

## 연습용 회로지령탄약 발사통 신관 불발율 감소에 관한 연구

이종현<sup>1\*</sup>, 정희철<sup>1</sup>, 박준성<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>국방기술품질원, <sup>2</sup>(주)한화

### Research on the Decrease of Dud Ammunition Rate of Grenade Fuzes of Remote Controlled Muniton System(For practice) through Quality Improvement

Jong Hyeon Lee<sup>1\*</sup>, Hee Chur Jung<sup>1</sup>, Jun Sung Park<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Defense Agency for Technology Quality  
<sup>2</sup>Hanwha

**요약** 최근 연습용 회로지령탄약 발사통 정부 수락시험 결과, 총 125발의 시료수 중 9발의 불발이 발생되었다. 국방 규격을 충족하였으나, 불발율은 7.2 %로 공정 품질수준에 따른 시료수 절감과 AQL의 개선, 군 훈련효과 증대 및 사용자 안전을 확보하기 위해 불발율의 최소화가 필요하였다.

연습용 회로지령탄약 발사통의 경우 타격식 뇌관이 적용되나, 일반적인 공이 타격식과는 달리 작동기 압력으로 타격되는 구조를 가지고 있어 전산 유체역학 해석을 통해 뇌관 면의 기울기에 따른 작동에너지를 확인하였다. 분석 결과, 뇌관 면의 기울기가 커질수록 작동성 약화 및 후출 가능성이 높아짐을 확인하였다. 이를 개선하기 위해 신관 클립핑 공정개선 및 뇌관 홀더 안착부 증대 설계변경을 진행하였고, 동일 시료수로 성능확인 결과 전량 작동되어 불발율 0%의 결과를 도출하였다. 이로써 연습용 회로지령탄약 발사통의 신뢰성, 성능을 개선할 수 있었으며, 추후 유사 탄약 개발 시 도면 및 공정 설계에 기여할 것으로 판단된다.

**Abstract** At the recent practice test of the Remote Controlled Muniton system (for practice), nine out of 125 samples were generated. Although 7.2 % misfires occurred, the acceptance test met the defense standards. Minimizing the probability of broken fuses is essential to reducing the number of samples and improving the AQL according to the process quality. In addition, it is necessary to increase military training and ensure user safety. In the case of practical grenades, hit-type detonators are applied. Unlike the normal design, which takes a hit by strikers, a different design of a hit by pressure from a pressure generator was used. This study analyzed the detonator surface through computational fluid dynamics. The results showed that the probability of functional weakness and retraction increased with increasing slope of the detonator surface. To overcome this, design changes were made to improve the fuse crimping process and increase the detonator holder seat. A performance test with the same number of samples from the whole quantity was operated. The probability of broken fuses was 0 %. Therefore, the reliability and performance of the ammunition can be improved and is expected to contribute to the drawing and process design when developing similar ammunition.

**Keywords** : Remote Controlled Muniton System, Dud Probability, Detonator, Crimping, Holder Seat

\*Corresponding Author : Jong Hyeon Lee(Defense Agency for Technology Quality)

email: ljh3629@naver.com

Received November 22, 2019

Accepted March 6, 2020

Revised December 24, 2019

Published March 31, 2020

## 1. 서론

회로지령탄약 발사통은 전술과 연습용으로 구분되며, 발사통의 합격 품질한계(AQL: Acceptance Quality Level, 이하 AQL)는 검사수준 G-1에 전술용은 2.5 %, 연습용은 4.0 %이다. 전술용은 공정품질수준과 연계하여 시료수 및 AQL 개선을 검토하였다[1]. 연습용의 경우 최근 정부 수락시험 중 규격을 만족하였으나, 9발의 불발이 발생(불발율 7.2 %)하였다. 평가는 품질보증요구서(QAR: Quality Assurance Requirement, 이하 QAR)[2]를 기준으로 진행하였으며, 총 125발을 평가하였다. 전술용과 같이 연습용 발사통의 공정 품질수준에 따른 시료수 절감 및 AQL을 개선하기 위해서는 불발율 개선을 통한 신뢰성 향상이 필요하다. 또한, 탄약의 높은 불발률은 훈련 효과를 감소시키고, 사용자의 제품 신뢰도를 저하시키며 안전사고의 발생 가능성이 존재한다. 따라서 군 전력화에 있어 불발율 감소는 중요하다.

본 연구에서는 연습용 회로지령탄약 발사통 신관의 불발 원인 분석 및 품질을 개선하였다. 불발의 주요 원인 분석을 위하여 뇌관과 작동기(압력-타격식)의 전산유체역학(CFD: Computer Fluid Dynamics, 이하 CFD) 해석을 수행하였고 뇌관 불발을 줄일 수 있는 기울기를 최적화하였다. 또한 시뮬레이션 결과를 제품에 반영하기 위하여 신관 클립핑 공정개선과 뇌관 홀더 안착 부분의 설계변경을 통해 작동기로부터 균일한 압력을 받도록 하여 연습용 회로지령탄약 발사통의 신뢰성 및 성능을 확보하였다.

## 2. 본론

### 2.1 연습용 회로지령탄약 개요

연습용 회로지령탄약의 형상은 Fig. 1과 같으며, 발사통 형상 및 내부구조는 Fig. 2에 나타내었다. 연습용 자탄은 발사통에 탑재되고, 작동기(압력발생기)의 압력으로 발사통에서 방출된 후 폭발을 발생한다.

연습용 회로지령탄약의 작동 메커니즘은 Table 1과 같다. 원격제어무선장치로부터 동작탐지기로 살상 명령이 인가되면 동작탐지기에서 발사통 커넥터로 전기적인 기폭 신호가 인가된다. 신호는 발사통 내부에 있는 작동기를 작동시키고, 이때의 발생압력으로 타격식 뇌관에 물리적인 힘이 가해지게 된다. 이후 뇌관이 작동되며 점화제-지연제-점화제-폭음제 순으로 기능이 이루어져 최종적으로 발생된 폭발을 통해 훈련 효과를 달성한다.

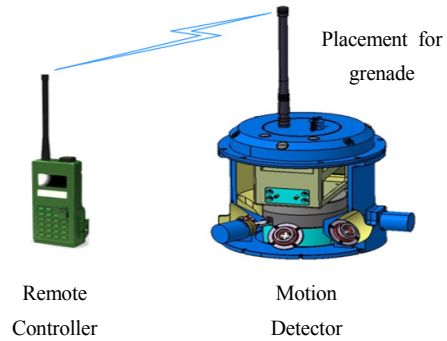


Fig. 1. Remote Controlled Muniton System(For Practice) shape

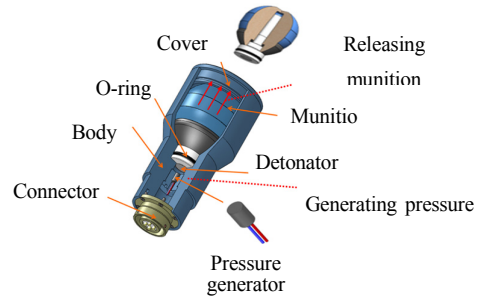


Fig. 2. Remote Controlled Muniton System(For Practice) Grenade shape

Table 1. Operating Mechanism

Operating	
1	A remote controller send 'Ignition signal' to a motion detector
2	A motion detector receives 'Ignition signal' from a remote controller
3	Generating pressure by pressure generator
4	Igniting a detonator & a munition is released by pressure generator
5	After combustion of fire retarder, generating explosive sound

### 2.2 타격식 뇌관 불발의 이론적 접근

#### 2.2.1 타격식 뇌관

일반적으로 탄의 최종 목표인 주장약(main charge) 또는 장약을 기폭 시키는데 일련의 화학군들이 사용되며, 그 중 최초 요소인 뇌관은 격침식, 타격식, 전기식 뇌관으로 구분된다. 타격식 뇌관은 썩 중심부가 외부 자극으로 인해 타격되면, 뇌관화약이 터져 후속 폭발 계열을 점화시킨다.

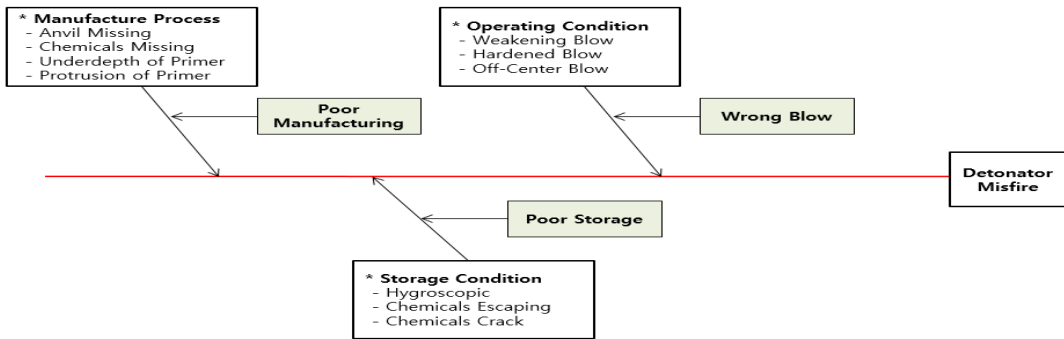


Fig. 3. Cause & Effect diagram(detonator misfired)

### 2.2.2 타격식 뇌관 불발 요인

일반적으로 타격식 뇌관이 불발될 수 있는 조건을 Fig. 3에 나타내었다. 타격식 뇌관이 불발이 발생할 수 있는 조건은 크게 3가지(제조공정, 보관조건, 작동조건 미흡)이다. 연습용 회로지령탄약 발사통의 보관 조건은 당 해년도 생산 품목임을 고려하여 불발 원인에서 제외 하였다. 정부 수락시험 시 불발 된 자탄을 회수한 결과 Fig. 4와 같이 미 기폭 된 뇌관(8발)과 뇌관 후출(1발)을 확인하였다. 따라서 불발 주요 원인을 제조공정과 작동조건 미흡으로 판단하여 원인 분석을 수행하였다.

### 2.2.3 연습용 발사통 뇌관 작동 메커니즘

연습용 발사통의 뇌관 작동 메커니즘은 Fig. 5와 같다. 일반적으로 공이(striker)를 통해 뇌관 껍을 타격하는 방식이 아닌, 작동기로부터 발생된 폭발압력으로 뇌관을 작동시킨다. 즉, 압력식 타격은 순간적으로 발생된 폭발압력이 뇌관 껍을 타격하는 메커니즘으로 직접적으로 타격하는 매개체가 없기 때문에 뇌관 중심부에 적절한 힘이 전달되는 것이 중요하다. 제조업체 현장 방문을 통해 뇌관 조립공정을 검토하였으며, Fig. 6과 같이 뇌관의 안착상태의 편차가 있음을 확인하였다. 따라서 작동기 압력이 뇌관 면에 비정상적으로 전달되어 뇌관이 미 기폭되거나 후출 될 수 있음을 가정하여 뇌관 타격 조건에 대한 분석을 진행하였다.

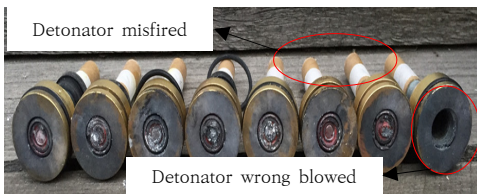


Fig. 4. Malfunction of fuze as detonator

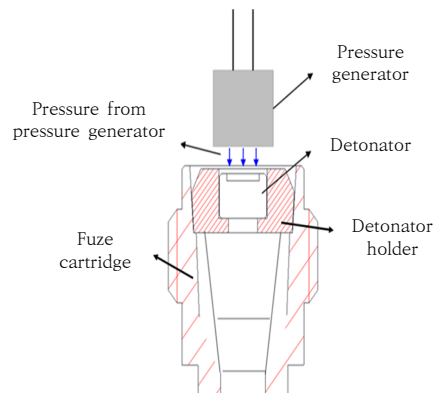


Fig. 5. Mechanism for a detonator(practical grenade)

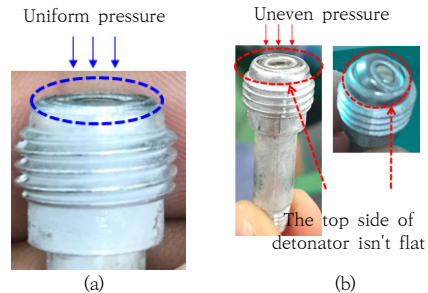


Fig. 6. Comparing condition of crimping (a) good condition (b) bad condition

## 2.3 연습용 자탄 기폭조건 분석

연습용 자탄에 적용된 뇌관은 타격식 뇌관 KM41(38 구경용)로 작동 에너지 기준은 1.94 oz의 구(球)를 10 in의 높이에서 낙하시켰을 때 전량 폭발 되어야 하며, 동일한 무게의 구를 2 in의 높이에서 낙하시켰을 때 모두 폭발하지 말아야 한다.[3]

뇌관이 100 % 작동하기 위한 작동 에너지를 계산하기 위한 식은 위치에너지 식 (1)을 사용하였다.

$$E = mgh \quad (1)$$

Where, m sphere mass, g gravitational acceleration, h height condition

$$E = 0.55kg \times 9.5m/s^2 \times 0.254m = 0.137J \quad (2)$$

작동 에너지(E)는 식 (2)와 같이 0.137 J로 도출되었다.

### 2.4 작동기 압력과 뇌관의 CFD 해석

연습용 발사통의 작동기와 타격식 뇌관과의 연결 불량 현상을 규명하기 위해 CFD 해석을 진행하였다. 유동해석 모델과 조건은 Table 2와 같으며, 영역 및 경계조건은 Fig. 7과 같다.[4]

Table 2. Analysis condition for flow range

Division	Content
Analysis SW	Ansys Fluent V18.0
Unsteady Analysis Perform	- 2nd-order Implicit - Time step : 0.0001 msec
Space	Implicit method
Discretization method	Second Order Upwind
Coupling technique of pressure & speed	SIMPLE technique
Turbulent model	STD K-e model
Density (kg/m <sup>3</sup> )	Ideal Gas
Cp (j/kg-k)	1006.43
Thermal Conductivity (W/m-K)	0.0242
Viscosity (kg/m-s)	1.7894 E-5
Outdoor Air Temperature	300K (Room temperature)

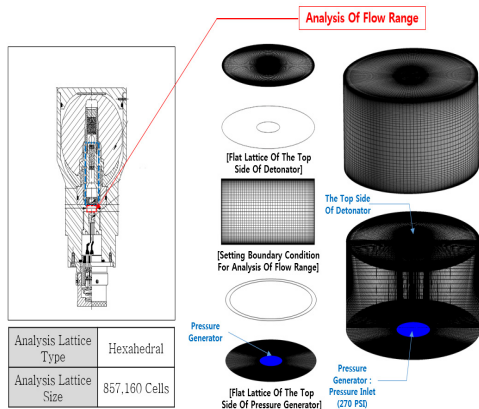


Fig. 7. Setting boundary condition

Fig. 8과 같이 시간에 따른 뇌관 면의 작동기 압력분포 분석결과, 압력은 방사형으로 전달됨을 확인하였다. 또한, 동일시간에서도 뇌관 면의 위치에 따라 받는 최대 압력이 다름(뇌관 면이 받는 압력을 색으로 구분하였을 때 색의 편차가 존재함)을 확인했다.

Fig. 9에서는 작동기가 기록 된 후 특정 시간에서 영역별 평균압력을 분석한 결과 뇌관 면의 위치에 따라 압력 편차(195~200 psi)를 확인하였다. 즉, 정상적으로 뇌관이 안착되지 않았을 경우 작동기로부터 뇌관 면에 전달되는 압력은 더 큰 편차를 발생하게 되어 결국 뇌관이 작동될 수 있는 에너지 한계에 미달될 수 있음을 추론하였다.

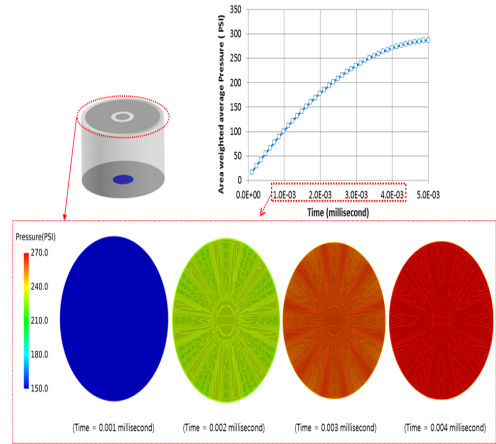


Fig. 8. Result of analyzing pressure distribution on the side of detonator

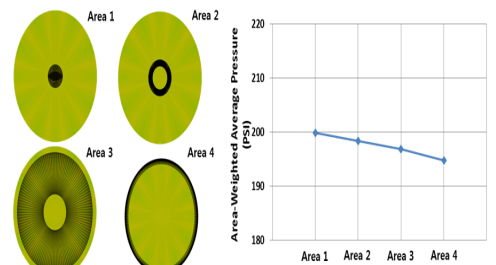


Fig. 9. In case of 0.002 msec, result of analyzing average pressure on the specific side of detonator

따라서 신관조립체 카트리지 내 뇌관 홀더의 안착상태에 따라 작동에너지 즉, 뇌관 면에 적용되는 압력이 적절한지 확인하기 위해 기울어진 뇌관 면을 분석하였다.

Fig. 10과 같이 뇌관 면 기울기에 따라 뇌관의 작동에너지 편차에 주는 영향을 확인한 결과, 기울기가 커질수

록 뇌관 면에 작용하는 압력이 감소하여 15° 이상에서는 작동기 규격 압력 요구조건(270 psi)[5]에 미달되는 것을 확인하였다.

이를 Fig. 11처럼 뇌관 작동에너지로 모델링한 결과 기울기 증가에 따라 작동에너지가 부족한 영역이 늘어남을 확인하였다.

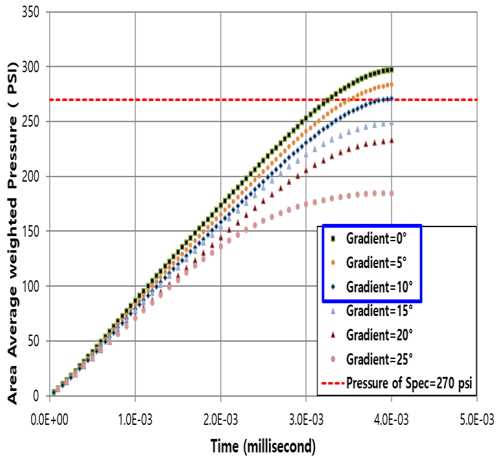


Fig. 10. Curves of analyzing average pressure on the specific side of detonator

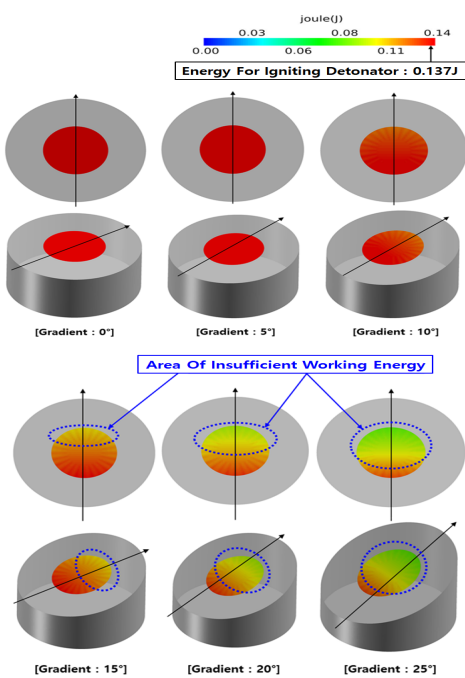


Fig. 11. Working energy on the side of detonator as gradient

한편, 과거 타격식 뇌관 관련 자료 검토 결과 표준 -타격식 뇌관은 규격조건에 맞게 기폭 되어도 그 위력이 너무 강하면 그 충격파가 뇌관을 파괴하여 뒤쪽으로 가스가 누출되는 후출(blowback) 현상이 발생하며[6], 유사 탄약인 연습용 수류탄 불발의 분석사례로 뇌관 홀더가 삐뚤어진 상태로 클리핑 될 경우, 클리핑 압력 저하 뇌관 기폭 시 후출 현상이 발생 가능함을 확인하였다[7]. 수락 시험 중 후출 된 뇌관은 기폭하지 않았었기 때문에 후자를 뇌관 후출 원인으로 판단하였다.

CFD 해석 결과를 통해 작동기 기폭 시 압력이 전달되는 뇌관 면에는 기본적으로 부분적인 편차가 존재하며, 압력 편차는 뇌관 면 기울기에 따라 증가하게 되어 기울기가 15° 이상 지점에서 뇌관으로 전달되는 에너지가 부족한 영역이 늘어남을 알 수 있었다. 또한, 유사 탄약 불발 사례 분석을 통해 뇌관에 불균형적인 압력이 전달될 경우 뇌관 후출 현상이 발생할 수 있음을 알 수 있었다.

따라서 이러한 압력편차를 개선하기 위해 신관조립체와 뇌관 면의 기울기가 10° 이하로 조립될 수 있는 구조적인 방지대책의 필요성이 대두되었다.

## 2.5 품질개선 및 성능시험

### 2.5.1 품질개선

연습용 발사통 신관 불발은 뇌관이 작동기로부터 불균일한 압력을 받아 발생하므로 뇌관을 정상적으로 안착하여 유지되도록 품질개선을 진행하였다.

첫째, Table 3처럼 신관 클리핑 방법을 개선하였다. 유사 탄약인 연습용 수류탄의 품질개선 사례를 참조하여 신관 클리핑 전 뇌관 홀더를 압착토록 다지기 핀을 추가하였다. 즉, 뇌관이 삐뚤게 안착된 상태를 제거해 균일한 압력을 받도록 개선하였다. 또한, Table 4에서 보는 바와 같이 UTM을 통해 확인한 결과 뇌관 홀더 견인력도 기존대비 11.6% 증가되어 뇌관 후출 현상을 예방하였다.

Table 3. Improvement for crimping process

Before		After	
	Clamping punch		Spring
	Cartridge		Compaction pin
			Cartridge

Table 4. Result of axial separating force

\* The number of sample : 20EA

Manner (15mm/min)	Separation force (Unit : kgf)				Remark
	Min.	Max.	St.dev	Avg.	
Before	218.33	340.78	28.43	292.79	-
After	282.64	376.89	24.25	326.66	Increasing 11.6%

Table 5. Improvement for fuze design

Before	Improvement	
	Case 1	Case 2
<p>The part of assembling fuze and detonator holder 8.75mm Uneven pressure 0.25mm Empty space</p>	<p>6.8mm 1.23mm 8.25mm Uniform pressure Increasing bearing capacity for Detonator holder 0.50mm</p>	<p>8.25mm Uniform pressure Increasing bearing capacity for Detonator holder 0.50mm</p>
Empty Space : 0.415 cc	Empty Space : 0.215 cc	Empty Space : 0.397 cc

둘째, 균일한 뇌관 홀더 안착(10° 이하로 편평하게 조립된 상태)을 위해 뇌관 홀더의 안착 부의 폭을 증대하였다. Table 5와 같이 최적 공정 조건을 도출하기 위해 1안은 뇌관 홀더가 안착되는 부분의 폭을 약 1 mm(0.25 → 1.23 mm), 2안은 0.25 mm(0.25 → 0.50 mm)로 증대하였고, Table 6처럼 신관조립체 기폭시험(30발)을 진행하였다.

1안은 뇌관 홀더가 안정적으로 안착되어 클립핑 되었으나, 1발에서 지연시간이 단축되었다. 이는 뇌관 홀더 안착 부의 폭 증대로 카트리지 내부의 빈 공간이 줄어(약 48 %) 지연제 연소 속도에 영향을 준 것으로 판단했다.

2안의 경우 뇌관 홀더 안착과 클립핑 상태가 양호하였으며, 기폭시험에서도 전량 폭발하였다. 따라서 뇌관 홀더가 안정적으로 안착됨과 동시에 정상적인 지연시간이 나오는 2안을 채택하였다.

이로써 신관 클립핑 시 뇌관 홀더의 안착성이 개선되어 뇌관 면의 기울기가 10° 이하로 편평하게 조립되었으며, 작동기 압력에 대한 뇌관 홀더의 지지력을 증대하였다.

Table 6. Method of function test for fuze

Method	
1	Install fuze(assembled with body) to machine for function test
2	Hit detonator by needle and start measuring delay time
3	Check delay time and explosive sound

Needle for hitting detonator  
Detonator tester

2.5.2 성능시험

최종적으로 개선된 연습용 발사통의 기폭 성능시험을 실시하였다. 시료수는 125발이며, 시험 항목은 규격 요구조건인 자탄의 공중 도약, 작동 여부, 작동 거리를 확인하였다. 또한, 개선 내용 검증을 위해 불발율을 추가 검토하였다. 성능시험 결과 규격을 만족하였으며, 시료 전량 폭발되는 개선 효과를 확인하였다.

Table 7. Method of function test

Method	
1	Install a munition on the floor at room temperature
2	Combine a grenade and apply the detonation signal
3	Check the specification requirements and fuze dud probability

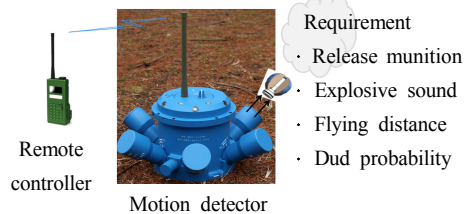


Table 8. Result of function test

Manner	Sample	Test	AQL		Result
			Ac	Re	
Function test	125	Released munition	OO	OO	0
		Generating explosive sound			0
		Flying distance			0
		Dud probability			0



### 3. 결론

본 논문에서는 연습용 회로지령탄약 발사통 신관 불발율을 최소화하기 위해 다음과 같은 연구결과를 제시하였다.

첫째, 연습용 회로지령탄약의 발사통 신관은 압력 - 타격식 뇌관임을 확인하였다. 이후 뇌관의 안착상태에 따라 뇌관 면에 전달되는 작동 에너지를 분석하고, 뇌관 면 기울기의 최적화 조건을 검토했다.

둘째, 뇌관이 정상적으로 안착하고 유지되어 균일한 압력을 받도록 품질개선을 진행하였다. 신관 클립핑 금형을 개선하여 뺏겨진 뇌관 홀더 안착을 제거하고, 뇌관 홀더와 신관 카트리지의 결합력을 증대시켰다. 또한, 신관 카트리지 내 뇌관 안착부위의 폭을 증가시켜 뇌관 면의 압력편차를 줄였다.

셋째, 개선품의 검증을 위해 기폭 성능시험 결과 규격 사항을 만족하였고, 전량 폭발하여 불발율 0 %로 품질이 향상된 결과를 도출하였다.

결론적으로 품질 개선된 연습용 회로지령탄약 발사통 신관은 불발율이 감소되어 안전성, 신뢰성, 성능 향상에 기여하며, 향후 유사탄약 설계 시에도 활용될 것으로 판단된다.

### References

- [1] J. C. Seo, J. S. Park, "Acceptance Criteria Results as Sample Sizes for Ammunitions", *proceedings of 2017 KIMST Conference on Test and Evolution, KIMST, JEJU, KOREA*, pp.776-777, June, 2017.
- [2] "Grenade, Remote Controlled Munition System(QAR A30003561)", Agency for Defense Acquisition Program Administration, October, 30, 2012.
- [3] "Cartridge, Caliber .38 Special ball, KM41(KDS 1305-1047)", Agency for Defense Development, November, 04, 1985.
- [4] Y. J. Kim, H. J. Jung, C. Y. Joh, "A Study on the Efficiency of Aerodynamic Design Optimization Using Distributed Computation", *Research in Korean Society of Computational Fluids Engineering*, Vol.11, No.2, pp.19-24, June, 2006.  
UCI : G704-000985.2006.11.2.006
- [5] "Actuator, Explosives, Linear(QAR A30003580)", Agency for Defense Acquisition Program Administration, October, 30, 2012.
- [6] S. E. Na, J. Y. Jeon, "The Report on Power Management of Striker-type Primer", Technical Report, Defense Agency for Technology and Quality, pp.7-16, 1993

- [7] M. H. Kim, K. K. Kim, "The Report on Root Cause Analysis and Quality Improvement of Yellow Smoke Practice Hand Grenade", Technical Report, Defense Agency for Technology and Quality, pp.24-33, 2017.

이 중 현(Jong Hyeon Lee)

[정회원]



- 2012년 2월 : 항공대학교 항공재료학과 (학사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질 연구원

<관심분야>

금속, 화공/에너지

정 희 철(Hee-Chur Jung)

[정회원]



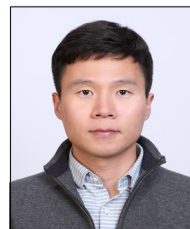
- 2019년 8월 : 경북대학교 기계공학과 (석사)
- 2010년 10월 ~ 2012년 11월 : 한국항공우주산업 사원
- 2012년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질 선임연구원

<관심분야>

기계, 구조 해석, 유체

박 준 성(Jun Sung Park)

[정회원]



- 2011년 2월 : 한양대학교 신소재공학부 (학사)
- 2011년 10월 ~ 2013년 1월 : 포스코 광양제철소 냉연부
- 2013년 1월 ~ 현재 : (주)한화 보은사업장

<관심분야>

금속, 화공/에너지