

신궁 장입유도탄 열전지용 전기식 착화기 국산화 개발

안만기^{*1)} · 전재현¹⁾ · 안길환²⁾ · 이승영³⁾

¹⁾ 국방기술품질원 유도전자센터

²⁾ (주)한화 종합연구소 화약탄약팀

³⁾ (주)비츠로밀텍 신제품개발팀

Localization Developments on Electric Igniter for Thermal Battery of a Missile on K-PSAM

Mahn-Ki Ahn^{*1)} · Jae-Hyun Jeon¹⁾ · Gil-hwan Ahn²⁾ · Seung-Young Lee³⁾

¹⁾ *Missile Electronics Center, Defense Agency for Technology and Quality, Korea*

²⁾ *Energetic Materials & Pyrotechnics Team, Hanwha Co., Ltd., Korea*

³⁾ *New Product Development Team, Vitzromiltech Co., Ltd., Korea*

(Received 25 November 2016 / Revised 12 April 2017 / Accepted 30 June 2017)

ABSTRACT

In this paper, authors described on localization development's results about an electric igniter in thermal battery with a pyrotechnic heat sources. Especially, the development test and evaluation(DT&E) process and the methods in the developments of the electric igniter which is parts of a domestic thermal battery on K-PSAM was in charge of government and developed for defense of a local areas in Korea. We have proposed a process of design and manufacture on the electric igniter. Finally, we verified a quality and a reliability of the electric igniter from test results by Fisher-Snedecor's law and over 99.5 %(C.L. 95 %) for K-PSAM.

Key Words : Electric Igniter(전기식 착화기), Thermal Battery(열전지), Localization Development(국산화 개발), Reliability(신뢰성), One-shot Items(일회성 아이템)

1. 서론

고체 전해질(Electrolyte)을 화약열원(Pyrotechnic heat sources)으로 녹여서 활성화시키는 열전지(Thermal battery)는 열활성식 비축전지(Heat-activated reserve batteries)로

장시간(10년 이상) 보관 및 단시간(1초 이내)에 고출력이 가능하며, 유지보수가 불필요하고 신뢰성이 탁월하다^[1]. 또한 양극(Cathode), 음극(Anode), 전해질로 구성되며, 착화기(Igniter) 동작에 의해 활성화된다.

열전지는 국내 방위산업 분야 중 정밀유도무기에 가장 많이 적용되고 있으며, 현재 국내에서는 전량 해외에 의존하고 있는 실정이다. 국내 정밀유도탄의 연구개발과 함께 주요 핵심 구성품에 대한 국산화가 추

* Corresponding author, E-mail: mkahn@dtaq.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

진되고 있으며, 양산/운용중인 무기체계에도 국산 열전지 적용을 위한 국산화사업을 활발히 진행 중이다^[2]. 또한 국산화 개발과 동시에 성능검증, 신뢰도 확보 등의 개발관리 활동을 수행하고 있다^[3,4].

국내 양산중인 휴대용 단거리 대공 유도무기체계(신궁)은 2005년부터 전력화되어 현재 군에서 운용 중이다. 그러나 탄내 구동 및 전력 조립체의 전원으로 사용되는 열전지는 현재까지 전량 해외 수입(EPT사(미), ASB사,(프))에 의존하고 있다. 특히 열전지는 수출통제 품목으로서 완성품 단위로 조달되는 시효성 물자이다. 향후, 원활한 양산 추진과 창정비 소요를 고려하여 국방기술품질원은 2011년부터 국내 연구개발 유도무기체계에 적용되는 열전지를 주요 핵심 구성품과 함께 부품국산화 개발을 추진하고 있다.

본 논문에서는 열전지의 주요 핵심 구성품 중 국내 개발한 전기식 착화기의 설계 및 제작, 그리고 성능검증 및 신뢰도 확보 결과를 제시한다.

2. 전기식 착화기 설계

2.1 전기식 착화기의 성능요구사항

열전지는 유도탄 내에 탑재되어 규정 시간 이상 안정적인 전원을 공급하는 핵심 부품으로서 높은 동작신뢰성을 요구하고 있다. 일반 전지의 구성처럼 양극(Cathode, 환원전극), 음극(Anode, 산화전극), 전해질(Electrolyte)로 구성되어 있으나 열이 발생하여 고체 전해질을 녹여주는 발열재(Heat pellet)가 있다. Fig. 1의 점화장치는 외부로부터 활성화신호를 받아 짧은 시간에 전기에너지를 열에너지로 변환하여 발열재를 점화시키는 착화기(Igniter)이다. 착화기가 동작하지 않는다면 열전지가 제기능을 수행하지 못하여 유도탄 발사가 불가능해진다. 그러므로 착화기는 열전지 발동시간(0.0 sec)내에 동작하여 에너지를 효과적으로 방출하는 장치로서 높은 신뢰도 및 안전성을 동시에 갖추어야 한다.

2.2 전기식 착화기의 자체 설계요구조건 검토

요구사항을 만족시키는 착화기를 개발하기 위하여 Table 1과 같은 해외 도입품의 최소 요구사항을 기준으로 국산화 열전지를 개발하기 위하여 Fig. 2와 같은 형상과 Table 2와 같은 개발목표를 설정하였다. 착화기는 크게 몸체 조립체, 충전화약과 마개조립체로 구성

되며, 아래와 같은 요소기술을 적용하여 설계하였다.

- ① 점화(All-Fire), 비점화(No-Fire) 조건을 만족시키는 전기-화약적(Electro-explosive) 설계방법
- ② 요구 발열량을 만족시키기 위한 폭발계열 화약류설계
- ③ 정전기, 절연저항 등 전기적 요구조건을 만족시키는 설계 및 제작
- ④ 금속-유리 접합(Glass-to-metal sealing)을 통한 기밀유지

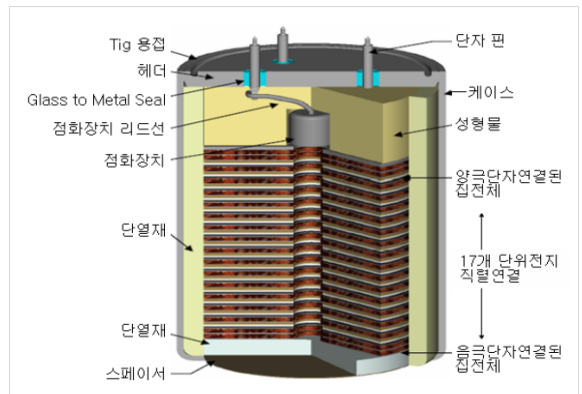


Fig. 1. The internal configuration of thermal battery

Table 1. The requirement performance of the electric igniter

요구사항	항목	기준
열전지	발동시간	0.0 sec 이하
착화기	점화감도	0.0+0.0/-0.5 A for 0+0.0/-0.1 msec
	비점화감도	0.0+0.05/-0 A or 1.0 W for 5.0+0.05/-0 min
	내부저항	1 Ω ± 0.1
	신뢰도	99.5 % @ C.L.95 %

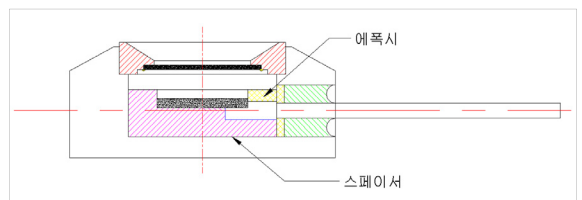


Fig. 2. Design of the electric igniter

Table 2. Development requirement of the electric igniter

항목		개발목표
중 량		2.0 g 이하
치수		Φ8.80 × 4.50 mm
기밀		1×10 ⁻⁶ cc, He/sec 이하
점화 기능	점화감도	5 A, 5 ms
	비점화감도	1 A or 1 W for 5 min
	점화지연시간	○ ms 이내
	최대압력도달시간	○○ ms 이내
	최대압력	50 psi 이상
	절연저항	50 MΩ 이상
	내부저항	1.0 ± 0.1 Ω
	정 전 기	25 kV, 비점화
환경 조건	내 전 압	0.1 mA 이하
	온도	고온(71 ℃) / 저온(-45 ℃)
	온도 충격	고온(60 ℃) / 저온(-40 ℃)
	진동	10~70 Hz, 3축 방향
	충격	150 G, 3 msec, 3축 방향
기타 시험		MIL-DTL-23659E 적용
신뢰도		99.5 % 이상 @ C.L.95 %

이는 제한된 정보를 바탕으로 완성품 단위로 도입하는 현실에서 구성품 단위의 성능 요구사항을 설정하는 것은 타 구성 부품(집전체, 발열재, 단열재 등)간 호환성을 고려해야 하는 것이 필수적이었다.

2.2.1 몸체 조립체

일반적인 전기식 착화기 몸체 조립체는 몸체, 접촉핀, 유리밀봉재, 발열선, 절연체 등으로 구성된다. 그중 몸체, 접촉핀, 유리밀봉재는 착화기의 전기적 특성 기밀 특성 등을 고려하여 설계하였다.

2.2.1.1 몸체, 접촉핀, 유리밀봉재

전기 전도성, 강도, 내부식성, 용접성, 가공성 등을 고려하고, 기밀 요구조건을 만족시키기 위해 압축접합 방법을 적용한다. 이는 유리보다 큰 열팽창을 갖는 금속을 이용해 온도가 높은 로에서 금속이 팽창됨으로서 유리가 압축응력을 받아 강화하는 방법이다. 몸체는 금속-유리 접합으로 널리 사용되고 있는 스테인레스 재질(STS 304 L), 접촉핀은 52 Ni-Fe 합금으로 선정하였다. 유리밀봉재(Glass sealant)는 열팽창계수와 화학적 특성을 고려하여 Corning社의 No. 9010과 유사 제품을 선택하였다.

2.2.1.2 절연체

착화기의 비점화 특성을 만족시키기 위하여 열 흡수 및 절연성을 부여하기 위해서 열전도율이 우수한 붕소-질소화물(BN, Boron Nitride)을 적용하였다. 내전압, 정전기 등을 방지하기 위하여 몸체에 발화 간격(Spark gap)을 주어 안전성을 확보하였다.

2.2.1.3 발열선

기폭약과 함께 점화장치의 중요한 특성인 점화전류 및 점화지연시간 등을 결정하는 주요 부품으로 점화/비점화 전류, 내부저항의 조건에서 발열선에 공급된 에너지를 고려하여 직경 2.3 mm의 스테인레스(STS 304) 발열선을 적용하였다.

2.2.2 총전화약

2.2.2.1 기폭약

발열선과 함께 착화기의 초기 성능을 좌우하는 중요한 혼합물이다. 열에 민감하고 고에너지를 함유하고 있는 조성이어야만 대단히 빠른 초기 성능을 기대할 수 있다. 따라서 기폭약으로 널리 사용되고 있는 ZPP (Zirconium Potassium Perchlorate, Zr-KClO₄)를 선택 적용하였다. 혼합화약류인 ZPP는 산화제(KClO₄)와 환원제(Zr), 바인더(Graphite, Viton A)로 구성되어 있다.

2.2.2.2 점화제

기폭약으로부터 에너지를 공급 받아 열전지의 열원을 점화시켜주는 역할을 수행하는 화약으로서 착화기의 방출 에너지를 결정해 주는 주요 인자이다. 열전지에서는 주목적이 압력형성이 아닌 열 에너지를 전달하는 것이기 때문에 생성물 중 고체상대 비율이 높은 점화제(AIA)를 선택하여 적용하였다.

Table 3. Properties and composition of ZPP

성분	규격	무게 조성 (%, 참고치)
Zirconium	MIL-Z-399 II급, 1종 또는 2종	45.3
Potassium Perchlorate	MIL-P-217 A급	53.0
Graphite	MIL-G-155	1.1
Viton	A형	0.6
확인 항목		특성(참고치)
반응열	1,000 cal/gr 이상	
수분	0.25 % 이하	
Electrostatic sensitivity	0.01125 J	
Autoignition Temperature(DTA)	353 °C @ 10 °C/min	
Impact sensitivity	50 kg.cm.	
Gas/Solids Ratio	23.5/76.5	

Table 4. Properties and composition of A1A

성분	적용 사양	무게 조성 (%, 참고치)
Zirconium	MIL-Z-399 II급, 1종	65.0
Ferric Oxide	-	25.0
Celite	-	10.0
특성	- Autoignition Temperature(DTA) : 456 °C @ 10 °C/min - Electrostatic sensitivity : > 3.125 J - Gas/Solids Ratio : 100 % Solids	

2.2.3 마개 조립체

화약이 충전된 몸체와 결합되어 기밀이 유지하는 역할을 하는 스테인레스 재질(STS 304)의 구성부품이다. 효과적인 에너지 전달 및 작동 시 전지 내부에 파편 생성을 방지하기 위하여 파단면에 (+) 홈 및 마개 링을 설계, 적용하였다.

3. 전기식 착화기 제작 및 검증활동

3.1 시제품 제작

3.1.1 몸체 조립체 제작

가공된 몸체와 접촉핀, 유리밀봉재 및 절연체를 조립한 후, 소결용 카본 지그에 놓고 컨베이어 벨트 방식의 전기로에 시료를 투입하여 금속-유리 접합을 수행하였다. 금속-유리 접합이 된 몸체는 60 °C의 오븐에서 2시간 예열시킨 다음 예폭시 접착제를 절연체의 빈 공간에 주입하고 60 °C의 오븐에서 6시간 이상 경화시키게 된다. 이렇게 경화된 절연체 부분을 화약이 충전될 수 있도록 가공하였다.

3.1.2. 몸체 조립체와 발열선 용접

몸체 조립체의 접촉핀에 발열선을 점 용접(Spot welding)하여 발열선 저항값이 $1.0 \pm 0.1 \Omega$ 되도록 발열선 조립체를 제작한다. 금속판을 포개어 놓고 전극 끝을 금속판 아래 위에 대고 비교적 작은 부분에 전류 및 가압력을 집중시켜 국부적으로 가열하는 동시에 전극으로 압력을 가하는 방법이다. 이렇게 제작된 형상은 Fig. 3과 같다.

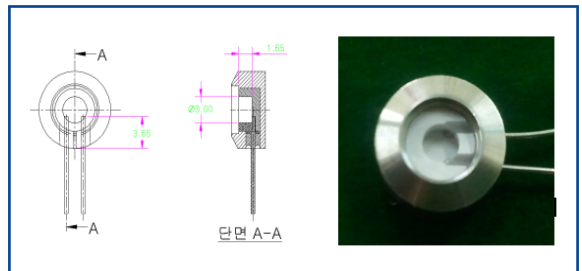


Fig. 3. Welding shape of body and heat wire

3.1.3 기폭약-점화제 투입

발열선이 용접된 몸체 조립체에 투입될 충전화약량은 기폭약(ZPP) 5 mg, 점화제(A1A) 10 mg을 투입하였다. 상세한 사항은 3.2절의 검증활동에 기술하였다.

3.1.4 마개 조립체와 몸체 조립체간 용접

화약이 충전된 몸체 조립체의 점화제 위에 절연체를 넣고 마개와 마개링을 TIG 용접하여 착화기를 제작하였다. 소모성인 텅스텐 전극과 모재 사이에 아크를 발생시켜 비활성 가스(헬륨)에 의해 용융 금속을 대기로부터 보호하고, 아크열에 의해 모재를 용융 접

합하는 방식이다. 화약이 충전된 상태에서 열을 가하게 되므로 용접시간 및 전류 등을 적절하게 설정하여야 한다. 용접부위에 에너지가 과도하게 전달되었을 경우, 열이 화약에 전달되어 용접 중 폭발할 염려가 있으므로 절연체(BN 파우더)를 삽입한 후, 용접을 실시하였다.

3.2 시제품의 검증

착화기의 운용도중 우발 점화되면 막대한 재산 피해나 인명의 손실이 초래되므로, 높은 신뢰도와 안전성을 요구한다. 따라서 착화기 설계 시, 최우선 고려사항은 비점화 및 전기적 특성(정전기, 내전압, 절연 등)의 만족 여부다. 또한 공개된 요구항목 외에 신궁 탄내 열전지의 주요 구성품간 호환성을 위해 최대압력, 최대압력도달시간 등을 설정하였고 그 외 개발목표 항목은 시험평가를 통하여 검증하였다.

3.2.1 비점화 및 전기적 특성(정전기, 내전압 등)

상온에서 비점화감도 조건(1A or 1 W for 5 min)을 유지하기 위하여 열전도율이 높고 기폭감도가 우수한 Zr계열의 화약을 사용하고, 열을 내부에 축적시키지 않고 외부로 발산시키기 위하여 열전도도가 좋은 절연체 삽입 및 Spark gap을 통한 비점화 및 전기적 특성을 확보하도록 설계하여 시제품의 성능을 확인하였다.



Fig. 4. Tester for thermal property

비점화 특성을 확인하기 위하여 제작된 착화기의 두 핀을 열특성 시험기와 연결한 후 400 mV의 전류를 100 ms 동안 공급하였을 때, 발열선의 온도 변화를 측정해 보았다. 시험 결과, 기존 착화기의 측정값(약 30 mV)보다 2배 이상 높은 70 mV의 값이 측정되었다. 즉, 접촉핀에서 발생한 열이 다른 구성품에 전달되지

못하고 발열선 및 기폭약에 전달되어 우발점화가 생긴다고 판단되었다. 따라서 절연체와 접촉핀의 접촉부위를 최대한 늘릴 수 있도록 형상을 L자 형태로 변경(접촉핀의 바닥면은 절연체와 윗면은 에폭시와 접촉, 거리를 1.7 mm에서 1.9 mm로 연장)하여 착화기 형상을 보완하였다. 기존 측정값보다 훨씬 낮은 30 mV가 측정되었으며, 우발점화가 발생되지 않는 것으로 확인하였다.

3.2.2 충전화약 투입량의 적절성

발열선이 용접된 몸체 조립체에 충전화약량은 기폭약(ZPP) 5 mg을 투입하여 검증하였다. 기폭약은 고온-고압의 가스를 형성하는 점화제를 점화시켜주는 역할을 하며, 점화제는 발화점 이상의 온도에 도달하면 발화, 연소되게 된다. 10 cc Closed Bomb 성능시험으로 측정된 압력을 통해 간접적으로 기폭약이 점화제(A1A)에 우수하게 점화됨을 확인할 수 있었다.

또한, 점화제와 기폭약의 최적 투입량을 결정하기 위해 Table 5와 같이 평가를 실시하였다. 아래 Table 5의 시험결과 시제 #1 ~ #4번 모두 요구되어진 목표성능(최대압력 도달시간 약 5 ms, 최대압력 약 65 psig)과 유사한 결과를 보여주었다. 기폭약이 약 1 mg씩 증가할 때, 최대압력이 약 10 psig 정도 증가하는 것을 확인할 수 있었으며 기폭약이 최대압력에 큰 외산 착화기로부터 측정된 요구조건에 근접한 시제 #3으로 설계를 확정하였고, 효과적인 에너지 전달 여부는 Fig. 5와 같이 발생하는 화염을 고속카메라로 촬영하여 확인하였다.

Table 5. Results of performance test

시제 구분 (ZPP-A1A)	Delay Time(ms)	Pmax Time(ms)	Pmax (psig)	비고
#1 (7 mg - 8 mg)	1.86	3.00	81	
#2 (6 mg - 10 mg)	1.51	2.67	71	
#3 (5 mg - 10 mg)	1.88	2.90	61	선정
#4 (5 mg - 5 mg)	2.28	3.00	48	



Fig. 5. Flame shape of the electric igniter

3.2.3 마개 조립체 검증

착화기 작동 시 마개가 찢어지거나 방출되는 것을 방지하기 위하여 마개에 (+) 패턴으로 벌어지도록 설계하였으나, 시험결과 상부몸체 전체가 떨어져 나가는 현상이 발생되었다. 이를 방지하기 위하여 가이드 링을 적용하여 기폭 시 Fig. 6과 같이 마개가 몸체에 붙어있는 형상을 확인하였다.



Fig. 6. Shape of the electronic igniter after firing

4. 개발된 전기식 착화기의 개발시험평가

착화기 개발 시 기본성능을 비롯한 환경 안정성을 확보하기 위하여 적용규격(KDS 1377-1002 및 MIL-DTL-23659E, MIL-STD-331)을 적용하였다. 또한 착화기의 신뢰성을 확인하기 위하여 로트(LOT) 수량 외에 추가적으로 시료를 확보하였다. MIL-DTL-23659E를 적용하여 416EA를 시험 로트로 구성하였으며, 일부 시험 항목은 개발업체에서 수행한 결과를 확인하였다. 주요 수행사항은 원자재 분석, 외형 및 구성부품의 검사, 완제품의 성능 및 환경시험, 신뢰도 확인 등이며 개발업체 및 공인기관에 의뢰하여 6개월간 진행하였다.

4.1 개발시험평가 결과

적용 규격에 의거 각 시험온도(상온, 고온, 저온)대역에서 시제를 시험하고 환경시험 전/후로 기본성능을 확인하였다. 시험 수량 및 현황은 Table 6과 같으며, 각 항목의 시험결과는 양호하였다. 또한 동일 로트에서 제작된 착화기를 국산화 열전지(완성품)에 적용하여 정상 동작함을 확인하였다.

Table 6. Evaluation item for electric igniter

시험 항목	기준	시험수량																수행 수량		
		50	6	6	20	20	20	20	20	20	20	2	2	2	2	2	2		176	
내전압	누전 0.1mA이하	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	416
X-Ray	결함 여부	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	416
기밀	10 ³ cc/sec 이하	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	416
저항	1.0±0.1Ω	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	416
정전기	비검출	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	416
표류전압	비검출	X																		50
비점화	1W-1A 5분 비점화(±21℃)	X																		50
40ft이하	비점화	X																		6
6ft이하	비점화-성능		X																	6
충격	성능			X							X	X	X	X	X	X	X	X	X	38
진동	성능				X						X	X	X	X	X	X	X	X	X	38
온습도	성능					X														20
Cook-off	1W 비점화 조건 유지						X													20
고온노출	비점화							X												20
접수분무	성능								X											20
X-Ray	결함 여부		X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X	X	X	84
기밀	10 ³ cc/sec 이하		X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X	X	X	84
정전기	비검출		X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	124
비점화	1W-1A 5분 비점화(±21℃)		X	X	X	X		X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	104
	1W-1A 5분 비점화(±107℃)						X	X												40
Self-fire 성능	성능(±21℃)	X	X	X	X				X		X			X						X 298
	성능(±62℃)					X					X	X		X						X 46
	성능(±107℃)						X	X				X		X						X 46

4.2 착화기 신뢰도

기존 해외 생산업체는 약 20~30년간의 개발이력으로 다양한 모델에 대한 신뢰도를 제시하고 있다. 그러나 현재 국내 도입품에 대해서는 명확한 신뢰수준 및 신뢰도를 제시하고 있지 않은 것이 현실이다. 금번 개발한 전기식 착화기의 신뢰도는 신뢰수준 95 %를 기준으로 확인하였다.

Table 7. Reliability of the electronic igniter

순	생산수량	정상작동	신뢰도	비고
1	1,320개	1,320개	99.769 % (C.L. 95 %, 예측)	
2			99.577 % (C.L. 95 %, 실측)	입증 완료

신뢰도 분석은 One-shot 아이템인 착화기의 가부데이터를 활용하여 아래의 식 (1) Fisher-Snedecor법칙^[5-7]을 적용하였고 실측 및 예측 신뢰도로 구분하여 착화기 매 생산로트 시험 수행 결과 합격된 로트의 제작수량은 정상 동작한다는 가정 하에 국산화 개발 LOT와 추가 생산시제 수량을 포함하여 총 1,320개를 기준으로 분석하였다.

$$P \geq 1 - \frac{(r+1) \cdot F^{0.95}(2(r+1), 2(N-r))}{(N-r) + (r+1) \cdot F^{0.95}(2(r+1), 2(N+r))} \quad (1)$$

(N : 시료수, r : 고장수, 신뢰수준은 95 %를 적용함)

이는 신뢰도 분석에 있어 검증 수량이 제한적인 측면이 있으나, 국내 개발된 전기식 착화기에서 개발단계부터 신뢰도를 분석한 사례로 볼 수 있다. Table 7에서와 같이 개발된 착화기는 개발목표인 신뢰도 99.5 % 이상임을 확인 할 수 있었다. 또한 유사한 방법으로 향후 양산 및 운용단계에서 추가적인 모수의 확보와 실측을 통해 향상된 신뢰도를 확보할 수 있을 것이다.

5. 결론 및 고찰

본 부품국산화 개발의 일환으로 주요 핵심부품의 국내 개발과정을 정리하고, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 해외 도입 착화기의 요구 규격으로부터 설정된 개발 목표를 충족하는 국내 전기식 착화기 개발하였다.
- 2) 국내 개발 전기식 착화기의 경우, ZPP(5 mg)와 A1A(10 mg)화약을 사용하였고, 각각의 구성품의 설계를 확정하였다.
- 3) 국내 개발 전기식 착화기의 경우, 생산수량과 성능 시험 결과로부터 99.5%(신뢰수준 95 %) 이상의 신뢰도를 확보하였다.

이러한 개발활동은 타 무기체계에서도 요구하는 양질의 전기식 착화기를 설계 및 제작할 수 있는 능력 확보와 국내 열전지 개발에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] David Linden, "Handbook of Batteries," Second Edition, McGraw-Hill, 1994.
- [2] M. Ahn, S. Lee, Y. Ko, T. Lee, W. Whang, Y. Whang, "Strategies for Development in the Localization on Thermal Battery," KIMST Annual Conference Proceedings, Page 234. 2011.
- [3] S. Back, Y. Sin, S. Lee, M. Ahn, C. Kim, "Single Sample Grouping Methodology using Combining Date," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 17, No. 5, pp. 1-9, 2014.
- [4] M. Ahn, I. Jang, "Strategy for the Regulation of Reliability on Igniter in Thermal Battery for Missiles," KIMST Annual Conference Proceedings, Page 154. 2015.
- [5] Sherwin, E. R., "Analysis of One-Shot Devices," Selected Topics in Assurance Related Technologies, Reliability Analysis Center(RAC), Vol. 7, #4.
- [6] Huairui Guo, Honecker. S, Mettas. A, Ogden. D, "Reliability Estimation for One-Shot Systems with Zero Component Test Failures," RAMS2010, pp. 1-7, 2010.
- [7] Craig J. willits, Dennis C. Dietz, Albert H. Moore, "Series-System Reliability-Estimation Using Very Small Binomial Samples," IEEE Transactions on Reliability, Vol. 46, No. 2, pp. 296-302, 1997.