Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 24, No. 12 pp. 654-659, 2023

https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.12.654
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

# 군용항공기 기총탄 폭발 영향 및 방탄커버 적용 품질개선 연구

**최형준*, 김승한, 박세웅, 김지홍**
**국방기술품질원**

# A Study on the Explosion Effects of Aircraft Gun Bullets and Quality Improvements with Bulletproof Cover

Hyoung Jun Choi*, Seung Han Kim, Se Woong Park, Ji Hong Kim
Defense Agency for Technology and Quality

**요 약** 본 연구는 기총의 비정상 상황에서 발생 되는 폭발 및 탄피의 영향에 의한 1차 결함으로부터 항공기 안전을 확보하기 위해 기총 Bay 내 품질개선을 수행하였다. 결함의 주요 원인은 기총 사격 임무 중 회수되는 탄의 지연탄 비정상 폭발로 발생된다. 폭발 및 탄피의 물리적 영향은 착륙 및 비상발전기 등 배선의 손상과 유압 튜브의 결함을 유발하며, 항공기 안전에 심각한 문제를 야기할 수 있다. 따라서 항공기 안전을 확보하기 위해 기총 Bay 내부를 지나가는 배선 및 유압튜브에 방탄커버를 적용하였다. 방탄커버 적용의 공간을 확보하기 위해 배선 및 튜브의 배치 최적화를 수행하였으며, 항공기 운용 및 환경을 고려하여 방탄커버 재질 및 형상을 결정하였다. 라인 배치 및 커버 추가 설계변경에 대한 장착 및 간섭 검증을 수행하여 기총 운용 영향성을 확인하였다. 또한, 기총탄 폭발 시 발생하는 물리적, 환경적 영향에 대한 방탄 커버의 보호 성능 검증을 위해 기총탄 폭발시험을 수행하였다. 기총탄의 폭발시험 결과 탄피는 폭발압력에 의해 조각이 났으며, 관통되지 못한 파편은 방탄 커버 내부에서 확인되었다. 결국, 폭발 및 탄피에 의한 방탄커버 관통은 발생하지 않았으며, 방탄커버의 불리적 환경적 저항 성능을 검증하였다.

**Abstract** This study carried out quality improvement in the gun bay to ensure aircraft safety from primary defects caused by explosions and shell impacts under the abnormal conditions of the aircraft gun. The main cause of defects was the abnormal explosion of delayed bullets recovered during the gun firing mission. The physical effects of explosions and shells can cause damage to wiring and hydraulic tubes, such as landing and emergency generators, and cause serious problems for aircraft safety. Therefore, bulletproof covers were applied to wiring and hydraulic tubes passing inside the gun bay to ensure aircraft safety. The wiring and tubes were optimized to secure space for applying the bulletproof cover. In addition, the material and configuration of the bulletproof cover were determined considering aircraft operation and environment. Mounting and interference verification for line placement and additional design changes to the cover were performed to confirm the effectiveness of the gun operation. In addition, a bulletproof explosion test was conducted to verify the protection performance of the bulletproof cover for the physical and environmental effects that occur during the bullet explosion. An explosion test of the bullet was conducted. The explosion pressure fragmented the shell, and the fragments that could not penetrate were identified inside the bulletproof cover. In the end, penetration by the explosion and shell did not occur, and the physical and environmental resistance performance of the bulletproof cover was verified.

**Keywords :** Bulletproof Covers, Gun Bullet, Wire and Tube Defect, Quality Improvement, Bullet Explosion Test

*Corresponding Author : Hyoung Jun Choi(Defense Agency for Technology and Quality)
email: googsoon@naver.com
Received November 7, 2023 Revised November 27, 2023
Accepted December 8, 2023 Published December 31, 2023

## 1. 서론

최근 국내 항공기의 운용 시간이 길어지고 있으며, 성능 및 안전성을 고려한 무기체계 품질개선이 활발하게 수행되고 있다. 군에서 운용 중인 전투기의 기총 사격 임무는 필수적으로 요구되는 성능이다. Fig. 1과 같이 기총은 3열 20mm 자동화 총열, 캐리어 및 전원, 구동, 보관 조립체로 구성되어 있다. 탄약 장전기를 통해 장입된 기총탄은 Fig. 2와 같은 이동 경로를 통해 운반되며, 기총 사격 후 탄피는 캐리어를 통해 반환되는 작동원리를 보여주고 있다.

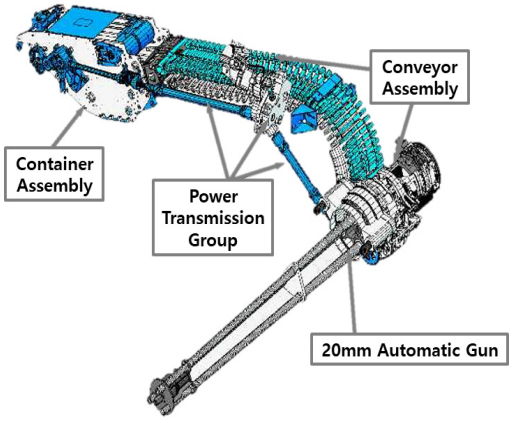


Fig. 1. Configuration of Gun System

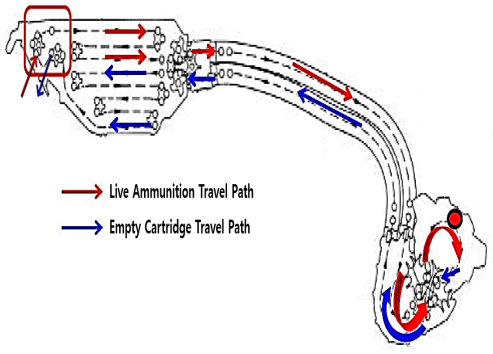


Fig. 2. Gun Ammunition Travel Path

기총 시스템의 항공기 장착은 조종석, 엔진 흡입구, 착륙장치 등 주요 시스템 설계를 완료하고 배치 장착을 수행한다. 기총의 장착 위치 결정은 기총탄의 보급 및 탄피 회수, 조준선, 기총 가스, 진동 및 소음, 전자장비와의 거리를 고려해야 한다. 특히 비행 안전 및 화재 예방에 대한 설계 요소는 항공기 안전과 관련하여 중요하다[1].

개발 및 양산에 많은 비용 및 시간이 소요되는 항공기의 특성을 고려하여 항공기 안전 및 성능에 영향을 미치는 핵심 구성품 및 체계는 이중화 또는 삼중화를 적용하여 항공기의 운용을 통한 최소한의 생존 가능성을 보장하고 있다. 항공기에 장착되는 Gun Port는 외부로 발사되는 기총탄에 대해 항공기를 보호하는 역할을 한다. 기총 발사 시 발생하는 가스의 내부 유입을 방지하고 진동 및 충격을 완화한다. 또한, 화염의 확산뿐만 아니라 탄의 파편으로부터 기체 손상을 방지하는 기능을 수행한다[2]. 이와 반대로 기총 시스템이 창작된 항공기 내부 장치는 별도의 커버가 없으며, 기총 발사 시 비정상 상황에 대한 위험을 방지하는 품질개선 설계가 요구되고 있다.

기총 베이에는 항공기 운용을 위한 필수 요소인 착륙(Landing Gear) 관련 유압 튜브와 비상 발전기 관련 배선이 Fig. 3과 같이 배치되어 있다. 기총 베이를 통과하는 유압 튜브 및 배선이 항공기 안전 및 성능에 필수적 역할을 고려하면, 기총 발사 결함 또는 비정상 상황 발생 시 항공기 안전에 중대한 영향이 발생된다.

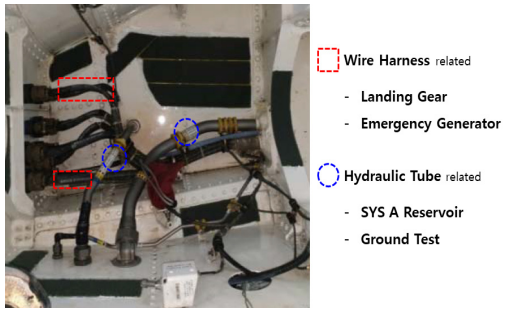


Fig. 3. Wire Harness and Tube in Gun Bay

기총 사격 중 발생할 수 있는 비정상 상황으로 지연탄의 재밍 및 폭발 상황을 고려해야 한다. 특히, 폭발에 의해 비산된 탄피의 물리적 영향과 폭발열에 의한 영향으로 기총 베이를 통과하는 전기배선 및 유압 튜브의 결함으로 이어질 수 있다. 기총 탄피 및 폭발의 1차 결함으로 인해 항공기의 손실을 초래하는 안전상에 중대한 문제로 이어질 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 기총탄의 비정상 폭발의 영향으로 기총 베이 내부에 결함이 발생할 수 있다. 이를 제거 할 수 있는 품질개선 연구를 통해 항공기 안전을 확보하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 결함 현상

항공기의 기총 사격 임무 중 사격 후 회수되는 탄이 탄피 회송 슈트에서 지연탄 비정상 폭발로 기총 베이 내 배선이 손상되는 결함 현상이 Fig. 4와 같이 발생하였다. 기총 사격 전원 연결 뭉치(Firing Connector) 부분의 배선 절단, Landing Gear 관련 배선의 절단 결함이 발생하였고 비상 발전기 관련 배선의 눌림 및 찍힘이 발생하였다. 특히, 착륙계통 관련 배선의 결함은 항공기 이착륙을 위한 Landing Gear, Brake, Tail Hook의 작동 불가를 초래하며, 항공기 안전에 심각한 문제를 야기할 수 있다. 지연탄의 비정상 폭발로 인한 탄피의 비산으로부터 항공기 구성품의 손상을 방지해야 한다. 기총 베이를 지나가는 배선 및 유압 튜브를 보호하는 품질개선을 수행하였다.

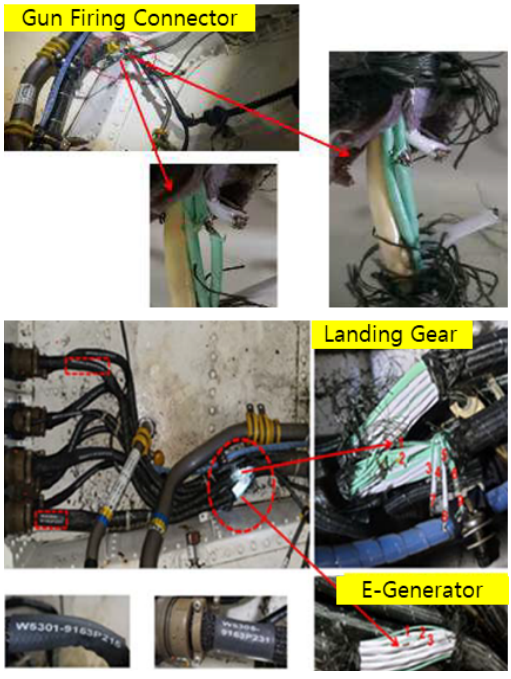


Fig. 4. Wire Harness Defects in Gun Bay

### 2.2 품질개선

기총 지연탄의 비정상 폭발의 영향으로 주요 배선 및 튜브의 결함이 발생되었다. 1차 결함으로 항공기 손실을 초래할 수 있으므로 필수적으로 품질개선이 요구된다. 따라서, 항공기 안전을 확보하기 위해 기총 베이 내부를 지나가는 유압 튜브 및 배선에 방탄 커버를 적용하였다. 우선, 유압 튜브 및 배선의 경로와 배치 최적화를 수행하여 방산 커버 적용의 공간을 확보하였으며, 항공기 운용 및 환경을 고려하여 방탄 커버 재질 및 형상을 결정하였다. 검증을 위한 본 품질개선에서 고려해야 할 사항으로 기총의 비정상 상황을 모사하여 폭발시험을 수행하였으며, 비행시험을 통해 항공기 안전을 확인하였다.

#### 2.2.1 유압 튜브 및 배선 최적화

방탄 커버 적용을 위해 선행되어야 할 부분은 Fig. 5와 같이 유압 튜브 및 배선의 경로 최적화 및 단순화 작업을 통한 공간의 확보이다. 클램프(①~⑥)을 삭제하고 배선 형상의 지지 성능 영향성 확인을 통해 초실 및 배선 묶음으로 클램프 성능을 보완하였다.

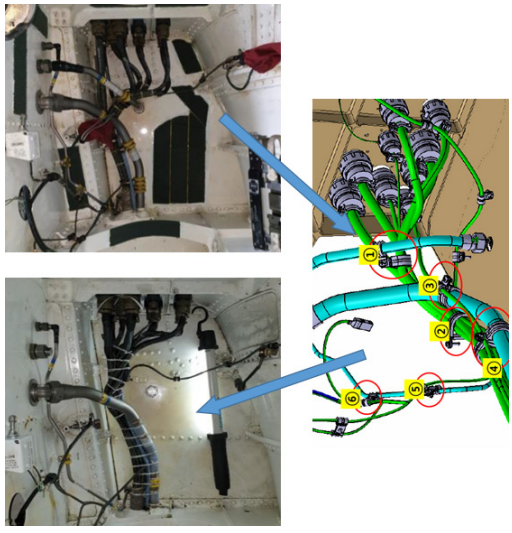

Fig. 5. Simplification of Wire Harness and Tube

방탄 커버가 적용된 유압 튜브 및 배선은 두께의 증가는 필연적으로 예상된다. 따라서, 항공기 구조 및 구성품과의 간섭에 대한 설계 검토를 수행하였다. 물리적 거리의 단축 및 기총 발사 진동에 의해 Gun Spur Gear와 방탄커버 간 간섭이 발생되었다. 유압 튜브(SYS-A Ground Test Pressure Line)의 굽힘 경로 수정 및 하부의 45° Elbow Fitting을 적용함으로써 Fig. 6과 같이 간격을 기존 0.733inch 대비 1.357inch로 추가적인 확보를 하였다.

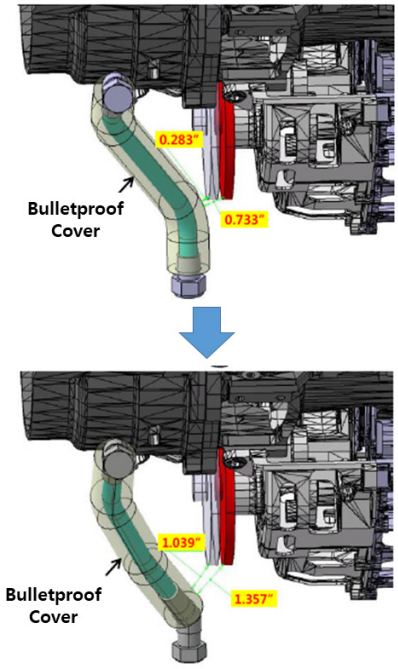


Fig. 6. Improvement of Line Path

유압 튜브와 배선 간 고정 클램프를 삭제함으로써 발생할 수 있는 간섭을 방지해야 한다. 유압 튜브에 Spiral Wrap을 적용하여 튜브 자체를 보호하였으며,유압 튜브와 배선 사이에 수축 튜브(Shrink Tube)를 적용하여 상호 간섭의 영향을 최소화하였다. 또한, 초실을 통해 움직임을 고정함으로써 상호 마찰이 발생하지 않도록 Fig. 7과 같이 품질 개선을 수행하였다. 일반적으로 유압 튜브와 배선은 물리적으로 분리하여 설계하지만, 유압 튜브와 배선 간 간격이 협소하여 방탄 커버를 별도 분리하여 적용하기 어렵다. 따라서 방탄 커버를 하나의 묶음으로 적용하였으며, 유압 튜브와 배선 간 클램프 적용 시 유압 튜브와 배선의 하부로 방탄 커버 장착이 불가능하여 클램프를 삭제하는 방안으로 품질개선을 수행하였다.

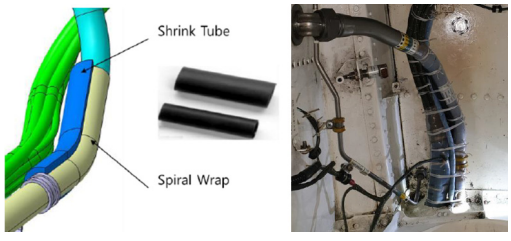


Fig. 7. Application of Shrink tube and Spiral Wrap

### 2.2.2 방탄 커버 선정

방탄 커버 재질은 항공기 운용 및 환경 요구 조건에 적합한 방탄 커버를 선정 해야한다. 미 군사규격 MIL-C-12369F, Class2에 따라 Nylon 12겹으로 선정하였으며, 기총 Bay에 발생하는 온도 환경 조건 및 유압 튜브 온도 범위 검토를 통해 재질 건전성을 확인하였다[3]. 항공기 운용 중 외/내부 온도 환경 조건은 일반 조건 최대 160°F이며, 기총발사 시 온도 조건은 최대 300°F이다. 미 군사규격의 따라 선정된 방탄커버 재질인 Nylon 재질의 최소 녹는점은 472°F이다. 따라서, 항공기 운용 중 발생하는 열에 의한 재질의 손상은 발생하지 않는다. 유압 튜브의 경우, Fig. 8과 같이 기총 Bay를 통과하는 지상 시험장비의 Pressure Line, Return Line 및 저장조의 Fill Line이 해당된다. 가장 높은 온도는 저장조 Fill Line Tube로 최대 100°F 수준이다.

또한, 기총 Bay 환경 조건 및 유압 튜브의 온도는 배선의 내열 성능 기준인 Max. 390°F 이하이므로 열에 의한 배선의 손상 영향성이 없음을 확인하였다. 선정된 방탄 커버를 적용하여 Fig. 8과 같이 배선 및 유압튜브를 보호하는 형상을 구성하였다.

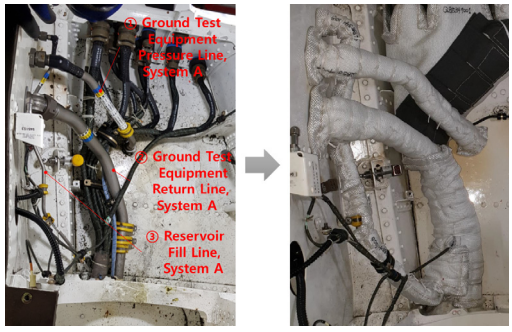


Fig. 8. Bulletproof Cover in Gun Bay

## 2.3 검증

### 2.3.1 체계 장착 간섭 영향성 검증

방탄 커버 적용에 따라 항공기 장착 과정에서 배선 및 유압 라인과 기총과의 간섭을 검토하여 설계에 반영하였다. 항공기 장착 영향성을 검토하였다. Fig. 9와 같이 기총을 구성하고 있는 스퍼기어 및 트랜스퍼 유닛 하우징이 유압 튜브 및 배선을 보호하는 방탄 커버 간 간섭 및 작동 여유 확인이 필요하다. 근접한 위치(①, ②, ③)의 간섭 확인을 통해 기총 운용에 충분한 여유를 확보하였다.

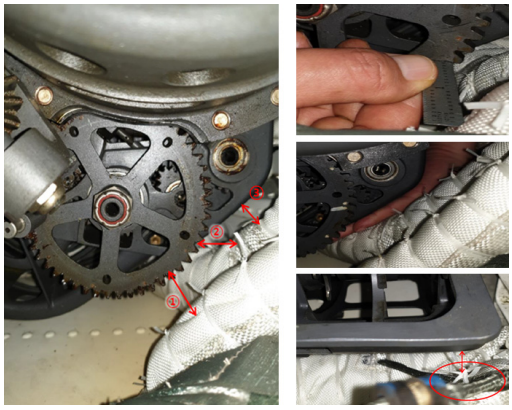

Fig. 9. Gap between Bulletproof Cover and Gun

### 2.3.2 기총탄 폭발시험 검증

기총탄 폭발 시 발생하는 물리적, 환경적 영향에 대해 방탄 커버의 보호 성능을 검증하기 위해 폭발 시험을 수행하였다. 방탄 커버의 저항력에 대한 검증 시험은 본딩하지 않은 12겹의 천을 1,225 feet/s 보다 큰 속도에서 시험하도록 미 군사규격 MIL-C-12369의 Ballistic Resistance 항에서 명시하고 있다. Ballistic Resistance test 항에서는 개인화기 및 항공기 장착 기총을 이용한 Ballistic Test의 Guideline을 제공하는 MIL-STD-662의 에 따라 테스트 시제의 관통 여부를 검증해야 함을 명시하고 있다[4]. 본 품질개선에서는 배선 및 유압 튜브를 보호하기 위해 방탄 커버 13겹을 적용하였으며, 방탄시험 요구조건인 속도 1,225 feet/s는 기총의 격발 성능 기준의 가혹 조건이다. 지연탄에 의한 추진체 폭발 시 탄피의 충격량은 격발 시 탄두의 충격량에 비해 매우 작은 값으로 예측된다. 따라서 방탄 커버 적용을 통한 배선 및 유압 튜브는 탄피 파편에 의한 영향이 없을 것으로 판단하여 적용하였다.

폭발시험 구성은 고정 치구를 제작하여 탄을 전방, 후방에서 지지하였으며, 폭발 작동라인 설치를 통해 폭발 신호를 제공하였다. 방탄 커버는 Fig. 10과 같이 구조물 외부 4면에 방탄 커버를 장착하였다. 방탄 커버는 구조물 전, 후, 상, 하부에 장착하였으며, 측면은 폭발 작동라인 설치 및 탄두 격발 영향에 의해 미장착하였다. 20mm 기총탄을 고정 지지대에 장착하여 시험을 수행하였다. 시험결과에 대한 분석은 탄피 파편의 방탄 커버 관통 시 FAIL로 간주하며, 미관통 시 PASS로 판단하였다.

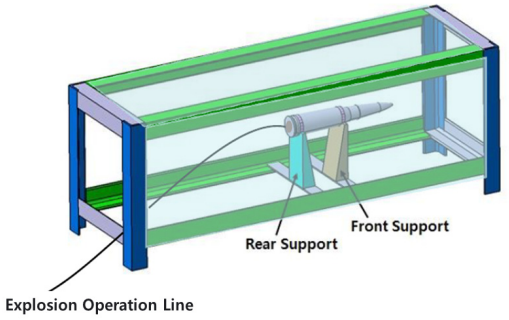


Fig. 10. Gun Bullets Explosion Test Configuration

기총탄의 폭발시험 결과 탄피는 폭발압력에 의해 조각났으며, 관통되지 못한 파편이 방탄 커버 내부에서 확인되었다. 방탄 커버 총 13겹 중에 Fig. 11과 같이 3곳의 부위에서 1겹의 방탄 커버 찢김 및 그을음이 확인되었다. 결국, 기총탄 폭발시험 결과 관통은 발생하지 않았으며, 방탄커버의 물리적, 환경적 저항 성능을 검증하였다.

Fig. 11. Results of Explosion Test

## 3. 결론

본 논문에서는 항공기 운용 중 발생한 기총의 결함 상황으로부터 항공기 안전을 확보하기 위해 품질개선을 수행하였다. 기총 사격 중 지연탄의 비정상 폭발 결함이 발생하면 폭발 압력 및 탄피 파편의 영향으로 기총 Bay 내 배선 및 튜브의 손상을 유발한다. 이러한 결함은 항공기 안전과 관련된 착륙 및 전기계통의 정상적 기능에 문제를 발생시킨다. 따라서 기총 Bay 내 방탄커버를 적용하여 비정상 상황에서 항공기 손실을 막고자 품질개선을 수행하였다. 방탄커버 적용을 위해 배선 및 튜브의 경로 최적화를 전행하였으며, 구성품과의 간섭여부 검토를 통해 기총 운용 성능 검증을 확인하였다. 또한 방탄커버의 방탄 성능 검증을 위해 기총탄 폭발 시험을 수행하였으며, 폭발 및 파편으로부터 방탄커버의 보호 성능을 확인하였다. 검증된 방탄커버가 장착된 항공기는 기총 운용 시 한번의 비정상 상황인 폭발로 인한 물리적, 화학적 영향에 따른 결함으로 부터 항공기 손실 및 안전을 확보할 수 있다.

## References


[1] B.G. Kim, Y.H. Kim, "T-50 20mm Gun System Design," *The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences*, pp. 754-757, 2004.

[2] MIL-HDBK-1763, "AIRCRAFT/STORES COMPATIBILITY SYSTEMS ENGINEERING DATA REQUIREMENTS AND TEST PROCEDURES," June, 1998.

[3] MIL-C-12369F, "MLITARY SPECIFICATION CLOTH, BALLISTIC, NYLON," June, 1974.

[4] MIL-STD-662F, "DEPARTMENT OF DEFENSE TEST METHOD STANDARD CLOTH, BALLISTIC, NYLON," Dec, 1997.



최 형 준(Hyoung-Jun Choi) [정회원]

- 2012년 2월 : 경상대학교 항공우주공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 ~ 2015년 7월 : 국방과학연구소 연구원
- 2018년 11월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원 재직

〈관심분야〉
항공우주, 체계공학, 유체

김 승 한(Seung-Han Kim) [정회원]

- 2012년 2월 : 광주과학기술원 기전공학부 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 2014년 7월 : LG전자 차세대통신연구소 선임연구원
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원 재직

〈관심분야〉
항공무기체계, 항공전자, 무장

박 세 웅(Sewoong Park) [정회원]

- 2021년 2월 : 경상대학교 기계 항공공학부 (공학석사)
- 2021년 7월 ~ 현재 : 국방기술 품질원 연구원 재직

〈관심분야〉
항공우주, 전산해석, 공력

김 지 홍(Ji Hong Kim) [정회원]

- 2018년 8월 : 경상대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2019년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원 재직

〈관심분야〉
항공공학, 전자공학