

고장 사례분석을 통한 유도탄고속함 함포체계 사격안전성 개선방안 연구

나라별^{*,1)} · 김병호¹⁾ · 서재현¹⁾

¹⁾ 국방기술품질원 기동화력센터

A Study for Increasing the Safety of Gun Firing System of Patrol Killer Guided Missile from Failure Mode Analysis

Ra-Byeol Na^{*,1)} · Byeong-Ho Kim¹⁾ · Jae-Hyun Seo¹⁾

¹⁾ Land Systems Center, Defense Agency for Technology and Quality, Korea

(Received 17 August 2016 / Revised 13 December 2016 / Accepted 24 February 2017)

ABSTRACT

This study aims to the increasing the reliability of gun firing system of patrol killer guided missile from failure mode analysis. In order to find out the breakdown parameter, the examination process of the sources of the problems and the quality improvement activities are analyzed with performance testing data. From this study, the rate of operation and the reliability of 76 mm naval guns will be increase. And the result of the study is expected to be used as a reference data in the naval gun firing system for another failure mode analysis.

Key Words : Gun Firing System(사격체계), Failure Mode Analysis(고장 사례분석), Patrol Killer Guided Missile(유도탄 고속함)

1. 서론

현대의 해상 전투는 과학기술의 발달과 무기체계의 첨단화를 통해 그 양상이 근본적으로 변화되고 있으며, 현대 및 미래전은 해상·수중·공중상황이 통합된 입체전 양상이 될 것이다. 때문에 이런 입체전을 수행하는 함정이야말로 선체, 추진기관을 기반으로 다수의 탐지센서와 다양한 전략·전술 무기로 구성된 복합 무

기 체계로써 기계조선, 물리학 및 컴퓨터 등이 접목된 해군 첨단과학기술의 집합체라고 말할 수 있다^[1].

90년대 이전에 배치된 국내의 대다수 함정 및 최신의 고속함과 같은 소형 함정들은 기본 화력인 함포를 중심으로 대공/대함전을 수행하고 있다. 특히 유도탄고속함과 같은 소형 함정의 경우는 연안 방어의 임무 특성으로 인해 대공/대함 위협 세력의 발생 가능성이 중형 함정에 비해 더욱 크지만 대공/대함전 수단이 한정되어 있기 때문에 함포를 이용한 대공/대함전 수행 능력이 함정의 생존성을 결정한다고 할 수 있다^[2-3]. 실제로도 2002년 북측의 서해 북방한계선(NLL : Northern

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

Limit Line) 칩범으로 발행한 제2차 연평해전에서 해군이 승리할 수 있었던 주요한 무기체계는 함포라고 평가되고 있다.

이러한 현 상황을 고려하여 해군 무기체계에 대한 새로운 공격 및 방어 개념이 지속적으로 도출되고 있으며, 21세기 발달된 IT 기술에 힘입어 저비용 고효율 함포의 필요성이 대두되고 있다. 해군에서 70년대~90년대까지 운용한 76 mm 함포는 해군의 주력 무장임에도 불구하고 20여 년간 해외구매로 획득 해왔다. 이로 인해 노후화된 함포의 유지/보수에 대한 많은 문제점이 지적되자, 구형함포를 재활용하는 사업이 수립되었고, 이에 따라 기존 구형함포를 분해 후 사용가능 부품과 신규 부품을 같이 적용하는 「창정비 개념」의 성능개량 연구개발 사업이 본격적으로 추진되었다.

그러나 최근 함포 운용 시 급탄/장전 도중 탄결립 현상이 발생하거나 포탄 오발로 인한 인명사고가 발생하는 등, 함포의 사격시스템에 대한 안전성 문제가 지속적으로 발생됨에 따라 76 mm 성능개량 함포의 운용 신뢰성에 대한 의문이 대내·외적으로 크게 대두되었으며 이에 대한 해결방안이 시급한 상황이 되었다.

따라서 본 연구에서는 사격시스템 안전성 개선을 위해 함포 운용 시 발생한 고장원인을 사격의 각 단계별로 분석하고 사례별 해결방안을 검토하였으며, 최종적으로 실사격 시험평가를 통한 연구결과에 대해서 논의하였다.

2. 고속함 함포의 사격 안전성 관련요인 분석

현재 한국 해군이 도입하여 운용하고 있는 주요 함포에는 5인치, 76 mm, 40 mm, 30 mm 함포 등이 있으며, 그 외 구경이 작은 함포는 근접방어무기체계의 일환으로 이용되고 있으나, 본 논문에서는 고속함에 탑재된 76 mm 성능개량 함포에 대해서 논하도록 하겠다. 76 mm 성능개량 함포(상부함포)의 시스템 구성 및 형상은 Fig. 1에서 나타나듯이 포신/포미장치(포신조립체), 포 풀림장치, 주퇴복좌장치, 크레들/장전 장치, 고저/선회 장치, 발사/신관마비, 형평기 장치, 탄피추출해치, 포신/포미장치, 포풀림장치, 주퇴복좌장치, 크레들/장전 장치, 고저/선회 장치, 발사/신관마비, 형평기 장치, 탄피추출해치

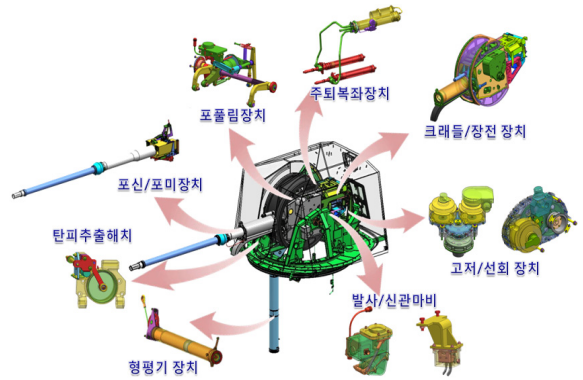


Fig. 1. Configuration of upper naval gun

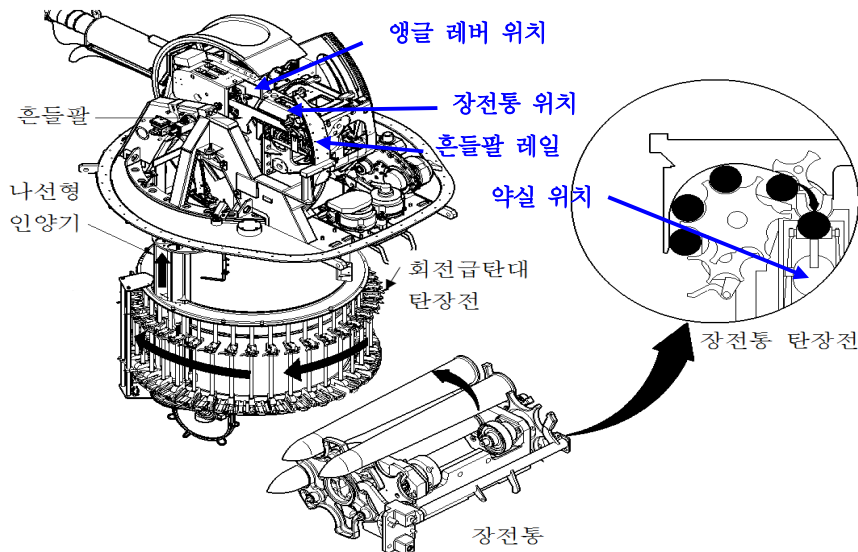


Fig. 2. Composition and configuration of gun firing system

76 mm 함포 사격시스템 구성 및 작동과정은 Fig. 2와 같이 포탄의 이동경로에 따라 크게 급탄, 장전, 격발의 3단계로 나누어 볼 수 있다. 먼저 급탄 단계에서는 포탄이 회전급탄대부터 나선형 인양기와 흔들팔을 거쳐 장전통까지 이동하게 되며, 장전 단계에서는 장전통에서 포신내부 약실까지, 격발 단계에서는 약실에서 앵글레버의 작동에 의한 격발로 최종사격이 이루어지게 된다. 최초에 포탄이 회전급탄대에 적재될 때는 수직으로 세워진 상태로 적재되는데, 이동과정 중 흔들팔을 거치면서 Fig. 3과 같이 호(Arc)형태의 흔들팔 레일을 통해 수직상태에서 수평상태로 전환되어 포신에 장전이 가능하도록 이송된다. 이송된 탄은 Fig. 2의 장전통을 거쳐 약실로 장전되는데, 장전이 완료되면 사격신호에 의해 사격안전장치를 구성하는 앵글레버가 작동하면서 앵글 레버와 기계적으로 연결된 공이가 탄을 타격하여, 최종적으로 격발(발사)된다.

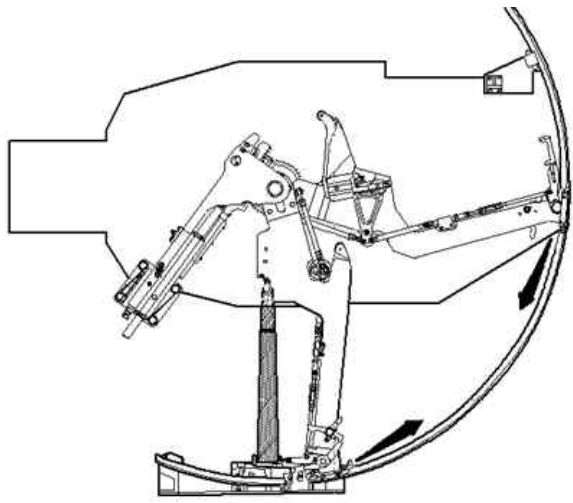


Fig. 3. The structure and operation method of shaking arm

76 mm 함포의 사격시스템은 앞서 서술하였듯이 각 작동과정이 매우 유기적인 기계식 구조로 연결되어 있기 때문에, 외관상 동일한 고장내용이라도 그 고장의 원인이 다양할 수밖에 없다. 따라서 발생 가능한 고장 원인들을 사격시스템 단계별로 나누어 고장진단을 실시하였으며, 최종적으로 급탄-장전-격발의 3가지 주요 작동과정별로 진단결과를 특성요인에 따라 Fig. 4와 같이 분류하고, 이에 따라 고장원인들을 제거하여 사격안전성을 개선하고자 하였다.

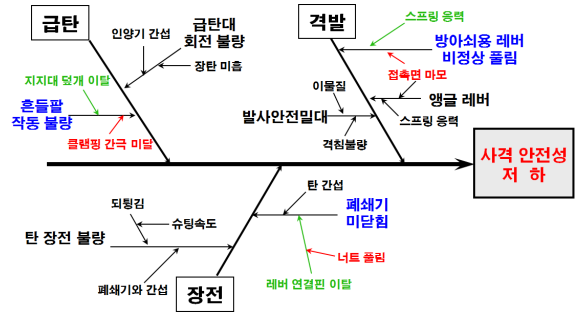


Fig. 4. Fishbone diagram about the firing safety of 76 mm naval gun

3. 사례분석을 통한 각 요소를 개선방안 검토

3장에서는 앞서 서술하였듯이 사격시스템을 단계별로 나누어 최근 76 mm 성능개량 함포 운용 시 발생했던 사례를 중심으로 요소별 해결 방안을 도출하였다.

3.1 장전 간 폐쇄기 미닫힘 현상 및 개선방안

폐쇄기 미닫힘 현상은 ①약실장전 시 탄과 포미장치 구조물 사이의 간섭, ②탄 장전 중 퇴팅감 현상 등 주로 탄의 장전과정에서 발생하는 것으로 알려져 있다⁴⁾. 그러나 문제가 발생한 함포의 폐쇄기 작동상태를 모의탄을 이용하여 확인해 본 결과, 탄의 장전 / 비장전 두 가지 상황에서 모두 폐쇄기 미닫힘 현상이 발생하여, 기존처럼 탄에 의한 간섭 및 탄 퇴팅감 현상에 의한 것이 아님을 확인할 수 있었다. 그래서 폐쇄기의 개폐 작동과정에 문제가 있다고 판단하게 되었고, 이후 관련된 구성품을 폐쇄기로부터 역추적 하는 과정에서, 폐쇄기를 구동하는 포미 좌·우측의 벨크랭크 레버 중 포미 우측의 벨크랭크 레버와 로드가 Fig. 5의 오른쪽과 같이 분리되어 있는 것을 발견하였다.

정상상태는 Fig. 5의 왼쪽과 같이 연결핀, 연결핀 이탈방지를 위한 연결핀 내부의 테이퍼핀, 테이퍼핀의 이탈을 방지하기 위한 폴림방지너트가 모두 결합되어 있어야 한다. 테이퍼핀은 핀의 머리부터 폴림방지너트가 체결되는 나사부까지 외경크기가 점점 감소하는 쉘기형태의 구조인데, 테이퍼핀 머리의 외경은 연결핀 구멍의 내경보다 크고 나사부에는 폴림방지너트가 체결되기 때문에, 폴림방지너트를 풀지 않는 한 테이퍼핀과 연결핀이 이탈할 수 없는 구조이다. 따라서 함포 작동 간 폴림방지너트가 먼저 풀려서 이탈되었고, 반



Fig. 5. The normal and abnormal link state

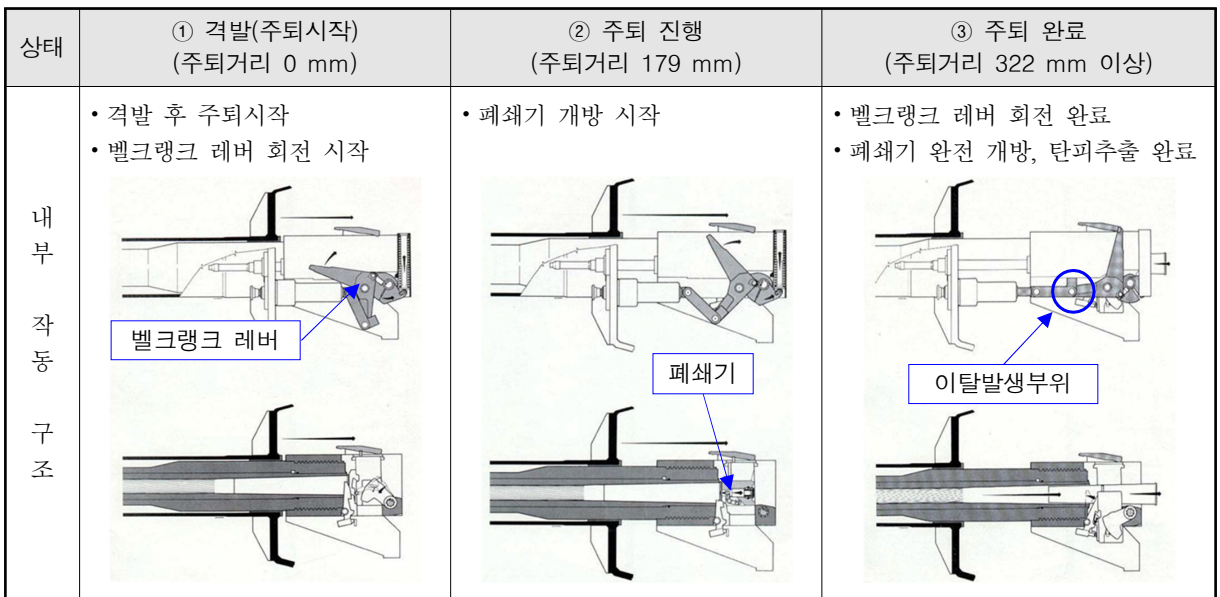


Fig. 6. Open process of breach block assembly

복되는 작동에 의해 테이퍼핀과 연결핀이 순차적으로 이탈된 것으로 분석하였다. 벨크랭크 레버가 이탈되면 폐쇄기의 작동이 불안정해지는데, 이는 폐쇄기의 개방(하강)과 폐쇄(상승)는 Fig. 6에서 볼 수 있듯이, 주퇴 복좌 간 벨크랭크 레버의 회전운동을 통하여 자동으로 구동되도록 설계되어 있기 때문이다.

이를 좀 더 자세히 살펴보면 먼저 포탄이 앞으로 발사될 때 포신은 포탄의 추진력에 대한 반작용력으로 인해 뒤로 주퇴운동을 시작한다. 동시에 포신의 좌·우

측에 연결되어있는 벨크랭크 레버도 포신과 같이 후방으로 움직이면서 회전을 하게 되는데 이 때 벨크랭크 레버의 회전방향은 Fig. 6의 그림을 기준으로 시계 방향이 된다. 이 회전과정에서 벨크랭크 레버와 연결된 폐쇄기는 벨크랭크 레버의 회전방향에 따라 연직 방향으로 하강운동을 하면서 약실을 개방시키고 약실 내부에 있던 탄피를 후방으로 추출한다. 이후 후속탄이 장전되면 Fig 6의 역순으로 작동되는데, 포신은 앞으로 복좌를 시작하고 그와 동시에 폐쇄기가 닫히면서

벨크랭크 레버는 반시계방향으로 회전하게 된다. 이처럼 포미 좌·우측에 달린 벨크랭크 레버는 포의 주퇴 복좌력을 폐쇄기로 전달시켜 약실을 자동으로 개폐시키는 중요한 역할을 한다. 그런데 문제가 발생된 함포는, 함포의 오른쪽 벨크랭크 레버의 연결핀이 분리되면서 왼쪽 벨크랭크 레버만 작동되었고, 결과적으로 폐쇄기를 상승시키는 구동력이 줄어들어 장전 간 폐쇄기 미단힘 현상이 발생하게 되었음을 알 수 있었다.

한편 벨크랭크 레버의 연결핀이 이탈된 것은 함포 개발 이후 처음으로 발견된 현상이었다. 해당 함포 폐쇄기 좌우 한 쌍의 벨크랭크 레버 중 좌측 벨크랭크 레버는 Fig. 5의 오른쪽(비정상상태)과 달리 정상적으로 체결되어 있었으며, 기존 전력화된 다른 함포들도 전수 조사하여 동일한 내용의 문제 현상이 발생하였

는지를 확인한 결과, 해당 부위의 연결핀이 이탈된 경우는 없었다. 다른 함포 중 체결되어 있는 폴림방지너트를 조였을 때 살짝 더 조여지는 경우는 있었지만 그 회전량이 매우 미미하여, 폴림방지 기능에 영향을 미칠 정도는 아니었다. 폐쇄기 미단힘의 직접적인 원인은 벨크랭크 레버와 로드를 연결하는 연결핀의 이탈이지만, 연결핀의 이탈은 폴림방지너트가 풀리면서 발생하게 된 것이다.

Fig. 7의 왼쪽과 같이 기존의 연결핀은 테이퍼핀과 폴림방지너트에 의해 이탈방지 설계가 적용되어 있었으나, 앞서 기술한 고장진단 결과에 대한 검토결과, 기존의 이탈방지 설계만으로는 불충분하다고 판단하였다. 그래서 폴림방지너트의 이탈을 방지하기 위하여, Fig. 7의 오른쪽(개선형상)에서 볼 수 있듯이 폴림

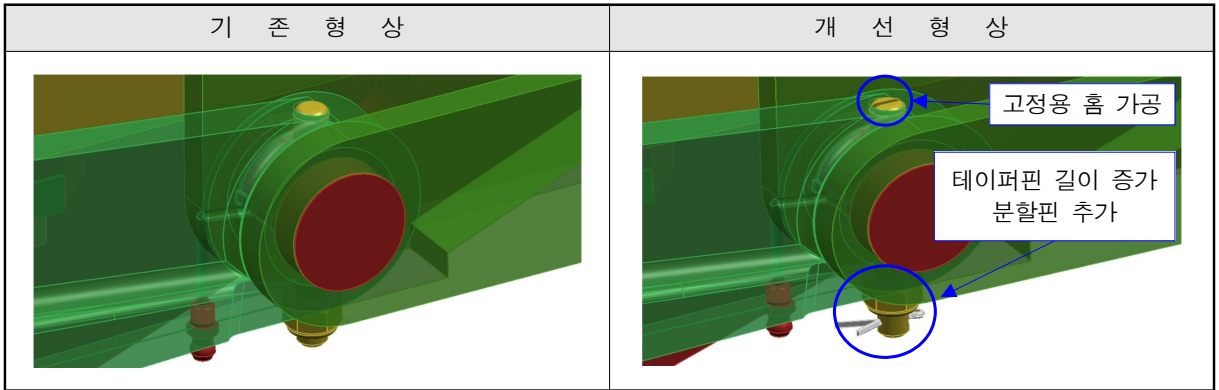


Fig. 7. Loading improvement for breach block abnormal operation

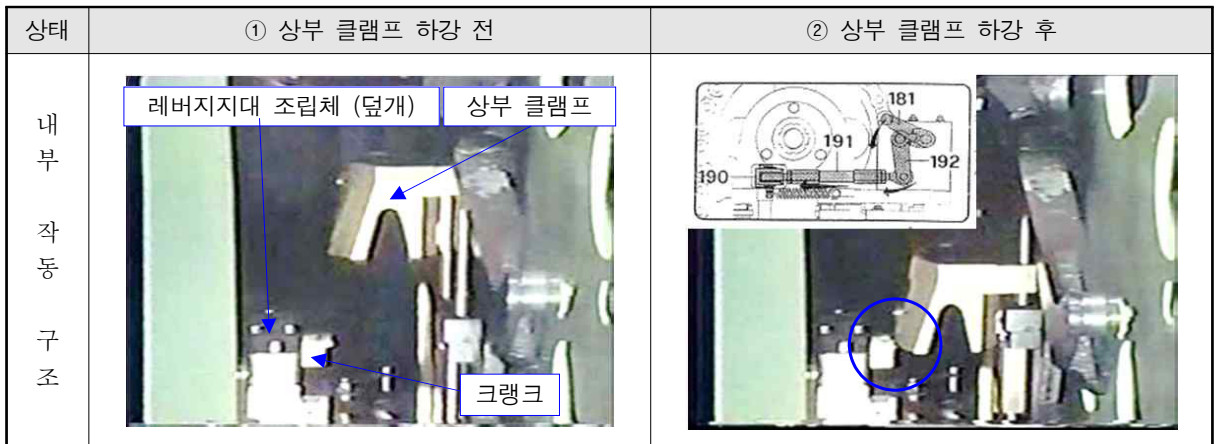


Fig. 8. The operation features of upper clamp

방지너트가 체결되는 테이퍼핀의 끝단 길이를 증가시키고, 홈을 가공하여 그 곳에 분할핀을 삽입함으로써, 폴림방지너트가 폴림더라도 분할핀에 걸려 테이퍼핀에서 이탈되지 않도록 개선하였다. 또한 기존에는 테이퍼핀의 고정 없이 폴림방지너트만 돌려서 체결해야 되는 구조였기 때문에 너트 체결 시 테이퍼핀도 같이 도는 현상이 발생되어 너트 체결에 어려움이 있었다. 따라서 추가로 테이퍼핀 상단에 고정용 홈을 가공하여 폴림방지너트 체결 시 일(-)자 드라이버로 테이퍼핀을 고정시킨 상태에서 체결할 수 있도록 하여, 조립 편의성과 작업 효율성을 증대시켰다.

3.2 급탄 간 흔들팔 작동불량 현상 및 개선방안

나선형 인양기까지 올라온 탄은, Fig. 4와 같이 2개의 흔들팔이 좌우 교대로 왕복운동하면서 장전통에 한발씩 탄이 급탄된다. 흔들팔 운동의 첫 단계는 나선형 인양기까지 올라온 탄을 잡기 위해 흔들팔의 상부 클램프가 하강하는 단계인데, 이때 하강하는 상부 클램프가 Fig. 8의 오른쪽 그림과 같이 레버지지대 조립체에 달려있는 크랭크 레버를 치게 된다. 크랭크 레버에 가해지는 상부 클램프의 하강 충격력은 구동력으로 전환되어, 스파이더 링크까지 기계적으로 그 힘이 전달된다. 전달된 구동력은 Fig. 9에서 알 수 있듯이, 각 링크들을 순차적으로 작동시키면서, 최종적으로 탄을 고정하고 있던 상부와 하부의 스파이더를 풀리게 한다. 상/하부 스파이더가 풀리면, 흔들팔은 클램핑한 탄을 장전통까지 공급시키게 된다.

문제가 발생한 함포를 확인한 결과, 흔들팔의 레버지지대 조립체와 덮개를 체결하는 너트와 고정 볼트들이 Fig. 10과 같이 이탈되고, 파손되어 있는 상태이었다. 덮개가 이탈된 상태에서는 크랭크 레버의 회전

축이 고정되지 않기 때문에, 상부 클램프가 크랭크에 충분한 구동력을 전달할 수 없으며, 따라서 급탄기능이 원활히 작동될 수 없다. 또한 덮개가 정상적으로 체결되지 않은 상태에서 반복적으로 흔들팔을 구동할 경우, 상부 클램프가 반복적으로 크랭크 레버에 가하는 구동력(충격)에 의해 볼트가 Fig. 10의 오른쪽과 같이 휘어지거나 절손될 수 있다.

크랭크 레버에 가해지는 구동력의 크기는, 상부 클램프가 하강하여 탄을 클램핑 했을 때 상부 클램프와 탄두 사이의 간극 크기에 따라 결정되는데, 간극의 크기가 작다는 것은 상부 클램프의 하강거리가 길어졌

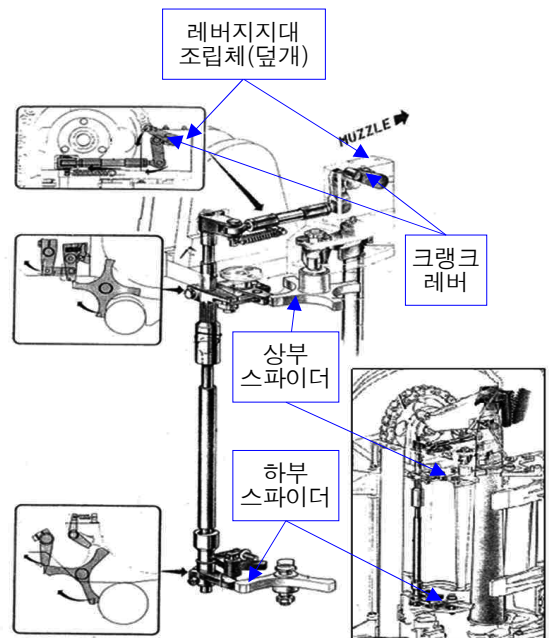


Fig. 9. Operation process of crank & spiders



Fig. 10. The breakaway from lever support cover and The fracture of bolts

다는 것이므로, 덜게에 가해지는 충격력의 크기도 증가하게 됨을 의미하는 것이다.

다시 말해서 간극이 너무 크면 상부 클램프가 탄을 제대로 붙잡지 못하고, 간극이 너무 작으면 충격력이 증가하여 탄과 장비에 손상을 줄 수 있기 때문에, 상부 클램프와 탄 사이의 간극은 0.5~2.0 mm를 유지하도록 기술자료에서 규제하고 있다. 따라서 간극에 의한 장비손상 가능성을 확인하기 위해서 간극을 측정해보기로 하고, 다음과 같은 방법으로 간극 측정을 실시하였다. 먼저 하부 클램프에 모의탄을 올려놓은 상태에서 하부 클램프와 탄 사이의 간극을 측정(측정 A)하고, 다음으로 지렛대를 이용하여 탄을 상부 클램프로 밀어올린 상태에서, 하부 클램프와 탄 사이의 간극을 측정(측정 B)하여 그 차이(B-A)를 계산하였다. 측정방법과 좌우 흔들팔의 상부 클램프-탄 간극을 측정

한 결과, Fig. 11과 같이 좌측 간극의 측정 결과값(B-A)이 0.27 mm로 기준치(0.5~2.0 mm)보다 작아진 것을 확인할 수 있었다. 간극이 제작 당시에 설정된 기준 값보다 줄어든 이유를 확인하기 위해, 함포의 포 제어장치를 통해 그동안 함포가 작동된 이력을 확인해 본 결과, Fig. 12에서 알 수 있듯이 발사탄수 대비 흔들팔 작동횟수가 6배 이상 많아 흔들팔 작동횟수과다에 의한 기준치 이탈을 확인할 수 있었다.

발사탄수 대비 흔들팔 작동횟수가 많다는 것은 포탄이 없는 상태에서 흔들팔만 작동을 했다는 것이다. 포탄이 없는 상태에서 흔들팔을 작동하게 되면, 탄이 있어야할 공간이 비어있는 상태에서 상/하부 클램프가 탄을 붙잡기 위한 클램핑(Clamping) 행정을 반복하게 되고, 이로 인해 클램프 간극이 점점 줄어들면서 증가된 충격력이 레버 지지대로 가해지게 되는 것이다.



구분	① 간극 측정 A (기본상태)	② 간극 측정 B (탄 상승으로 간극 최대상태)	B-A
측정방법			-
흔들팔(좌)	3.23 mm	3.5 mm	0.27 mm
흔들팔(우)	2.8 mm	3.6 mm	0.8 mm

Fig. 11. Upper clamp – measurement result of shell intervals

구분	발사탄수	흔들팔 작동 횟수
측정방법		
작동횟수	912 회	6159 회(타 함포 대비 20% ↑)
비고	성능개량 이전 횟수 미포함, 실탄 사격발수 : 468발(수락시험 포함)	

Fig. 12. The operation history of naval gun

따라서 증가된 충격력이 흔들팔 구동간에 반복적으로 덮개에 전달되면서 볼트와 너트의 체결력이 약화되어, 최종적으로 덮개가 이탈되었음을 알 수 있었다. 이와 같은 고장진단 결과를 바탕으로 하여, 먼저 개선된 함포의 운용과정에서 기준치를 벗어난 상부 클램프와 탄두 끝단 사이의 간극을 기준으로 재조정하여 충격력의 크기를 정상치로 회복시킴으로써, 덮개에 비정상적인 구동력(충격)이 가해지지 않도록 조치하였다. 또한 추가적으로 이상 충격이 가해지더라도 덮개가 쉽게 이탈되지 않도록, Fig. 13의 왼쪽과 같이 기존에는 일반너트와 웨ιβ 스프링 와셔가 적용되어 있던 레버지대 조립체의 덮개 체결부에 풀림방지용 너트와 허불이형 와셔를 적용하여, 덮개의 이탈을 2중으로 방지할 수 있도록 개선하였다.

3.3 격발장치 작동불량 현상 및 개선방안

탄을 격발시키는 공이(격침)은 폐쇄기에 붙어있는 발사안전밀대에 의해 제어되고, 이 발사안전밀대는 Fig. 14에서 확인할 수 있는 방아쇠용 레버와 앵글레버에 의해 제어된다. 폐쇄기가 상승하여 닫히면 발사안전밀대가 앵글레버 하단부와 접촉하게 되는데, 그 과정에서 폐쇄기 상승속도로 인한 강한 충격력이 순간적으로 앵글레버에 가해진다. 앵글레버에 가해진 충격력은 앵글레버를 시계방향(Fig. 14 기준)으로 회전(격발)시키려는 모멘트로 작용하지만 이 때 방아쇠용 레버가 앵글레버의 회전을 억제하는 역할을 한다.

문제가 발생한 함포는 사격신호를 입력하지 않은 상태에서 탄이 발사되는 비정상적 격발 현상이 발생하였는데, 모의 장전시험 결과 사격신호가 없는 상태에서

기 존 형 상	개 선 형 상
	
일반너트+웨ιβ 스프링 와셔	풀림방지용 너트+허불이형 와셔

Fig. 13. The improvement for shaking arm in the faster load

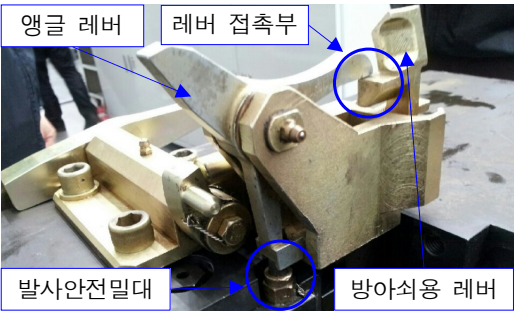
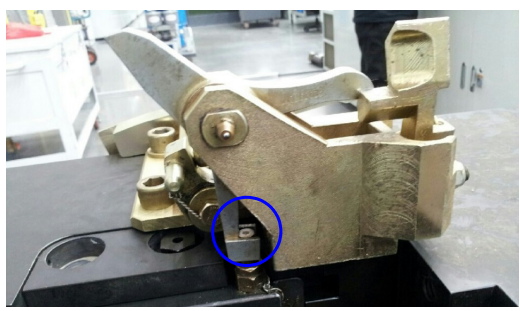
안 전 상 태 (발사안전밀대 눌림 → 격침 미작동)	격 발 상 태 (발사안전밀대 상승 → 격침작동)
	

Fig. 14. The structure of fire safety system

Fig. 14의 왼쪽과 같이 안전 상태를 유지해야 되는 사격안전장치가 Fig. 14 오른쪽과 같은 격발상태로 바로 풀리는 현상이 확인되었다. 폐쇄기 상승충격에 의한 앵글레버의 회전을 방아쇠용 레버가 제어하지 못한 것이다. 이상의 내용을 정리해 보면, 결국 격발장치 작동 불량은 폐쇄기 단합 충격과 레버 접촉부 마모에 의한 레버 간 미끄러짐(Slip) 현상이 원인임을 도출할 수 있었다.

미끄러짐 현상에 대한 개선을 위해 방아쇠용 레버의 개선과 레버와 연결된 스프링 2종에 대한 개선을 진행하였는데, 여기서는 스프링 2종에 대한 개선내용에 대해서 살펴보도록 하겠다. Fig. 15에서 알 수 있듯이 앵글레버와 방아쇠용 레버가 항상 안전 상태를 유지하고 폐쇄기 상승충격을 흡수할 수 있도록 각각의 레버에 스프링이 연결되어 있다. 때문에 이 스프링들의 장력(탄성)을 증가시켜 레버간 미끄러짐 현상을 제거하고자 하였다.

스프링의 인장력은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

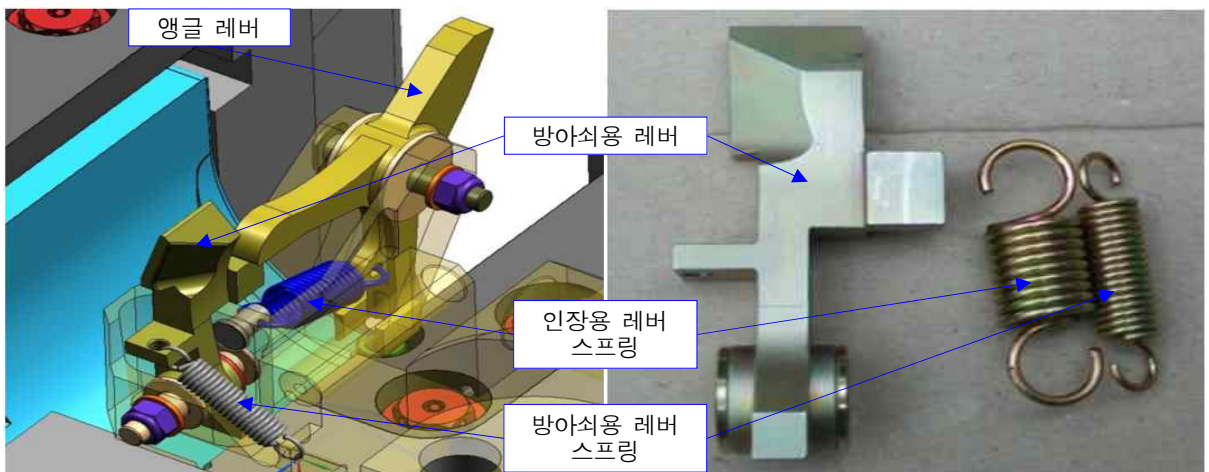
$$k = \frac{\Delta P}{\delta} = \frac{Gd^4}{8N_a D^3} \quad \therefore \quad \Delta P = \frac{Gd^4}{8N_a D^3} \delta$$

- k : 스프링 상수, P : 장력(인장하중),
- G : 횡탄성 계수, d : 선경,
- N_a : 유효 감김수, D : 유효 코일경

위의 식에서 알 수 있듯이, 인장력(P)은 감김수(N)와

반비례 관계이므로, 스프링의 감김수를 줄이게 되면, 사격안전장치의 설계를 변경하지 않고 스프링의 인장력을 증가시켜 레버의 구속력을 높일 수 있게 된다. 그러나 감김수를 과도하게 줄일 경우 오히려 스프링의 구속력에 의해 격발이 원활하지 않을 수 있고, 또한 스프링의 수명도 단축시키게 된다. 한국산업표준 KS B 2400 압축 및 인장용 원통 코일 스프링 설계 기준에 따르면, 일반적인 스프링의 피로강도에 대한 예측수명은 Fig. 16과 같다⁵⁾. 그래프 중간에 위치한 $10^4 \sim 10^7$ 에 해당하는 사선(타원부분)이 스프링의 예측수명(반복작동 횟수)을 나타내며 이 예측수명은 하한 응력계수(x-축)와 상한 응력계수(y-축)의 비율에 따라 결정된다. 하한 응력계수는 스프링이 조립된 기본 상태에서의 응력계수이며, 상한 응력계수는 스프링이 작동(인장)되었을 때의 응력계수이다. 스프링의 감김수를 줄이게 되면 스프링의 길이가 줄어들어 조립 상태의 응력과 작동 상태의 응력이 모두 증가하게 된다. 하한 응력계수와 상한 응력계수가 같이 증가한다는 것은 그래프 상에서 우상방으로 점점 이동한다는 것이고, 결국 스프링의 수명이 감소한다는 것을 알 수 있다.

함포의 창정비 주기와 사격빈도를 고려하였을 때, 성능개량 함포는 창정비 도래 시까지 5,000발 미만을 사격할 것이 예측되나, 안전율(Margin)을 고려하여 스프링의 적정수명을 10,000회로 산정하고 모델링을 실시한 결과 스프링의 감김수를 2산 줄였을 때 인장력이 20 % 증가하고, 수명은 10,000회 이상을 유지한다는 결과를 얻을 수 있었다. 모델링 결과를 바탕으로 실물



을 제작한 결과도 Table 1과 같이 모델링과 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

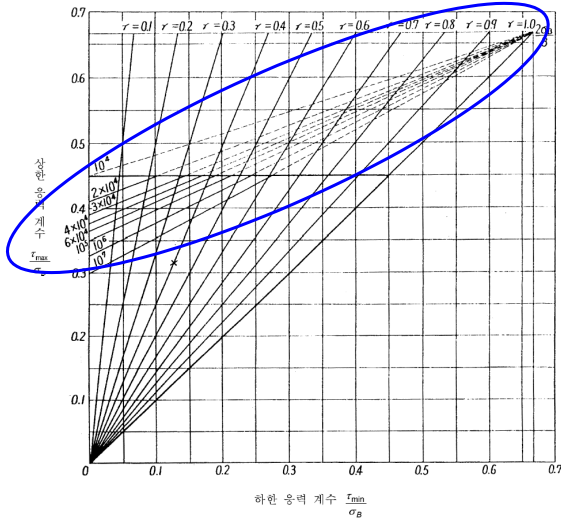


Fig. 16. The general fatigue life of spring

4. 사격 안전성 개선 후 사격 시험평과 결과

76 mm 함포 사격 안전성 개선내용에 대한 입증시험 평가는 부품교체 및 신규 개선품 적용에 따라, 단품 시험 및 야전 운용과 동일 조건으로 실사격 시험(해상 입증사격), 내구성 시험까지 실시하여 평가 하였고, 논문에서는 사격장치 내구성 시험과 해상입증사격 결과에 대해서만 논의 하도록 하겠다.

사격안전장치의 조립체 시험은 개발업체가 보유한 76 mm 함포 포미장치에 개선품을 조립/장착하여 격침 격발시험을 실시하였고, 작동시험 후 스프링은 별도의 내구도 시험을 실시하여 인장력 변화량을 측정하였다. Fig. 17에 따라 시험장비 구성을 하였고, 시험 방법은 총 1,000 주기(cycles)로 실시하였다. 이 때, 1주기의 과정은 폐쇄기 수동 하강→폐쇄기 강제 상승→발사안전 밀대 눌림 상태 확인→강제 격발(발사안전밀대 해제)이다. 시험 전/후 스프링 인장력 분석결과 Table 1에서 나타나듯이, 변화량 2 % 미만의 결과를 얻을 수 있었는데, 스프링 관련 표준인 열간 성형 코일 스프링 표

Table 1. Analysis of before and after improved firing gun assembly(spring 2 species) of tensile force

구분	인장력(kgf)			내구도 시험 전후 인장력 변화(%)
	기존(규격)	개선 후	내구도 시험 후	
방아쇠용 스프링	14.7 ± 1.5	17.99	17.73	1.44 %
인장용 스프링	19.9 ± 1.9	26.10	25.75	1.34 %

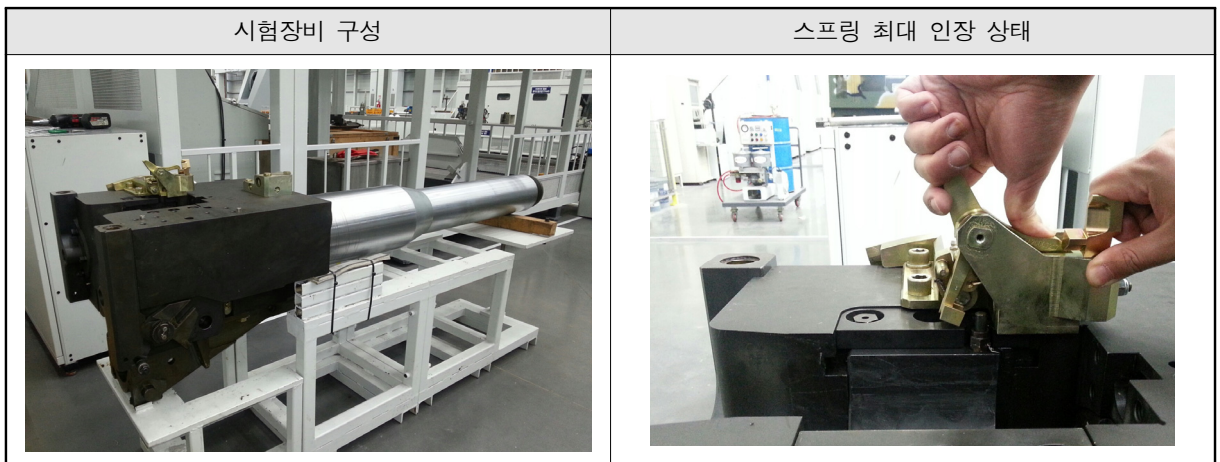


Fig. 17. The composition of firing gun assembly test

준(KS B 2402)에 따르면 변화량 $\pm 10\%$ 를 일반 스프링으로, 변화량 $\pm 5\%$ 를 정밀 스프링으로 분류하고 있으며^[6], 또 다른 관련 표준인 냉간 성형 코일 스프링 표준(KS B 2403)에 따르면 변화량 $\pm 12\%$ 는 3급, $\pm 8\%$ 는 2급, $\pm 4\%$ 를 1급으로 분류하고 있어^[7], 변화량 2% 미만의 시험 결과는 매우 양호한 것으로 확인되었다.

입증사격시험은 각 함대의 해상 사격구역에서 76mm 함포를 이용하여 총 12발의 입증사격을 실시하였다. 주요 확인 내용은 레버 간 미끄러짐 현상의 유무였으며, 이를 확인하기 위해 5발의 단발시험과 6연발의 연속발사시험을 수행 하였고, 총 12발의 입증사격을 실시한 결과 모두 정상적으로 격발되었다.

5. 결론

본 연구에서는 유도탄고속함 함포 사격시스템 안전성을 개선하기 위해, 함포 운용 시 발생한 고장원인을 사격 메커니즘에 의해 단계별로 분석하고 사례별 해결방안을 검토하여 아래와 같은 결론을 도출하였다

- (1) 고속함 함포 사격시스템 안전성에 미치는 영향을 분석한 결과 급탄-장전-격발의 3가지 주요 작동과 정별로 분류할 수 있었으며, 폐쇄기 미닫힘 원인 및 급탄 간 흔들팔 작동 불량에 대한 요인을 이러한 사격 메커니즘에 의해 검토 할 수 있었다.
- (2) 폐쇄기 미닫힘 현상은 풀림방지너트가 체결되는 테이퍼핀의 끝단 길이를 증가시키고, 홀을 가공하여 그 곳에 분할핀을 삽입함으로써, 풀림방지너트가 풀리더라도 분할핀에 걸려 테이퍼핀에서 이탈되지 않도록 개선하였다.
- (3) 급탄간 흔들팔 작동 불량은 상부 클램프와 탄두 끝단 사이의 간극 조정 및 추가적인 풀림방지용 너트와 와셔로 덮개의 이탈을 2중으로 방지 하였으며, 또한, 격발 시 비정상 발사현상은 사격안전장치인 방아쇠용 레버와 앵글레버에 대한 구조 진

단을 통하여 개선하였다.

- (4) 고속함에 부착하여 안전성이 향상된 함포에 대한 단품 시험 및 야전 운용과 동일 조건으로 해군에 의한 해상입증사격을 통해 그 성능과 기능이 검증되었다.

이 연구를 통해 향후 장비 가동률 상승 및 운용 신뢰성 확보로 군 전투력이 향상될 것으로 예상되며, 유사장비의 품질문제 검토 시 사격시스템의 전반적인 설계사항을 보완하는 데에 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 해군 함정의 함포 체계에 대한 사격을 비롯한 각종 메커니즘의 안전성 개선방안에 관한 연구도 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

References

- [1] C. Payne, "Principles of Naval Weapon Systems," Hanteemedia, pp. 13~18, 2015.
- [2] Suh T. I. and Kim E. J., "Development of Gun Fire Control System for the FFX-I Program," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 16, No. 6, pp. 752~761, 2013.
- [3] Hwang K. C., "A Study on the Gun-Oriented Anti Air Warfare Capability of the Patrol Killer Combat System," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 10, No. 4, pp. 62~72, 2007.
- [4] DTaQ, "The Report on Improvement Completion of the 76mm Naval Gun Firing System Quality," 2015.
- [5] KSA, "Helical Compression and Extension Springs - Requirements for Design," KS B 2400, p. 13, 2007.
- [6] KSA, "Hot Formed Helical Springs," KS B 2402, p. 2, 2009.
- [7] KSA, "Cold Coiled Helical Compression Springs," KS B 2403, p. 4, 1979.