년, 9년, 7년으로 예측되었다.

2.2.2 사격시험을 통한 저장수명 예측

실제 사격시험을 통한 저장수명 예측은 저장기간이 경과된 탄약에 대해 시험을 실시한 결과를 분석하여 예측하기 때문에 가속노화시험에 비해 훨씬 많은 시간이 경과되어야 예측할 수 있으나 각 구성품 성능기준의 저장수명 예측뿐만 아니라 조명탄 전체에 대한 예측이 가능하므로 예측결과는 더 정확하다고 할 수 있다. 국방기술품질원이 수행한 시험결과를 종합해서 저장수명을 예측한 연구[5]에서는 시험결과 중결점수에 따른 신뢰도가 80%에 도달하는 기준으로 예측한 저장수명은 약 20년으로 예측되었다. 그리고 연구과제 사격시험 결과 평균 조명시간 60초 도달시점을 기준으로 할 때 수명은 20년으로 예측되었으며, 신관 작동시간을 기준으로 한 저장수명은 약 24년으로 예측되었다. 이를 종합할 때 81mm 조명탄의 수명은 약 20년으로 추정할 수 있으나 일부 로트

에서 비정상적으로 급격한 신뢰도 저하 현상이 있는 것이 확인되었으므로 로트간 품질 차이 또는 저장 중 환경 차이에 의해 로트별로 저장수명은 달라질 수 있다고 제시하고 있다.

2.3 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_i 에서 시료 n 개를 추출 시험하여 r 개의 불량량이 발생한다면 신뢰도는 식 (1)에 의해 구할 수 있다 [6,7].

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

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

r = number defective

n = sample size

또한 탄약과 같은 일회성시스템은 성공 또는 실패의 두 가지 결과로 나타나므로 이항분포를 이용할 수 있다. 시료크기 n 에서 실패 또는 불량 r 의 특정수의 확률을 예측하기 위한 이항식은 식 (2)와 같다[8].

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

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.

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

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

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

2.4 불량률 추정

모집단의 불량률은 시료를 취한 모집단의 실제 불량률의 상한값(P_U)과 하한값(P_L)을 계산함으로써 추정할 수 있으며, 이를 위해 F분포를 사용한다. 식 (5)와 식 (6)은 어떻게 불량률에 대한 P_L 과 P_U 를 계산하는지 나타낸다. F값은 통계 서적을 참고하면 된다[8].

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

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

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

3. 시험수행

박격포용 조명탄의 신뢰성평가를 위한 절차는 Fig. 2와 같이 평가계획 수립, 비기능 및 기능시험, 시험결과 분석, 후속조치 순으로 이루어진다[9]. 이 절차에 따라 시험대상 선정, 시험수행, 데이터 측정 및 분석을 통해 신뢰도 및 저장수명을 예측하였다.

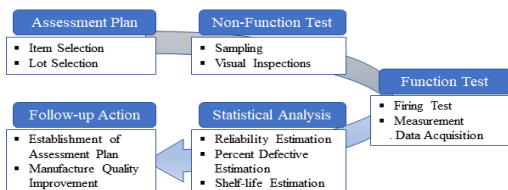


Fig. 2. Procedure of Assessment

3.1 시험대상 선정

앞에서 언급한 바와 같이 2019년 평가대상 품목 선정

시에는 매년 평균 2~3개 품목, 10개 로트를 평가하던 박격포용 조명탄에 대한 시험을 효율적으로 수행하고 시험 결과 분석 및 활용성을 높이기 위해서 Table 2와 같이 평가대상 품목을 81mm 조명탄 KM계열 1개 품목으로 선정하였다. 또한 선정된 품목에 대한 로트 선정은 과거 시험현황, 제조년도별 재고량 및 탄약상태 등을 고려하여 1991년부터 2009년 사이의 제조년도별로 고르게 10개 로트를 선정하였다.

Table 2. Items selected for each test year

Item	Test Year					
	'14	'15	'16	'17	'18	'19
60mm K series					o	
60mm KM series	o	o	o	o	o	
81mm KM series	o		o	o	o	o
4.2 Inch KM series	o				o	

3.2 시험수행 및 기능결점

시험대상 선정 결과에 따라 81mm 조명탄 KM계열 10개 로트에 대해서 로트당 시료수 40발을 채취하고 시험을 수행하였다. 시험결과에 따른 신뢰도 및 저장수명 예측을 위해 관련 규격인 MIL-C-14909A[10]를 참고하였다. 이 규격에 명시된 결점은 Table 3과 같이 치명·중·경결점으로 구분되어 있다. 중결점은 뇌관발발, 신관발발, 신관작동시간, 평균 수평사거리 80% 미달, 조명점화 불능 또는 효과적인 조명시간이 40초 이하 등으로 구분되며 판정기준은 각각 다르다. 허용가능 결점수는 뇌관발발에 따른 발사실패와 평균 수평사거리 80% 미만이 가장 적으며, 신관발발, 유효조명시간 40초 이하 순으로 명시되어 있다.

Table 3. Specification and assesment requirements

Defect	Characteristics	Ac/Re (see Note 1)	
Critical	Premature burst or Parts separation	0	1
	Cartridge fails to fire(Misfire)	1	2
	Fuze non-function	2	3
	Fuze functioning time	(see Note 2)	
Major	Horizontal range less than 80% of average range	1	2
	Illuminant fails to ignite or provide effective illumination for 40 seconds or less	4	5
Minor	Projectile provides effective illumination for more than 40 seconds but less than 60 seconds	7	8

Note 1 : The lot shall also be rejected if in a sample of 50 rounds a total of seven or more major defects are encountered

Note 2 : The lot shall also be rejected if the percent defective for fuze ballistic burning time as computed with the use of MIL-STD-414, Section B, Table B3, AQL 4.0 percent, exceeds the maximum allowable percent defective for each setting.

3.3 신관 작동시간 및 조명시간 측정

시한신관의 작동시간이란 탄이 포에서 발사된 후 장입된 시간이 지나고 신관 내의 뇌관 점화에서부터 지연화약 연소 후 방출화약이 작동할 때까지 걸리는 시간이다. 조명시간은 신관작동에 따라 탄체로부터 분리된 조명결합체의 조명제가 연소되어 조명기능을 발휘하는 시간으로 초시계를 활용하여 측정하였다.

조명탄에 대한 시험수행 시 신관 작동여부 및 작동시간은 최대 20km 추적 가능한 추적레이더(모델명: MSL-60034i, WEIBEL사)를 이용하여 측정하였다. 안테나는 마이크로스트립 어레이 안테나(출력 60W, 이득 34dB)로 송신주파수 X-band: 10GHz를 사용한다. 소프트웨어는 WinTrack ver.5.4(운용PC OS: Win 7)을 활용하였다. Fig 3.은 추적레이더 영상결과로 시간에 따른 속도 변화를 확인할 수 있으며 신관 작동여부를 명확히 확인할 수 있다.

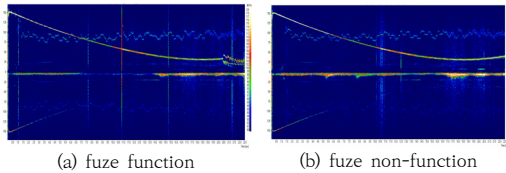


Fig. 3. Screen display of tracking radar

최초 시작시점은 발사 시 포구에서 전해지는 신호를 감지하여 트리거 되는 방식으로 시간 측정을 시작하고 안테나로부터 수신된 신호에서 탄체와 조명결합체가 분리되는 신호를 감지하여 신관의 작동시간을 측정할 수 있다[11]. Fig 3. (a)는 신관이 정상작동된 것으로 우측 끝부분에 신호가 두 개로 분리되는 것을 확인할 수 있으며, (b)는 신관불발로 신호가 분리되지 않은 것을 확인할 수 있다.

신관 작동시간은 MIL-STD-414, B절, 표 B3, AQL 4.0%를 사용하여 계산한 신관 연소시간의 불량률이 각 신관 조정시간에서의 최대 허용 불량률을 초과하면 그 로트는 불합격이라고 명시되어 있다.

4. 시험결과

81mm 조명탄 KM계열 10개 로트에 대한 시험결과, 조기폭발과 금속부품분리와 같은 치명결점은 발생하지 않았으며, 뇌관불발과 평균 수평사거리 80% 미만의 중결점 사항도 없었다. 다만, 중결점 사항 중 신관불발과 조명시간 40초 이하 결점과 경결점 사항이 발생하였다. 따라서 신관불발과 조명시간 미달 결점수와 같은 계수치에 따른 신뢰도를 분석하는 한편, 저장기간 경과에 따른 신관 작동시간과 조명시간과 같은 계량치에 대한 분석을 실시한 다음 저장수명을 예측하고자 하였다.

4.1 신관 및 조명기능 신뢰도

4.1.1 신관불발에 따른 신뢰도

사격시험 결과, '96년 제조된 로트 이후 로트에서는 신관불발이 하나도 발생하지 않았으나, '96년 이전에 제조된 로트에서는 저장기간이 경과함에 따라 신관불발이 많이 발생되는 경향을 나타내었다. Fig. 4는 저장기간에 따른 로트별 신관의 신뢰도 변화 추이를 그래프로 나타낸 것으로, 신관의 목표신뢰도 한계를 80%로 설정할 경우 신뢰수준 90%에서 신뢰하한 값이 80% 미만으로 낮아지는 저장기간은 약 25년이다. 한편 저장기간이 28년 된 로트의 신뢰도는 급격하게 낮아지는 것을 알 수 있다.

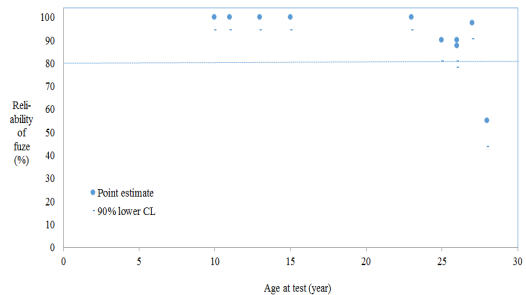


Fig. 4. Trend in Reliability of fuze by age at test

4.1.2 조명시간 미달에 따른 신뢰도

Fig. 5는 저장기간에 따른 조명기능의 신뢰도 변화 추이를 중결점과 총결점에 따른 신뢰도로 구분하여 나타낸 것이다.

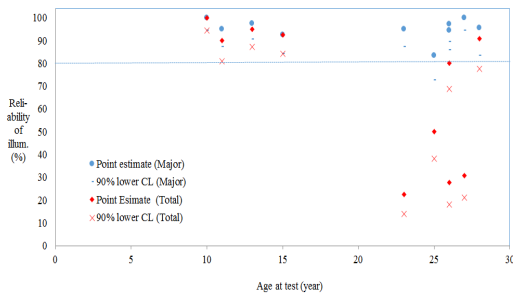


Fig. 5. Trend in Reliability of illuminant assembly by age at test

사격시험 결과, '04년 이후 제조된 로트와 '96년 이전 제조된 로트 간 중결점과 총결점에 따른 신뢰도 차이가 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다. '04년 이후 제조된 로트에서는 조명시간미달 중결점수와 총결점수의 차이는 크지 않은 반면, '96년 이전 제조된 로트에서는 조명시간미달 결점이 많이 발생하였으며, 특히 경결점수가 급격하게 증가하였다. 이러한 결과는 저장기간 경과에 따른 조명제의 기능 저하가 확실하게 나타나는 것을 의미한다.

4.1.3 저장기간에 따른 신뢰도

앞에서 살펴본 신관불발과 조명시간 미달에 따른 결점수를 경결점을 제외한 중결점과 경결점을 포함한 총결점수로 구분하여 Table 4에 나타내고 저장기간에 따른 신뢰도 변화 추이를 살펴보았다.

Table 4. The reliability by year of manufacture

Year Mfd.	Age at test (years)	Defects		Excluding minor defects		Including minor defects	
		Major	Maj.+ Min.	Reliability (%)	90% Lower CL	Reliability (%)	90% Lower CL
'91	28	19	20	52.5	41.2	50.0	38.8
'92	27	1	28	97.5	90.6	30.0	20.5
'93	26	6	12	85.0	75.2	70.0	58.8
'93	26	6	30	85.0	75.2	25.0	16.2
'94	25	10	22	75.0	64.1	45.0	34.1
'96	23	2	31	95.0	87.2	22.5	14.1
'04	15	3	3	92.5	84.1	92.5	84.1
'06	13	1	2	97.5	90.6	95.0	87.2
'08	11	2	4	95.0	87.2	90.0	81.0
'09	10	0	0	100	94.4	100	94.4

* Sample size : 40

Fig. 6은 중결점수와 경결점을 포함한 총결점수에 따른 신뢰도 변화 추이를 나타낸 그림이다.

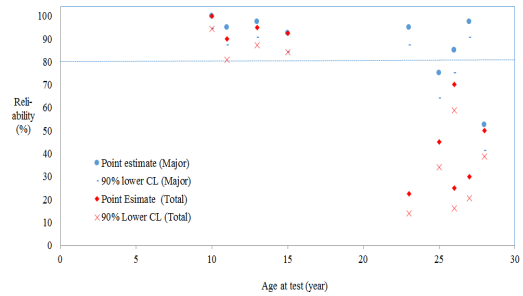


Fig. 6. Trend in Reliability change by age at test

중결점수에 따른 신뢰도는 저장기간 25년에서 신뢰도 80% 미만으로 낮아지며, 경결점수를 포함한 총결점에 따른 신뢰도는 저장기간 23년에서 신뢰도 80% 미만으로 급격하게 낮아진 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 저장기간 그룹별(5년 단위)로 구분하여 신관 및 조명기능 신뢰도와 중결점 및 총결점에 대한 신뢰도 변화를 나타낸 것으로 신관에 대한 신뢰도는 서서히 낮아지는 것을 알 수 있으며, 조명기능의 신뢰도는 저장기간이 오래된 그룹에서 매우 낮아지는 경향을 쉽게 확인할 수 있다.

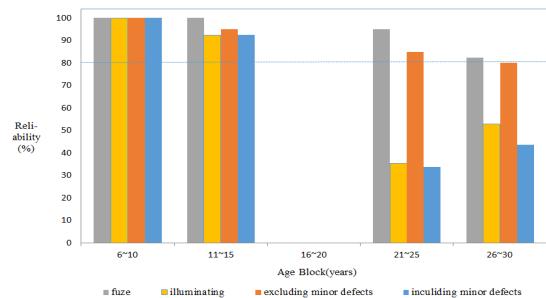


Fig. 7. Trend in Reliability change by Age block

4.2 신관 작동시간 및 조명시간

4.2.1 저장기간에 따른 신관 작동시간 변화

저장기간에 따른 로트별 신관 작동시간을 저장약(4호)과 고장약(8호) 시험으로 구분하여 상자그림 형태인 Fig. 8과 같이 나타내었다. 저장약에서는 저장기간이 오래된 로트에서 신관 작동시간이 상한값을 초과하는 이상점이 나타나는 것이 특징이며, 고장약 시험결과에서는 신관 작동시간이 하한값에 미달하는 로트가 대부분임을 알 수 있다.

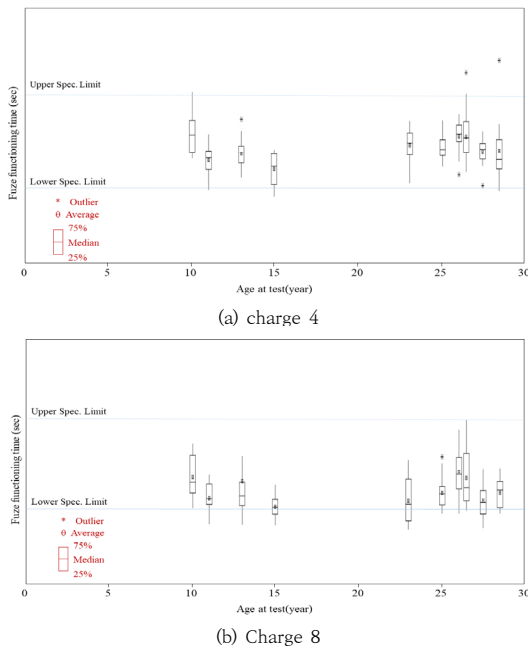


Fig. 8. The change of fuze functioning time by age at test

한편 Table 3에 명시한 바와 같이 MIL-STD-414, B 절, 표B3, AQL 4.0%를 사용하여 계산한 신관 작동시간의 불량률이 각 신관 조정시간에서의 최대 허용 불량률(시료크기 20개 수락기준, 8.92%)을 초과하는지 살펴보고자 하였다. 따라서 시험결과 신관불발이 발생하지 않은 '96년 이후 제조된 5개 로트에 대해 신관 작동시간 추정 불량률을 계산하고 로트 최대 허용 불량률을 초과하는지 비교하여 Table 5에 나타내었다.

Table 5. The percent defective for fuze functioning time

Year Mfd.	Fuze functioning time (20 sec.)					
	Q _U	Q _L	p _U	p _L	p	Ac/Re
'96	2.94	2.57	0.036%	0.236%	0.272%	Ac
'04	4.49	1.09	0.000%	13.74%	13.74%	Re
'06	3.88	2.34	0.000%	0.592%	0.592%	Ac
'08	4.34	1.85	0.000%	2.75%	2.75%	Ac
'09	1.74	2.63	3.65%	0.181%	3.831%	Ac
	Fuze functioning time (30 sec.)					
	Q _U	Q _L	p _U	p _L	p	Ac/Re
'96	3.59	0.37	0.00%	35.75%	35.75%	Re
'04	8.61	0.14	0.00%	44.52%	44.52%	Re
'06	3.85	0.90	0.00%	18.50%	18.50%	Re
'08	5.16	0.73	0.00%	23.44%	23.44%	Re
'09	2.79	1.56	0.08%	5.56%	5.64%	Ac

* Q_U, Q_L : Quality Index

P : Total Estimation Percent Defective in Lot

표에서 보는 바와 같이 '09년 제조된 로트를 제외한 나머지 로트들은 로트 추정 불량률이 로트 최대 허용 불량률을 초과하는 것으로 나타났다. 특히 신관 작동시간 로트 추정 불량률은 저장약 시험 시 보다 고장약 시험 시 매우 높게 나타났으며, 신관 작동시간 최대 허용 불량률을 초과하는 로트가 많이 나타났다.

4.2.2 저장기간에 따른 조명시간 변화

저장기간에 따른 로트별 조명시간은 Fig. 9와 같이 저장기간이 경과함에 따라 점차 감소되는 경향을 보이다가 일정기간 경과된 시점부터는 유지되는 경향을 나타낸다. 다만 신관불발이 많이 발생한 '91년 로트의 경우 산포가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

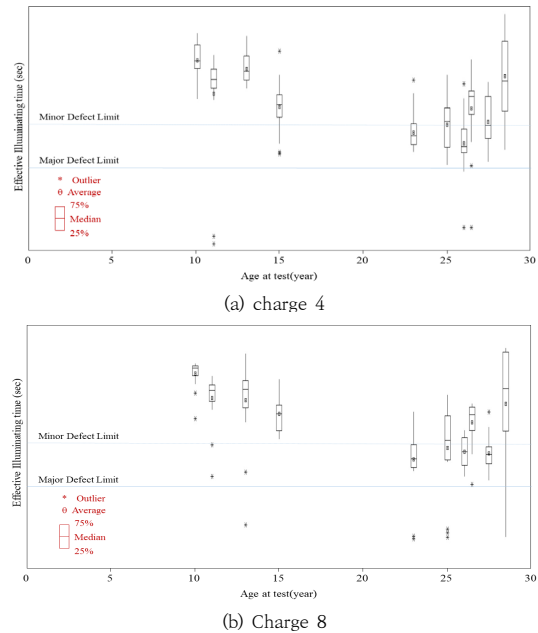


Fig. 9. The change of effective illuminating time by age at test

4.3 저장수명 예측

앞에서 살펴본 시험결과 분석에 따라 81mm 조명탄 KM계열의 저장수명을 예측하면, 신관의 신뢰도를 기준으로 신뢰수준 90%에서 신뢰하한 값이 80% 미만으로 낮아지는 저장수명은 약 25년으로 예측되었다. 추가로 과거 시험결과를 포함하여 저장기간별 평균 신뢰도로 분석한 저장수명은 Fig. 10과 같이 약 27~29년으로 추정할 수 있다.

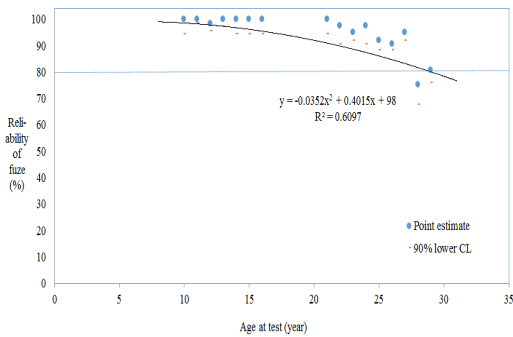


Fig. 10. Trend in Reliability of fuze by age at test

조명기능 신뢰도에 따른 저장수명은 증결점 기준으로 신뢰수준 90%에서 신뢰하한 값이 80% 미만으로 낮아지는 저장수명은 약 25년, 총결점 기준 저장수명은 최소 15년으로 예측할 수 있다. 만약 총결점수 기준 신뢰수준 90%에서 신뢰하한 값이 90% 미만으로 낮아지는 저장수명은 약 11년으로 조명제에 대한 저장수명 예측 연구[4]에서 20℃ 저장온도 기준으로 10% 수준의 규격 불만족 발생 시점인 B₁₀수명인 약 12년과 유사하였다. 한편, 신관 및 조명기능 신뢰도에 따른 저장수명은 상대적으로 기능 저하가 빨리 진행되는 조명기능의 저장수명에 따르게 된다.

신관 작동시간 불량률에 따른 저장수명은 로트추정불량률이 최대 로트 허용 불량률을 초과하지 않은 저장기간인 약 10~13년으로 예측할 수 있다. 이러한 결과는 가속노화시험 연구를 통한 B₁₀수명 연구[3] 결과의 최소 저장수명인 11.8년과도 유사한 수준이다.

Table 6은 저장수명 예측 결과를 종합하여 나타낸 표로 81mm 조명탄 KM계열의 저장수명은 최소 10년 이상으로 저장수명 판단 기준을 어떤 기능항목에 초점을 두느냐에 다를 수 있다.

Table 6. The results of estimation of shelf-life

Shelf-life(year)			Note
Fuze Function		25 ~ 27	Based on the time when the lower confidence level reaches 80% at the confidence level of 90%
Illuminant	40 sec. or less	25 ~ 28	
	less than 60 sec.	11 ~ 15	
Major defects for Fuze and Illuminant		≤ 23	
Fuze Functioning time		10 ~ 13	Estimation of lot percent Ncf.

5. 결론 및 향후 평가방안

본 연구에서는 2019년 시험을 수행한 81mm 조명탄 KM계열 10개 로트에 대한 시험결과를 분석하여 품질특성 및 신뢰도 변화 추세를 파악하고 저장수명을 예측하여 제시하였다.

첫째, 신뢰수준 90%에서 신뢰하한 값이 80%에 도달하는 시간을 기준으로 81mm 조명탄 KM계열의 저장수명을 예측한 결과, 저장수명은 최소 10년 이상이며, 신관 불발과 조명시간 40초 미달에 해당하는 증결점 사항만을 고려할 때의 저장수명은 약 23년으로 추정할 수 있다. 둘째, 조명탄이 원하는 지점·지역을 조명하는데 사용되는 탄약임을 고려할 때 저장수명은 조명시간 정도에 따라 다르게 예측할 수 있다. 조명시간 60초 이상 수준을 고려한 저장수명은 약 11년~15년으로, 40초 이상 수준을 고려하면 약 25~28년으로 예측할 수 있다. 셋째, 본 연구의 시험결과에 따른 저장수명 예측 결과는 가속노화시험을 통한 시한신관 지연제 및 조명제에 대한 저장수명 예측 연구 결과와 유사한 정도로 나타났다.

이와 같이 박격포용 조명탄의 경우 한 해의 시험년도에 60mm, 81mm, 4.2인치 조명탄 중 한 품목에 대해 약 10개 로트 수준에서 평가하는 방안이 제한적인 시험을 효율적으로 수행하기 위한 방안임을 확인할 수 있다. 따라서 향후 박격포용 조명탄에 대한 평가방안을 Table 7과 같이 기존 대상선정 방식에서 2019년의 대상선정 방식으로 제안하였다.

Table 7. The improvement of assessment for illuminating cartridge

Item	The example of no. of lot to assess					
	'20	'21	'22	'23	'24	'25
60mm K Series	2	2	2	2	2	
60mm KM Series	2	2	2	2	2	
81mm KM Series		4	4		3	6
81mm K Series				1	1	1
4.2" KM Series	3	2	2	2	2	3
Total	7	10	10	7	10	10

↓

Item	No. of lot planed to assess						
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	later
60mm K Series		5			5		
60mm KM Series		5			5		
81mm KM Series			10			10	
81mm K Series							10
4.2" KM Series	7			7			
Total	7	10	10	7	10	10	10

향후에는 평가계획 수립 및 평가 과정에서의 시험결과와 사용자의 요구사항 반영 등 제반적인 상황을 고려하여 품목별 시험주기와 대상로트를 선정하면 될 것이다.

본 논문에서 제시한 시험결과와 평가방안은 향후 81mm 조명탄 KM계열뿐만 아니라 박격포용 조명탄 평가계획 수립 및 평가를 통한 보다 정확한 신뢰도와 저장수명 예측에 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 또한 박격포용 조명탄 외에 다른 탄약에 대한 평가방안을 수립하는데 참고할 수 있을 것이며, 탄약의 수명관리에 대한 지속적인 업무 개선 및 탄약정책 제언 등에도 활용될 수 있을 것이다.

References

- [1] J. C. Lee, J. H. Lee, H. S. Jung, "A Study on the Reliability and Shelf-life of Cartridge, 81mm: Illuminating", Research Report, Defense Technology and Quality, Korea, pp.112, 2020.
- [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] I. H. Chang, J. H. Kim, W. C. Lee, S. J. Back and Y. K. Son, "A Study of Storage Life Estimation for Delay System in the Fuse of 81mm Illuminating Projectile", *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol.40, No.3, pp.270-277, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7469/JKSQM.2012.40.3.270>
- [4] S. J. Back, Y. K. Son, S. H. Lim and I. H. Myung "Storage Life Estimation of Magnesium Flare Material for 81 mm Illuminating Projectile", *Journal of the KIMST*, Vol.18, No.3, pp.267-274, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2015.18.3.267>
- [5] K. S. Yoon, et al "The Study of Alternative Test Method and Shelf-life Assessment for 81MM Illuminating Cartridge", Technical Report, Defense Technology and Quality, Korea, pp.116, 2012.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Edward R. Sherwin, "Analysis of "One-Shot" Devices", *Selected Topics in Assurance Related Technologies*, vol.7, No.4, pp.1-4, 2004.
- [9] 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 cooperation Society*, Vol.21, No.4, pp.437-445, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.4.437>
- [10] MIL-C-14909A (PA), Amendment 2, Military Specification Cartridge, Illuminating, M301A3 with Fuze, Time M84A1 for 81mm Mortars, Loading, Assembling and Packing, dated 11 March 1976
- [11] K. S. Yoon, J. W. Ga, "The Study on measurement techniques for fuze operating time and Lighting time of Illuminating cartridge", Research Report, Defense Technology and Quality, Korea, pp.45, 2013.

이 중 찬(Jongchan Lee)

[정회원]



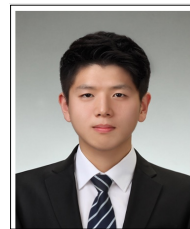
- 2003년 2월 : 경북대학교 화학공학과 (공학석사)
- 2003년 4월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원
- 2011년 9월 : 품질관리기술사

<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

정 현 석(Hyunsuk Jung)

[정회원]



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

〈관심분야〉

MEMS, 신뢰성평가, 통계적 품질관리