

155mm 조명탄 저장탄약신뢰성평가(ASRP) 대체시험 결과 분석

정현석*, 이준혁
국방기술품질원 국방종합시험센터

Analysis of The 155mm Illumination ASRP Alternative Test Results

Hyunsuk Jung*, Junhyuk Lee
Defense Comprehensive Test Center, Defense Agency for Technology and Quality

요약 저장 중인 탄약에 대하여 주기적으로 비기능, 기능, 저장분석 시험 등을 수행하여 신뢰성을 평가하는 업무는 국방전력 유지 및 예산 절감에 크게 기여하고 있다. 하지만 최근 화재발생 위험, 시험 간 발생하는 폭음 등으로 민원이 증가하고 있어 탄약에 대한 발사시험을 수행하는데 제한사항이 많다. 특히 조명탄의 경우, 조명제로 인해 화재 발생 가능성이 다른 탄약에 비해 높고, 연간 시험 가능 물량 등과 같은 한계적 요소로 인해 평가가 제한적이다. 본 연구에서는 조명탄 화포 사격시험의 위험성을 최소화하고 제한적인 시험 공간에서 지속적인 시험 수행을 위해 지상정치시험을 155mm KM485A2 조명탄 저장탄약신뢰성평가에 적용했다. 지상정치시험이란 조명탄을 뇌관, 신관, 추진장약 등 다른 탄약들과 함께 발사하는 기존 시험을 대체하여 시험대와 장치들을 설치해 수행하는 시험이다. 본문에서는 155mm 조명탄 지상정치시험 장치의 설계에서 제작까지의 과정을 서술했으며, 지상정치시험으로 수행한 ASRP 결과를 과거 발사시험 자료와 비교, 분석하였고, 이를 통해 지상정치시험의 장점과 대체시험의 타당성을 입증했다. 시험 제한 등으로 평가가 원활하게 진행되지 못하고 있는 다른 탄약에 지상정치시험 방법과 장치를 적용한다면 저장중인 탄약의 평가율을 높일 수 있고, 신뢰성 있는 평가를 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract The task of evaluating reliability by periodically performing non-functional, functional, and chemistry analysis tests on ammunition is critical in the maintenance of defense power and budget reduction. However, there are many restrictions on firing tests on ammunition as complaints are increasing due to the risk of fire and noise during tests. In particular, in the case of illumination, the possibility of fire is higher than with other ammunition, and evaluation is limited due to the annual testable quantities. In this study, an alternative test is applied to 155mm illumination ASRP to minimize the risk of firing tests and to continuously conduct tests in a limited space. The alternative test is a test conducted by installing a test bed and devices instead of using a firing test that fires with other ammunition such as a detonator, fuze, and propelling charge. The process from design to manufacture of the 155mm illumination alternative test equipment is described, and the ASRP results of the alternative test were analyzed. Through this, the advantages and validity of the alternative test can be proved. If the alternative test method and devices are applied to other test restricted ammunition, it is expected that the evaluation rate of the ammunition can be increased, and reliable evaluation can be achieved.

Keywords : 155mm Illumination, Alternative Test, Ammunition, Reliability, Howitzer

*Corresponding Author : Hyunsuk Jung(Defense Agency for Technology and Quality)

email: jhs@dtaq.re.kr

Received March 22, 2022

Accepted June 3, 2022

Revised April 8, 2022

Published June 30, 2022

1. 서론

저장 중인 탄약의 신뢰성을 평가하는 업무(Ammunition Stockpile Reliability Program, 이하 ASRP)는 국방예산 절감과 군 전력 향상에 많은 기여를 해왔다[1,2]. 평가 업무 중 기능시험은 탄약의 발사 또는 기폭시험 등을 통해 성능발휘 여부를 측정하는데, 일부 탄약은 시험 시 제한사항이 많아 시험 수행에 어려움을 겪고 있다. 조명탄의 경우도 사격 시 발생하는 폭음으로 인한 민원과 조명제로 인한 화재 발생 가능성, 금속부품 낙하 사고 등으로 시험을 할 수 있는 공간이 제한적이다. 이를 해결하고자 해상에서 사격을 진행했지만, 낙하산에 의한 어망피해, 조명탄 내부 화학물질이 바다에 유입되는 환경문제 등으로 시험이 제한되고 있다[3].

시험에 제한되는 사항들을 최소화하며 조명탄의 주요 성능을 평가하고자 지상정지시험을 도입했다. 지상정지 시험이란 화포를 사용하여 발사시험을 진행하지 않고, 시험대와 장치들을 설치하여 탄의 주요 성능들을 평가할 수 있도록 하는 시험이다. 155mm 조명탄은 화포 사용 시험 시 최대 17.5 km의 사거리를 비행하는데 1차, 2차 방출 중에 금속부품이 분리되어 떨어지고, 성능이 저하된 조명탄의 경우 예상 탄착지를 벗어나기 때문에 사격 선상에 있는 모든 지역이 위협하다. 반면, 지상정지시험은 고정된 장치대에서 90° 각도로 발사하기 때문에 강풍으로 인해 낙하산이 멀리 이동하는 경우를 감안해도 예상 탄착지를 벗어나지 않아 공간의 제약 없이 시험할 수 있다.

본 연구에서는 조명탄 개요 및 발사시험 제한 사항들과 발사시험을 대체하여 수행중인 지상정지시험 및 장치에 대해 설명하고, 조명탄 지상정지시험으로 수행한 ASRP 결과를 과거 화포를 사용한 발사시험 결과 데이터와 비교, 분석하여 지상정지시험의 장점과 대체시험의 타당성을 입증했다.

2. 조명탄 개요

2.1 155mm 조명탄 KM485A2 특성 및 형상

KM485A2는 155mm 곡사포용 조명탄으로 목표지역에 조명을 제공하거나 신호용으로 사용된다. 같은 155mm 곡사포용 조명탄인 M118과 기능은 동일하나 KM485A2는 주낙하산 외에 보조낙하산이 부착되어 낙하속도를 줄이고 연소시간이 연장됐다. 조명은 100만 촉광의 밝기로 약 120초간 유지된다[4,5]. 155mm 조명탄의 내부 구성은 Fig. 1과 같다.

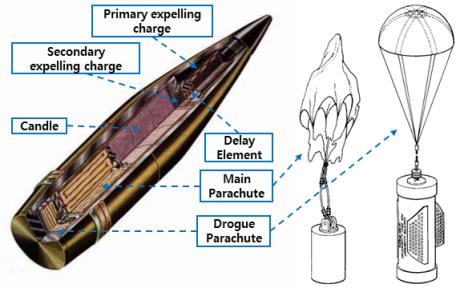


Fig. 1. 155mm illumination KM485A2 components

2.2 작동 원리

155mm 조명탄 KM485A2의 작동 원리는 Fig. 2와 같다. 탄이 발사되면 추진장약이 연소되면서 팽창가스가 급속 생성되어 탄이 목표물에 도달할 수 있는 속도로 탄체를 포에서 발사시킨다. 탄대는 탄체에 가해지는 가스 압력의 누출을 막기 위한 밀폐역할을 한다. 발사된 탄두는 목표지점 상공에서 신관의 작동으로 1차 방출장약이 작동하고 조명통집결합체가 방출되며 보조낙하산이 전개된다. 보조낙하산이 전개된 후 8초 경에 낙하속도가 충분히 줄어들고 회전이 멈추면 2차 방출장약이 작동한다. 2차 방출장약의 작동에 의해 조명통결합체가 방출되며 주 낙하산이 펼쳐지고 조명제에 점화가 이루어진다.

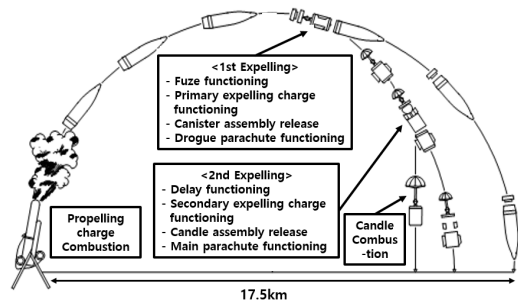


Fig. 2. Operating mechanism of 155mm illumination

2.3 조명탄 발사시험 제한 사항

서론에 언급했듯이 155mm 곡사포를 사용한 조명탄 발사시험은 낙하산 착지 위치에 따른 화재 발생 가능성, 조명탄 방출 및 분리 시 다량의 금속부품 낙하로 인한 사고 발생 가능성, 미회수 부품들로 인한 환경오염 등 많은 문제점들로 인해 현재 시험 수행이 제한되고 있다. Table 1과 같이 10년간 155mm 조명탄 ASRP는 5로트만을 수행했으며, 이는 155mm 조명탄 ASRP 시험 대상의 4%로 시험이 적절하게 수행되지 않고 있음을 확인할 수 있다[6].

Table 1. Firing tests status of 155mm illumination

DODIC	Type of ILL	No. of test	No. of Lots	No. of Lots by test		
				'16	'17	'18
D505	M485A2	3	5	2	2	1
KD505	KM485A2	-	-	-	-	-
D545	M118	-	-	-	-	-
Total		3	5	2	2	1

또한 조명탄 발사시험은 사격 사선이 길어 국방규격에 명시된 지연시간 및 1차, 2차 방출 확인이 제한되고, 신관을 결합하여 발사하기 때문에 신관이 제대로 작동하지 않으면 조명탄의 성능을 평가할 수 없는 단점이 있다.

155mm 조명탄 평가를 지속적으로 수행하기 위해 시험 시 발생할 수 있는 사고를 최소화하면서, 조명탄의 핵심 성능인 방출, 낙하산 전개, 지연시간, 유효조명시간 등을 평가할 수 있는 새로운 155mm 조명탄 시험 기법 및 시스템이 필요했고, 지상정치시험장치를 개발하여 이를 구현했다.

3. 지상정치시험

조명탄의 성능을 확인하기 위해 추진장약, 신관, 뇌관을 결합하여 발사했던 기존 시험과는 다르게 장치대를 제작하여 조명탄을 고정시키고, 조명탄의 방출장약을 기폭시켜 조명탄의 성능을 확인했다. 조명탄 성능평가 시험의 과정은 Fig. 3과 같다. 발사시험에서 탄을 장전하고 신관이 작동하여 1차 방출장약을 기폭시키는 과정을 지상정치시험에서는 지상정치시험장치, 대체신관시험기 원격기폭장치를 사용하여 구현하였다. 이를 통해, 조명탄의 성능을 평가하는 1차 방출부터 조명제가 연소하는 과정까지 동일하게 평가할 수 있다.

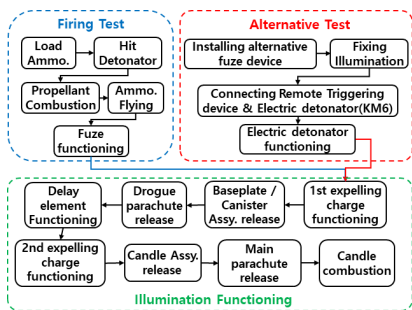


Fig. 3. Process of firing and alternative test

Fig. 4는 지상정치시험 개념도로 기존 발사시험과 동일하게 1차 방출, 2차 방출을 통해 조명탄의 성능을 확인할 수 있다.

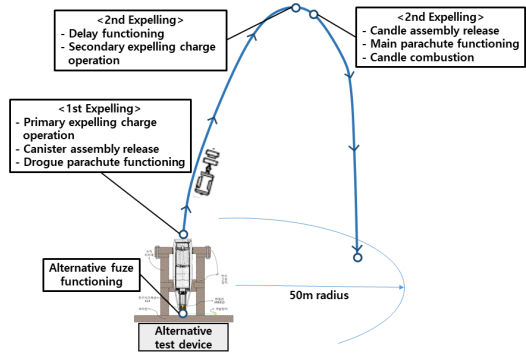


Fig. 4. Schematic of 155mm illumination alternative test

3.1 지상정치시험장치

지상정치시험장치는 Fig. 5와 같이 지상정치시험대, 대체신관시험기, 원격기폭시스템으로 구성되어있다. 지상정치시험대는 조명탄을 고정하고, 대체신관시험기는 신관을 대체하여 조명탄의 방출장약을 기폭시키며, 원격기폭시스템은 원격에서 대체신관시험기에 전기신호를 보내는 역할을 한다.

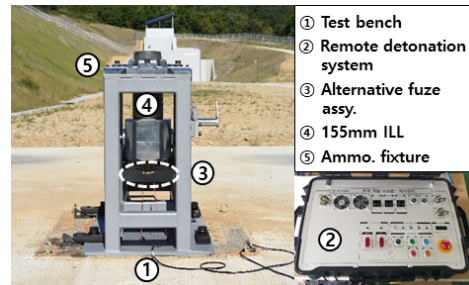


Fig. 5. Composition of alternative test device

3.1.1 지상정치시험대

지상정치시험대는 시험 시 조명탄을 고정하고, 조명통 집결합체가 방출되는 순간의 힘을 견딜 수 있도록 강건하게 설계되었다. 방출 시 발생하는 충격력은 아래와 같이 운동량의 변화량을 변화하는 동안 걸린 시간으로 나눠 계산했다.

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m(v_2 - v_1)}{\Delta t} \quad (1)$$

Where, F = impulsive force, Δp = momentum change, Δt = time change, m = canister assy. weight, v_1 = initial velocity, v_2 = released velocity

Eq. (1)에서 m 은 방출장약 작동 시 탄저부가 분리되며 방출되는 조명통집결합체의 무게로 약 11.342 kg이다. Δt 는 흑색화약의 연소속도(약 300 m/s)를 방출장약의 길이로 나눈 것으로 방출장약이 완전 연소되기 까지 걸리는 시간(약 0.0003초)을 나타낸다. 초기 속도 v_1 은 0 이고, 방출 속도 v_2 는 운동량 보존의 법칙에 의해 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$v_2 = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

Where, g = gravitational force, h = canister assy. rise height

Eq. (2)에서 g 는 중력가속도로 9.8 m/s², h 는 조명통 집결합체 방출 시 최대 상승 높이로 약 43.3 m 이다. 계산 결과 v_2 는 약 29.15 m/s이고, 이를 Eq. (1)에 대입하면 충격력 F 는 약 112,450 kgf가 된다.

지상정치시험대가 발사 시 발생하는 힘에 안정적으로 버틸 수 있는 지 확인하기 위해 Fig. 6과 같이 Ansys Workbench v14.5의 유한요소해석(FEA)을 이용하여 정적 해석을 진행했다. 계산한 충격력의 약 2배인 200,000 kgf를 조명탄 방출 시 발생 하중으로 설정하여 Ansys Mechanical 프로그램을 사용하여 정하중에 의한 응력을 해석했다. 조명탄체를 고정하고 있는 두 부분에 대해 각각 응력해석을 진행했다. 해석 결과, 지상정치 시험대에 걸리는 최대응력은 약 120 MPa로 지상정치 시험대 재질 SUS304의 허용항복응력(220 MPa) 대비 54% 수준으로 안정적이다. 최대 응력이 걸리는 축결합용 볼트의 응력은 770 MPa로 볼트의 허용항복응력(900 MPa) 대비 85% 수준으로 안정적이다.

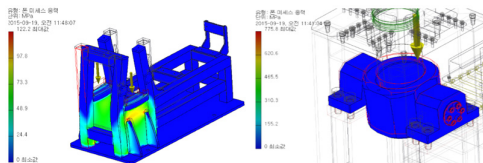


Fig. 6. Stress analysis of test bench

시험을 수행하기 위한 조명탄 설치 절차는 Fig. 7과 같으며, 지상정치시험대는 45 kg정도의 조명탄의 설치 및 해체가 용이하도록 설계했다.

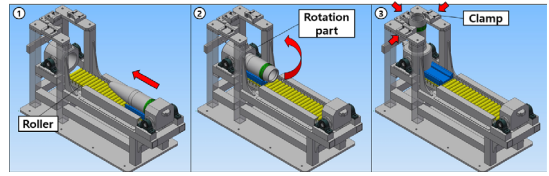


Fig. 7. 155mm illumination installation procedure

3.1.2 대체신관시험기

기존 발사시험의 M565, M577계열 신관을 대체하여 조명통집결합체의 방출시키기 위해 대체신관시험기를 제작하였다. 대체신관시험기는 대체신관과 전기뇌관으로 구성되고 이를 결합하여 사용한다. Fig. 8의 좌측 그림은 대체신관으로 M118, M485A2 두가지 종류의 155mm 조명탄 신관결합부에 결합되도록 나사선을 설계하여 제작했다. 우측 그림은 전기뇌관으로 조명탄의 방출장약을 기폭시키는 역할을 한다.



Fig. 8. Alternative fuze assembly components

기존 발사시험처럼 신관을 사용하려면 Fig. 9와 같이 발사 시 후퇴관성력에 의해 관성핀이 후퇴하고, 원심력을 발생시켜 기폭 가능한 상태로 만들어야 하는데, 지상정치시험에서 이를 구현하기에는 어려움이 있다. 이로 인해, 지상정치시험에서는 대체신관과 KM6 전기뇌관을 사용하여 조명탄 방출장약을 기폭시킬 수 있도록 했다. KM6 전기뇌관은 점화기 또는 기타 적절한 전원을 이용하여 모든 표준 군용 폭발물을 기폭시킬 수 있으며, 기본 장약으로 사용되는 RDX 양이 KM94 기폭관, KPA510 연결관의 RDX 양과 큰 차이가 없어 비슷한 방출에너지를 갖는다.

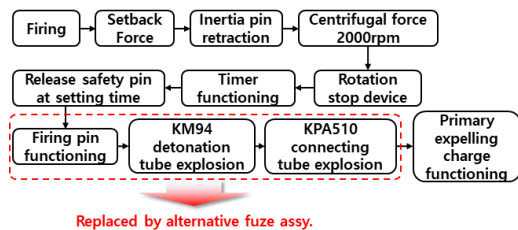


Fig. 9. Operational Mechanism of fuze

3.1.3 원격기폭시스템

원격기폭시스템은 대체신관시험기의 KM6 전기뇌관과 연결되어 시험원들이 지상정치시험대로부터 떨어져 방호벽 뒤에서 안전하게 격발을 할 수 있도록 한다. 원격기폭시스템의 격발버튼을 누르면 전기뇌관이 폭발하고 방출장약이 기폭되며 조명통집결합체가 방출된다.

3.2 발사시험과 지상정치시험 비교

3.2.1 시험 일반 사항 비교

발사시험과 지상정치시험의 차이를 Table 2에 나타냈다. 발사시험은 조명탄, 추진장약, 뇌관, 신관을 함께 발사하지만 지상정치시험은 조명탄만 발사하여 조명탄의 다른 것들의 성능에 영향을 받지 않고 온전한 조명탄 기능만 평가할 수 있는 장점이 있다. 발사시험의 조명제 최적 파열 높이는 600 m로 높으며 바람에 의해 낙하 반경이 불규칙적이고 넓다. 반면, 지상정치시험은 오직 방출장약의 추진력에 의해 조명통집결합체가 방출되므로 높이 올라가지 않아 조명제 점화 높이가 낮으며 낙하 반경도 좁다. 이러한 이유로 지상정치시험의 경우 반경 50 m의 개활지 어느 곳에서나 시험을 진행할 수 있지만, 발사시험의 경우 17.5 km의 탄 비행 가능한 장소여야 하고, 사선에 민가가 있으면 안 되기 때문에 시험장 선정에 어려움이 많다. 발사시험의 경우 사선이 긴 만큼 도로통제 인원이 많이 투입되며, 발사지와 탄착지에 인원이 동시 배치되어야 하므로 수행 인원이 지상정치시험 대비 많이 필요하다.

Table 2. Comparison of firing test and alternative test

Category	Firing test[5]	Alternative test
Fuze	Activate fuze	Alternative fuze assembly
Test method	Fire with ammo., charge, primer, fuze	Only firing ammo.
Fall radius	Irregular, Affected by weather	< 50 m
Candle combustion height	600 m	43 m
Test field condition	Available to flight over 17.5 km	50 m radius open land
Number of people required for test	20	< 10

3.2.2 측정항목 비교

발사시험과 지상정치시험의 측정 항목을 비교하여 Table 3과 같이 나타냈다. 지상정치시험은 155mm 조명탄 KM485A2 국방규격[7]에서 조명탄의 만족스런 기능으로 명시된 “조명통집결합체의 방출, 유효조명을 보장하는 조명제의 점화 및 적절한 매달림”을 평가할 수 있다. 또한, 발사시험 시 시야 제한 등으로 정확하게 확인이 불가능한 지연시간, 조명통 방출여부, 조명통집결합체 방출 여부 등을 지상정치시험 시 정확하게 확인할 수 있다. 이와 같이 155mm 조명탄 지상정치시험은 발사시험의 측정 항목들에 대한 평가가 가능하며, 지연시간 등 발사시험으로는 확인할 수 없는 조명탄의 성능까지 확인할 수 있어 발사시험을 대체하여 ASRP 시험에 적용 가능하다.

Table 3. Comparison of measurements between tests

Measurement	Firing test	Alternative test
Canister assy. expelling	△	○
Delay time	X	○
Candle assy. expelling	△	○
Parachute function	○	○
Illumination time	○	○

3.2.3 조명효율에 영향을 미치는 주요인자

발사시험과 지상정치 시험의 시험 환경이 다르기 때문에 조명효율(조명시간)에 영향을 줄 수 있는 요인들을 확인해봤다. 조명 효율에 영향을 미치는 주요인자들은 반응열, 조성(성분), 가교제의 종류, 입자크기 및 분포, 충전압력, 조명제 직경, 조명통 재질 및 도포, 온도 및 압력, 회전, 수분 및 안정성, 점화제 및 발화제의 종류 등이 있다[8]. 이 중 온도 및 압력을 제외한 나머지는 조명제의 특성이기에 시험 방법에 따라 차이가 발생하지는 않는다. 발사시험과 지상정치시험의 가장 큰 차이점은 조명탄 연소가 시작되는 높이이다. 발사시험의 경우 조명통 집결합체로부터 조명통이 분리되어 주낙하산이 전개되며 조명제가 연소하기 시작하는 높이는 600 m이고, 지상정치시험의 경우 대략 43 m이다. 높이에 따른 주변 온도 및 압력이 다르기 때문에 조명효율에 어느 정도 영향을 미치는 지 비교해봤다. 발사시험의 조명제 연소 시작 높이에서의 온도는 11 °C, 기압은 0.93 atm, 지상정치시험의 조명제 연소 시작 높이에서의 온도는 14.7 °C, 기

압은 0.99 atm이다. 온도가 높아지면 기체의 분자운동 및 반응이 활발해져 연소속도가 증가하고, 연소속도가 증가하면 조명시간이 짧아져서 조명효율 차이가 발생한다[8,9]. 하지만, 조명제의 표면온도는 380 °C 이상으로 3.7 °C의 대기 온도 차이에 따른 조명시간의 변화는 거의 없다고 볼 수 있다. 압력의 경우도 마찬가지로 압력이 높아지면 분자 간의 간격이 좁아지면서 유효 충돌이 증가하여 연소 한계가 커지고 연소속도가 증가한다[8,9]. 연소속도 증가는 조명시간을 단축시키지만 지상정치시험 시 기존시험보다 압력이 0.06 atm (0.006 Mpa) 높으며, 이는 무시할 수 있는 만큼 작아서 조명시간에 미치는 영향은 미비하다.

4. 시험 결과

서론에 언급한 다양한 원인들로 조명탄 발사시험이 제한되어, 최근 10년동안 155mm 조명탄 M485A2, KM485A2 발사시험은 5로트(100발)만을 수행했다. 이는 ASRP 필요물량(123로트) 대비 4% 정도이다. 반면 지상정치시험은 '20년 한 해 9로트(90발)의 조명탄 시험을 수행했다[10]. 발사시험은 저장약, 고장약으로 각 10발씩 사격하여 1로트 당 20발을 평가했지만, 지상정치시험은 시험 절차서를 개정하여 1로트 당 10발을 평가했다. 155mm 조명탄 ASRP는 '19년부터 지상정치시험으로 대체하여 수행 중이고, 저장탄약시험절차서의 중결점 사항인 방출 불량, 조명시간에 따른 신뢰도를 분석했다.

4.1 방출, 조명기능 신뢰도

사격시험 결과, '74년 제조된 로트 이후로는 방출 및 조명기능 불량이 전혀 발생하지 않았으나, '74년 이전에 제조된 로트에서는 저장기간이 경과함에 따라 조명탄 방출 불량이 발생하는 경향을 보였다. 조명기능은 1차, 2차 방출이 완료된 탄약 중 조명제의 점화 여부를 확인하는 것으로, 시험한 모든 로트에서 불량 없이 잘 작동했음을 Table 4에서 확인할 수 있다. 로트 번호 M-는 M485A2, KM-는 KM485A2를 의미하여 저장기간이 오래된 로트부터 순번을 정했다. 음영부분은 방출장약 문제로 개수 정비가 완료된 로트들을 나타내며, 방출장약 교체 및 정비 후에는 방출 불량이 발생하지 않았다.

방출, 조명기능에 따른 조명탄의 신뢰도는 Fig. 11과 같으며, 저장기간이 오래됐지만 개수 정비를 한 로트들

을 제외하면, 저장기간이 47년 이상 된 로트들에서 조명탄의 신뢰도가 급격하게 낮아지는 것을 알 수 있다.

Table 4. The reliability by expelling and illum. function

Lot No.	Year Mfd.	Age at test (years)	Defects		Expelling Reliability		Illum. Reliability	
			Expelling	Illum. <75sec	Point (%)	90% Lower CL	Point (%)	90% Lower CL
M-1	'68	53	0	0	100.0	79.4	100.0	79.4
M-2	'73	48	1	0	90.0	66.3	100.0	77.4
M-3	'74	48	2	0	80.0	55.0	100.0	75.0
M-4	'74	47	5	0	50.0	26.7	100.0	63.1
M-5	'75	47	0	0	100.0	79.4	100.0	79.4
M-6	'75	46	0	0	100.0	79.4	100.0	79.4
M-7	'75	45	0	0	100.0	79.4	100.0	79.4
M-8	'87	34	0	0	100.0	79.4	100.0	79.4
KM-1	'89	32	0	0	100.0	79.4	100.0	79.4
KM-2	'90	32	0	0	100.0	79.4	100.0	72.0
KM-3	'91	30	0	0	100.0	79.4	100.0	79.4
KM-4	'92	30	0	0	100.0	79.4	100.0	79.4
KM-5	'92	30	0	0	100.0	79.4	100.0	77.4
KM-6	'92	29	0	0	100.0	79.4	100.0	79.4
KM-7	'93	28	0	0	100.0	79.4	100.0	79.4
Total			8	0	94.7	91.5	100.0	98.3

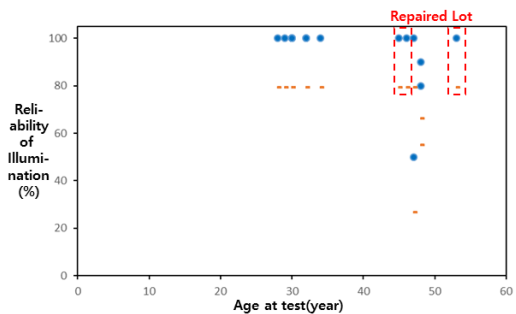


Fig. 10. Trend in reliability of illumination by age at test

4.2 조명시간 신뢰도

155mm 조명탄 M485A2, KM485A2는 ASRP 기능 시험 시 75초 이상의 유효조명시간을 가져야 한다. 1, 2차 방출이 원활하게 이뤄졌고, 지면에 낙하하여 조명제가 완전하게 연소된 조명탄들에 대해서만 조명시간을 평가했으며, 각 로트별 조명시간의 최대, 최소, 평균, 표준편차는 Table 5와 같다. 방출 불량이나 물웅덩이에 낙하여 조명제가 소화된 경우는 시료수에서 제외했다.

Table 5. Illumination time by lot

Lot No.	Age at test (years)	Expelling defect	Fall in water	Illumination time(sec)			
				Max	Min	Ave.	SD
M-1	53	0	1	151	116	134.8	12.357
M-2	48	1	1	164	148	155.9	5.083
M-3	48	2	0	159	137	147.5	8.552
M-4	47	5	0	155	140	147.8	5.848
M-5	47	0	0	175	108	153.5	20.211
M-6	46	0	0	164	110	146.6	15.749
M-7	45	0	1	155	149	151.3	2.398
M-8	34	0	0	158	143	151.8	4.756
KM-1	32	0	1	152	100	136.2	17.711
KM-2	32	0	3	151	120	132.4	9.727
KM-3	30	0	1	153	126	138	9.950
KM-4	30	0	1	145	127	136.9	6.698
KM-5	30	0	0	149	133	143	5.077
KM-6	29	0	0	152	125	141.1	8.034
KM-7	28	0	0	145	129	136.9	5.280

로트 별 조명시간을 살펴보면 조명시간을 측정할 수 있는 모든 탄들 중, ASRP 기능 시험 중결점 사항인 75 초 미만이나 조명탄 양산 시 기준이 되는 국방규격 수락 시험 합격 기준인 100초보다 낮은 탄은 한 발도 없었다. 또한, 대부분 탄의 조명시간은 국방규격 정치 조명시간인 120초 보다도 오래 연소하는 것을 확인할 수 있었다. 정치 조명시간이란 양산 수락시험 시 조명탄의 광도를 측정하기 위해 고정된 시험대에 조명통을 고정하고 조명제가 완전하게 연소되는 데까지 걸리는 시간을 의미하며 로트 내 2개 샘플의 조명시간 미달 시 해당 로트는 불합격된다. 위와 같은 3가지 조명시간 기준에 따라 로트별 조명시간 측정 결과를 Fig. 11에 박스플롯으로 나타냈다.

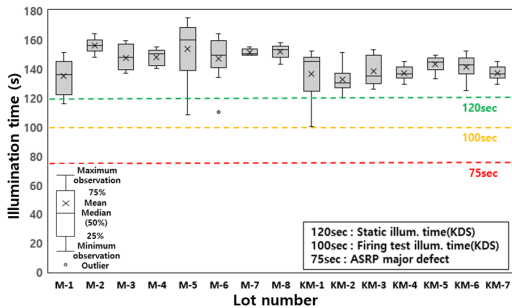


Fig. 11. The change of illumination time by each lot

저장기간에 따른 조명탄 성능을 확인하기 위해 조명탄의 저장기간을 Fig. 12와 같이 3그룹으로 나눠 조명시간을 확인했다. 저장기간이 30년 이하인 조명탄은 전부 국산 조명탄인 KM485A2로 박스플롯의 상한값, 하한값을

벗어난 이상치가 없으며, 시험한 모든 탄들이 국방규격 정치 조명시간보다 높게 나왔다. 저장기간 31~40년 그룹과 41년 이상인 그룹에서는 1~2개의 이상치가 확인됐고, 30년 이하 그룹에 비해 조명시간 분포가 넓다. ASRP 기능시험 중결점 기준 이하의 탄은 한 발도 없었으며, 모든 탄들은 국방규격 발사시험 조명시간보다 오랜 시간 조명 기능을 발휘했다.

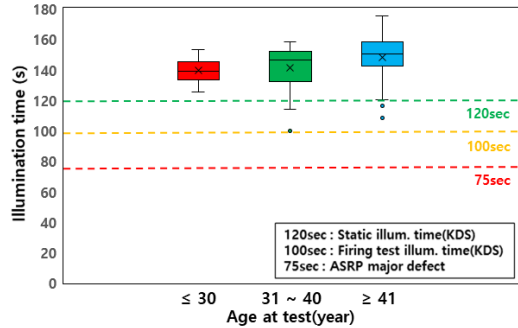


Fig. 12. The change of illumination time by age group

4.3 발사시험과 지상정치시험 결과 비교/분석

현재까지 수행한 발사시험(총 100발)과 지상정치시험(총 150발) 결과 데이터를 주요 평가항목 평가율 및 조명시간에 따라 비교, 분석하여 지상정치시험의 타당성과 발사시험 대비 우수성을 확인했다. 조명 시간은 각 시험 데이터의 분포 형태를 쉽게 눈으로 확인하기 위해 박스플롯을 그려 비교했다.

4.3.1 주요 평가 항목 평가율 비교

조명탄 주요 평가 항목들에 대한 발사시험과 지상정치시험의 평가율을 Table 6에 나타냈다. 발사시험으로 수행한 ASRP 시료수는 100발이고, 전체 시료수 대비 방출기능은 77%, 조명기능은 66%를 평가할 수 있었다. 발사시험은 다량의 신관 불발로 인해 방출기능을 제대로 확인할 수 없었기 때문에 조명탄의 평가율이 낮게 나타났다. 반면, 지상정치시험은 수행한 ASRP 시료수 150발

Table 6. Evaluation rate and comparison of illum./delay time

Category	Total sample	Expelling function	Illum. function	Average illum. time	Average delay time
Firing test	100	77% (77/100)	66% (66/100)	130.4sec	Unmeasurable
Alternative test	150	100% (150/150)	89% (133/150)	143.6sec	8.26sec

모두 1차, 2차 방출기능을 100% 확인할 수 있었고, 조명 기능은 89%를 평가할 수 있었다.

4.3.2 조명시간 비교

발사시험과 지상정치시험의 차이를 알아보기 위해 각 시험의 평균 조명시간을 Fig. 13과 같이 비교했다. 발사 시험의 전체 평균 조명시간은 130.4초, 지상정치시험의 전체 평균 조명시간은 143.6초이다. 발사시험의 경우 지상정치시험에 비해 이상치 값들이 더 많이 발생하였고, 3발은 ASRP 중결점 기준인 75초 보다도 조명시간이 짧았다. 이런 이상치 값들로 인해 발사시험의 평균 조명시간은 지상정치시험에 비해 짧지만 이상치 값을 제외한 박스플롯의 상, 하한값은 거의 유사했다.

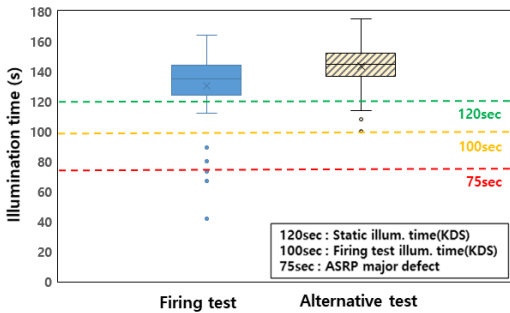


Fig. 13. Comparison of illumination time of tests

4.3.3 지연시간 비교

발사시험은 장거리를 비행하다 1차, 2차 방출이 일어나기 때문에, 1차 방출과 2차 방출 사이 지연시간을 확인하기 어렵다. 신관에 의한 1차 방출이 정상적으로 작동했다더라도, 지연시간에 따라 2차 방출 시간이 달라지고 조명제가 연소되는 높이가 달라진다. 국방규격에는 지연시간에 대해 6.5초 이상 9.0초 이하이어야 한다고 명시되어 있다. 조명탄의 정확한 성능 평가를 위해 지연시간 측정이 필요하지만, 발사시험 시 측정제한으로 인해 지연시간에 대한 평가를 하지 못하고 있다. 하지만 지상정치시험 시 발사 높이가 낮고 낙하 반경이 좁기 때문에, 1차 방출, 2차 방출과 그 사이 지연시간까지 육안으로 확인하며 시간 측정이 가능하다. Fig. 14는 지상정치시험으로 수행한 로트들에 대한 지연시간이다. 몇 개의 시료를 제외하고는 대부분 규격에 명시된 6.5초~9초 범위 내 측정된다.

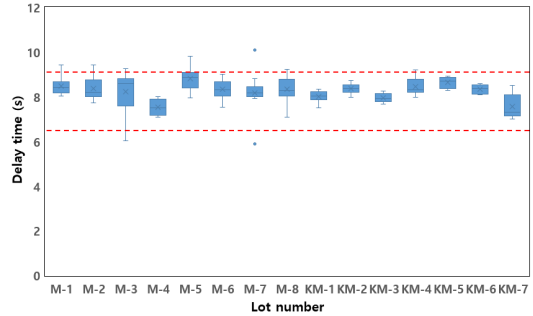


Fig. 14. Delay time by each lot

5. 결론

시험이 제한되는 155mm 조명탄 발사시험을 대체하여 수행중인 지상정치시험의 작동 원리와 기존 시험과의 차이점, 우수성 등을 확인했고 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다. 첫째, 지상정치시험은 신관 등 다른 탄약의 성능에 영향을 받지 않고 온전하게 조명탄의 성능을 평가할 수 있어 발사시험 대비 평가율이 높고 더 많은 항목들을 신뢰성 있게 평가할 수 있다. 둘째, 지상정치시험은 반경 50 m의 개활지 어디서나 수행할 수 있고, 적은 인원으로 시험 수행이 가능하며, 시험 후 조명통, 조명통집결합체 등 금속부품들을 전부 회수할 수 있기 때문에 산불, 환경오염 발생 가능성이 현저하게 낮다. 셋째, 발사 시험과 유사한 조명시간 데이터를 획득할 수 있다.

이처럼 지상정치시험을 통해 기존 시험을 완벽하게 대체하여 조명탄 ASRP의 지속적인 수행이 가능해졌다. 발사시험은 최근 10년간 5로트 밖에 수행하지 못한 반면, 지상정치시험으로는 '20년 한 해에만 9로트를 평가할 수 있었기 때문에 향후 몇 년 내 보유 중인 모든 조명탄에 대한 평가가 가능할 것으로 판단된다. 또한, 시험 제한 등으로 평가가 원활하게 진행되지 못하고 있는 다른 탄약에 지상정치시험 방법과 장치를 적용한다면 ASRP 평가율을 높일 수 있고, 신뢰성 있는 평가를 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] S. W. Park, G. S. Yoon, H. D. Kwon, "An Empirical Study on the Financial Performance of Ammunition Stockpile Reliability Program upon the Defense Management", *Journal of the Korea Academia-*

Industrial cooperation Society, Vol. 16, No. 1, pp.266-273, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.1.266>

- [2] J. W. Lee, "Ammunition Stockpile Reliability Program(ASRP) to know and understand", *Defense & Technology*, pp.102-107, 2010. 6.
- [3] J. C. Lee, J. H. Lee, H. S. Jung, "A study on the estimation of shelf-life and assessment plan of illuminating cartridges for mortar", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 21, No. 9, pp.291-300, 2020.
DOI: <https://10.5762/KAIS.2020.21.9.291>
- [4] MIL-P-48249A(AR), Military Specification, Projectile, 155MM, Illuminating, M485, Accessories for, and assembling and packing, dated 30 July 1984.
- [5] TM 43-0001-28, Army Ammunition Data Sheets, Department of the army, United States of America, 1994, pp.308-310.
- [6] H. S. Jung, J. H. Lee, Y. H. Oh, 155mm illumination ASRP results analysis, Research Report, Defense Technology and Quality, Korea, pp.41, 2020.
- [7] KDS 1320-1019, Korea Defense Standard, Projectile, 155MM, Illuminating, M485, Accessories for, and assembling and packing, dated 2 June 1987.
- [8] C. O. Lee, A study on the combustion phenomenon of candle, Research Report, Agency for Defense Development, Korea.
- [9] W. H. Hwang, A study on the burning rate and illuminate efficiency of candle, Research Report, Agency for Defense Development, Korea.
- [10] H. S. Jung, J. H. Lee, Y. H. Oh, Research on 155mm illumination alternative test, Research Report, Defense Technology and Quality, Korea, pp.15, 2021.

이 준 혁(Junhyuk Lee)

[정회원]



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

<관심분야>

정보통신, 신뢰성 평가, 통계적 품질관리

정 현 석(Hyunsuk Jung)

[정회원]



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

<관심분야>

MEMS, 신뢰성 평가, 통계적 품질관리