

30mm 차륜형대공포 EOTS 충격시험 품질개선에 관한 연구

차지현^{1*}, 신명준¹, 전호일²

¹국방기술품질원 지휘정찰4팀, ²한화시스템 기계기술팀

A Study on Quality Improvement of EOTS Shock Test for 30mm Wheel Type Air Defense System

Ji-Hyeon Cha^{1*}, Myung-Jun Shin¹, Ho-Il Jeon²

¹C4ISR Systems Team 4, Defense Agency for Technology and Quality, Korea

²Mechanical Engineering Team, Hanwha System, Korea

요약 전자광학추적장치는 이동하는 표적을 탐지하여 영상을 전송하고 자동으로 추적하면서 목표물에 대한 속도, 각속도 등의 정보를 사격 통제 시스템에 제공하는 장치이다. 30mm 차륜형대공포의 EOTS 최초생산품에 대해 환경시험 수행 중 충격시험 후 EOTS 내부 센서 간 정렬 상태를 확인하는 정렬유지도 항목에서 기준치를 초과하는 규격 미충족 사항이 발생하였다. 충격시험 결과값을 분석한 결과 EOTS의 구성품인 내부 김벌 조립체의 구조적 결함이 확인되었으며, 개선방안 도출을 위해 본 연구에서는 상용 구조해석 프로그램을 이용하여 내부 김벌 조립체, 고반복 레이저 거리 측정기 조립체의 설계 및 조립 공정의 개선안을 검토하였다. 내부 김벌 조립체 후면 덮개의 미끌림 현상을 줄이기 위해 체결류의 종류와 조립 방법을 변경하였으며, 추가로 센서 간 정렬 상태 측정 시 기준값이 되는 고반복 레이저 거리 측정기 조립체의 광축 정렬 방법을 변경하고, 장착 부 프레임 구조 변경을 통해 안전율을 기존 1.27에서 2.22로 향상시켰다. 개선된 EOTS에 대하여 충격시험을 재실시한 결과 정렬유지도 성능에 대해 평균 40 % 이상의 마진이 확보됨을 확인하였다.

Abstract This paper describes the cause analysis and improvement of a lack of alignment maintenance during a shock test of an Electro-Optical Tracking System(EOTS) for the first production of a 30mm wheel-type air defense system. Structural weakness of the inner gimbal assembly was identified based on a test result of alignment maintenance after we conducted a shock test. In order to reduce the slip of the rear side cover of the inner gimbal assembly, the fastener type and assembly method were changed after structural analysis using the Hyper-Works program. In addition, we changed the optical axis alignment method of a Laser Range Finder(LRF), which is criterion when measuring the alignment condition between sensors, and the safety factor of the LRF was improved from 1.27 to 2.22 by modifying the LRF's mounting structure design. The final test results with the improved EOTS confirm that the alignment-maintenance performance had an average margin of 40%.

Keywords : 30mm Wheel Type Air Defense System, Anti-Aircraft Gun, EOTS, Gimbal, Hyper-Works, Shock Test, Quality Improvement

*Corresponding Author : Ji-Hyeon Cha(Defense Agency for Technology and Quality)

email: jhcha@dtaq.re.kr

Received August 29, 2022

Accepted November 4, 2022

Revised September 28, 2022

Published November 30, 2022

1. 서론

30mm 차륜형대공포는 현재 운용 중인 발칸의 노후화 및 작전 운용 제한사항을 해소하고 미래전장 환경에 부합하는 저비용 고효율 방공장비이다. 30mm 차륜형대공포의 핵심 구성품으로는 전자광학추적장치(EOTS: Electro-Optical Tracking System, 이하 EOTS)가 있으며, 이는 이동하는 표적을 탐지하여 추적하고 표적의 속도, 각속도 등의 정보를 사격 통제 시스템에 제공함으로써 사격에 직접적인 영향을 미치는 장치이다. EOTS는 적 공중 위협에 대하여 네트워크 기반 방공C2A 체계, 국지방공레이더 등 외부 연동체계와 연동하고, 외부 연동체계 제한 시에도 일정 구간 또는 360° 전방위 자동탐색 등을 수행할 수 있다. 또한, 근거리, 원거리 및 소형 표적기 등 다양한 위협 표적에 대한 탐지 및 추적 정보를 체계에 제공한다[1-3].

본 연구에서는 30mm 차륜형대공포의 EOTS 최초생산품 충격시험 중 발생한 정렬유지도 규격 미충족 사항에 대해 EOTS의 구성품인 내부 김벌 조립체 및 고반복 레이저 거리 측정기 조립체(LRF: Laser Range Finder, 이하 LRF) 장착 부 설계보완, 내부 구성품 조립 강화를 위한 체결류 변경, 내부 구성품 조립 공정 변경 등 여러 측면에서의 영향성을 분석한 후 그에 따른 개선방안을 도출하였다.

2. EOTS 구조 및 문제 현상

2.1 EOTS 구조

30mm 차륜형대공포의 EOTS는 영상 센서 장치와 영상 센서 제어장치로 구분되며, 영상 센서 장치는 Fig. 1과 같이 크게 열상 장치(infrared), TV 카메라(TV camera), LRF, 주사 구동 조립체, 내부 김벌 조립체(inner gimbal assembly), 외부 김벌 조립체(outer gimbal assembly) 등으로 구성된다.

열상 장치는 검출기와 냉각기, 배울 구동 조립체, 반사경 조립체, 신호처리 모듈 조립체 등으로 구성되며, 주/야간 위협 표적물과 배경에서 방사되는 적외선 에너지를 검출하여 영상신호를 제공한다.

TV 카메라는 검출기 조립체와 배울 및 초점 구동 조립체 등으로 구성되며, 주간 위협 표적을 탐지하고 추적하기 위한 카메라 영상신호를 생성하여 제공하는 역할을 한다.

LRF는 레이저발진기와 송신 및 수신 광학부, 검출기 등으로 구성되며, 사격에 필요한 표적 거리를 획득하고 고속으로 이동하는 표적에 대한 거리 정보를 제공한다.

마지막으로, 내/외부 김벌 조립체는 고각 및 방위각 모터와 베어링, 슬립링 조립체, 요크 베이스 조립체, 방진구 등으로 구성되어 있으며, 사격 외란 및 차체 진동에 대한 안정성을 확보하고, 수동탐지 등을 수행할 수 있도록 고각 및 방위각 구동 기능을 제공한다[4]. 앞서 기술한 열상 장치, TV 카메라, LRF는 모두 내부 김벌 조립체에 장착된다.

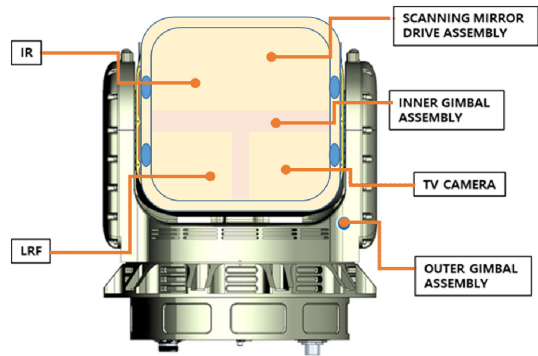


Fig. 1. Structure of EOTS

2.2 EOTS 문제 현상

30mm 차륜형대공포 EOTS는 관련 국방규격에 따른 시험 항목을 적용하며 최초생산품의 경우 하드웨어 신뢰성 확인을 위해 환경시험을 수행하게 되어 있다. 충격시험은 환경시험 항목에 포함된 사항으로 미 군사 규격인 MIL-STD-810G의 516.7 Shock test에 따라 수행한다.

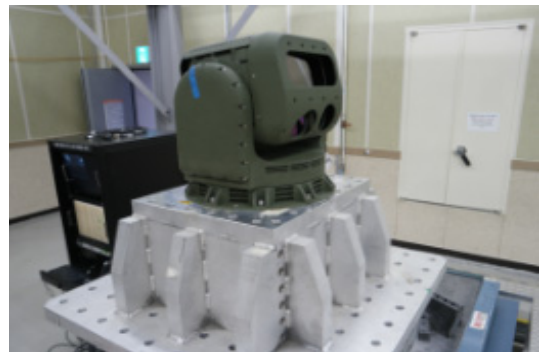


Fig. 2. Shock test set-up

Table 1. Alignment maintenance result of shock test

Test No.	Test result	
	TV Camera	IR
1st	0.42 mrad (Fail)	0.18 mrad (Pass)
2nd	2.93 mrad (Fail)	2.58 mrad (Fail)

Fig. 2와 같이 시험환경을 구축하여 X축, Y축, Z축에 대해 '+' 방향과 '-' 방향으로 각각 3회씩 톱니파 모양의 충격파를 $40 \pm 4g$ 의 세기로 11 ± 1.1 msec 동안 인가한 후 정렬유지도를 측정하도록 요구된다[5]. 정렬유지도는 EOTS 내부에 장착되어 있는 여러 센서 간의 정렬 상태가 기준치 내로 유지되는지를 확인하는 항목이며, 센서 간의 정렬 상태를 확인하는 기준은 LRF가 된다.

Fig. 3은 충격시험 전과 후의 정렬유지도 정도를

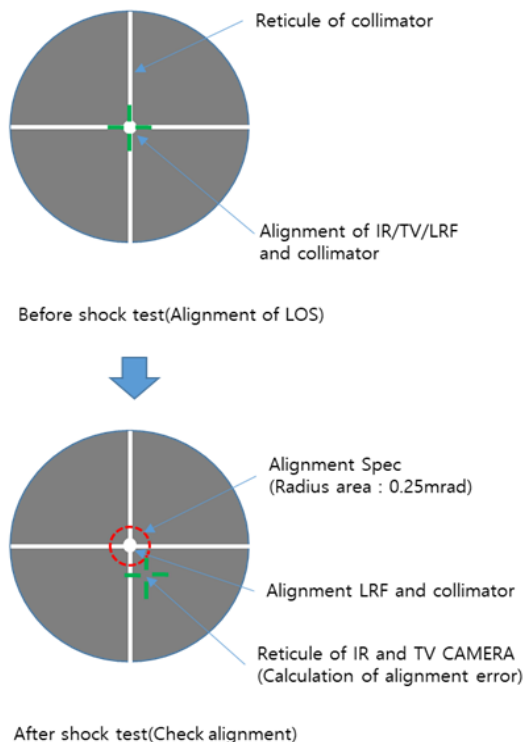


Fig. 3. Alignment error check

확인하는 방법을 설명한 것이다. 충격시험 전에 표준 망선 정렬을 통해 열상 장치, TV 카메라와 LRF를 시준기 망선 중심에 정렬시킨 후, 충격시험 후 시준기 망선

중심에 LRF를 일치시킨 다음 열상 장치와 TV 카메라의 표준망선 중심을 확인하여 벗어난 정도를 측정하며 규격 기준치는 0.25 mrad 이다.

EOTS 최초생산품 충격시험은 총 2번에 걸쳐 연속으로 규격 미충족이 발생하였으며, 시험 결과값은 Table 1과 같다.

3. EOTS 품질 개선

3.1 원인분석 및 개선대책

EOTS 충격시험 후 정렬유지도 변위에 영향을 미치는 요소에 대해 총 10개 항목에 대해 검토하였으며, 그중에서 가장 큰 영향을 미치는 내부 김벌 조립체 구조 및 LRF 장착구조에 대해 상세 검토를 실시하였다. 내부 김벌 조립체 구조에 대한 개선 내용은 후면 덮개 체결류 변경(고장력 볼트 적용) 및 조립 방법 변경이며, LRF 장착구조에 대한 개선 내용은 조정 나사를 정렬용 심으로 변경하는 건과 LRF 프레임 형상변경을 통한 안전율 향상으로 구분된다. 이에 대한 개선항목 및 세부 개선사항은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Improvement items & details

Contents	Improvement Items	Details
Structural Inner Gimbal Ass'y	Improvement of structural weakness of inner Gimbal Ass'y frame	① Rear cover fastener high tensile bolt change & assembly method change
Mounting structure of LRF	Change of optical axis alignment method	① Adjusting screw → alignment shim
	LRF frame structure improvement	② LRF frame shape change(safety factor 1.27 → 2.22)

3.1.1 내부 김벌 조립체 구조 검토 및 개선

영상 센서 장치 내부 구성품에 대해 구조해석을 수행한 결과, 내부 센서 구성품의 거동이 정렬유지도 오차 발생 경향과 거의 유사한 것을 알 수 있었다. Fig. 4는 구조 해석 상용 도구인 Hyper works 프로그램을 이용하여 내부 김벌 조립체에 대한 해석을 수행한 결과이며, 해석 조건은 X축, Y축, Z축 각 축으로 75g의 가속도를 인가하여 획득한 결과이다.

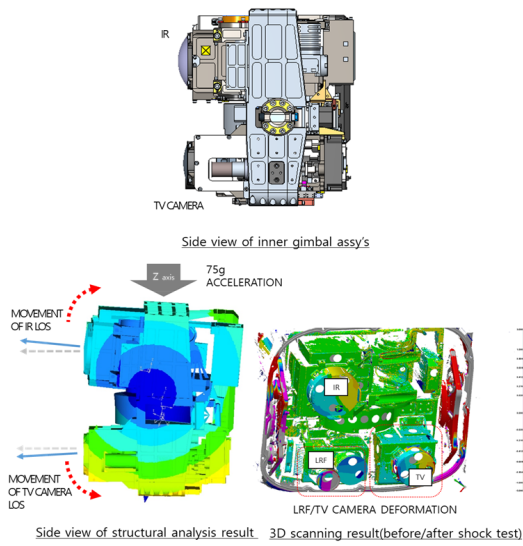


Fig. 4. Structural analysis & 3D scanning results

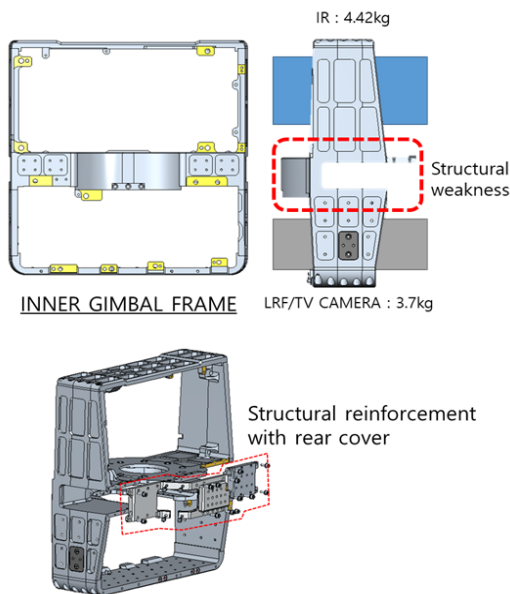


Fig. 5. Structure of inner frame

3D 스캐너를 활용하여 충격시험 전/후 주요 센서의 거동을 비교 분석한 결과 구조해석 결과와 유사한 변형을 확인할 수 있었다. 내부 김벌 프레임은 Fig. 5와 같이 크기와 무게를 고려하여 알루미늄 재질의 프레임과 볼트 조립식 구조로 되어있고, 내부 방위각 회전축 조립 후 뒷면을 후면 덮개로 보강하는 구조로 설계되었다.

외부충격 인가 후 영상 센서 장치를 분해하여 내부프레임을 확인한 결과는 Fig. 6과 같으며, 내부 김벌 프레

임의 구조적 특성으로 인해 발생된 변형이 후면 덮개의 볼트 조립 구조의 슬립(미끌림) 발생으로 원상복구 되지 않음을 확인할 수 있었다.

내부 김벌 프레임과 후면 덮개를 조립하는 체결 볼트를 Fig. 7과 같이 일반 볼트에서 고장력 볼트로 변경하여 볼트 슬립(미끌림) 발생을 최소화하였고, 조립 방법을 측면 조립에서 측면 및 상하 조립방식으로 변경하여 후면 덮개 고정성을 향상시켰다. 즉, 체결력 및 고정성 향상으로 내부 김벌 프레임의 구조적 취약점을 개선함에 따라 정렬유지도 오차의 개선과 추가적인 마진을 확보할 수 있었다.

내부 김벌 조립체 구조 개선을 위해 75 g 가속도 조건에서 내부 구성품의 탄성변형 내 변위량(mrad)이 가장 큰 Z축 방향에 대해 Hyper works를 활용하여 구조해석을 수행하였다. 정렬유지도 오차 발생원인이 내부프레임의 구조적 특성으로 인한 볼트 슬립 현상으로 예측되었기 때문에 구조해석을 통한 정확한 정렬 오차를 산출할 수는 없으나, 앞서 설명한 개선된 체결 볼트 및 체결 방법의 반영 전/후에 대한 변위량을 비교함으로써 오차 개선 효과에 대한 분석이 가능하다. 그 결과 Table 3과 같이 개선 전 대비 정렬유지도 변위량이 부품에 따라 32.7% ~ 76.7% 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

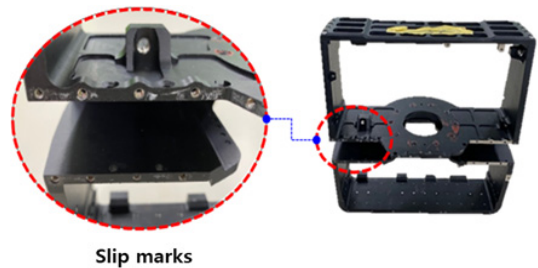


Fig. 6. Traces of inner gimbal frame slip after shock test

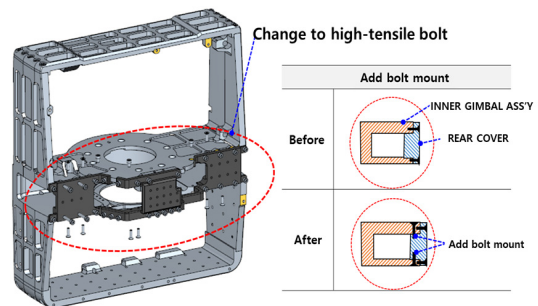


Fig. 7. Improvement of structural weakness

Table 3. Structural analysis(alignment displacement)

	IR alignment displacement	LRF alignment displacement	TV camera alignment displacement
As-is	3.273 mrad	5.033 mrad	0.755 mrad
To-be	0.671 mrad (76.7 % reduction)	1.768 mrad (76.7 % reduction)	0.290 mrad (32.7 % reduction)

3.1.2 LRF 장착구조 검토 및 개선

앞서 설명한 것과 같이 충격시험 후 센서 간의 정렬 상태가 유지되는지를 확인하는 시험이 정렬유지도 항목이다. 센서 간의 정렬 상태를 확인할 시 기준은 LRF가 된다. 따라서 LRF가 기구적으로 틀어지는 현상이 발생한다면 LRF의 광축이 동시에 틀어져서 정렬유지도 값이 상당히 커질 수 있음을 예측할 수 있다.

최초양산 시 LRF 광축 정렬 공정의 생산성 향상을 위해 정렬용 심 부품을 조정 나사로 변경하여 적용하였다. 조정 나사가 적용된 EOTS에 대해 충격시험을 실시하고, 시험 전/후 내부 김벌 프레임의 장착 부 변형 상태를 검토하기 위해 3차원 측정기를 이용하여 내부 김벌 프레임의 유닛 장착 부 치수를 측정하였으며 결과는 Table 4와 같다. 조정 나사 적용으로 내부프레임의 LRF 장착 부에 변형이 발생하고 정렬유지도 오차가 유발되었음을 확인하였다.

내부프레임의 LRF 장착 부 구조 개선을 위해 조정 나사 제거 후 정렬용 심을 적용함으로써 광축 정렬 방법을 Table 5와 같이 변경하였다. 또한, 구조해석을 통한 LRF 프레임의 정렬 오차 원인분석 후 구조 최적화 설계를 통해 Table 6과 같이 LRF 프레임의 안전율을 기존 1.27에서 2.22로 추가 확보하였다. LRF 프레임 설계보완을 통해 LRF의 구조적 안전율을 약 75 % 정도 향상시킬 수 있었다. 안전율은 LRF 프레임의 재질인 A6061의 항복 응력 245 MPa 에서 최대 응력을 나눈 값이다.

Table 4. Result of 3D measurement

	Standard dimension	Before shock test	After shock test
IR mounting part (parallelism)	0.03 mm	0.004 mm	0.010 mm
LRF mounting part (flatness)	0.03 mm	0.007 mm	0.030 mm (Deformation generation)
TV camera mounting part (flatness)	0.03 mm	0.007 mm	0.003 mm

Table 5. Improvement of alignment bolt type

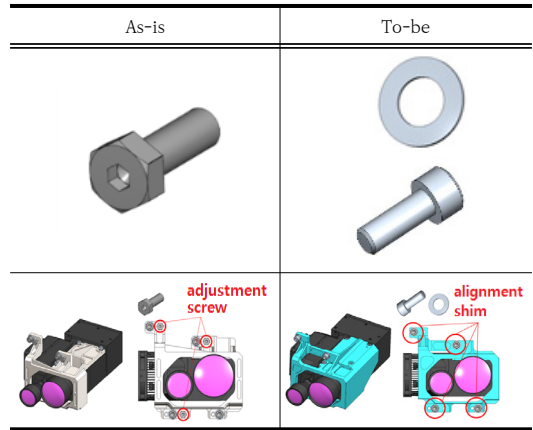


Table 6. Improvement of LRF frame design

	As-is	To-be
Analysis model		
Yield stress	192 MPa	110 MPa
Safety factor	1.27 (245/114)	2.22 (245/110)

정렬유지도 개선항목 적용 후 최종시험 결과는 Table 7과 같으며, 개선방안 적용 시 기존 제품 대비 열상 장치 정렬유지도에 대한 추가적인 마진을 평균 40 % 가량 확보 가능한 것으로 확인되었다.

Table 7. Final test result

	Displacement		TV camera		IR	
x-axis	Azimuth	Total	0.003°	0.117 mrad	-0.003°	0.087 mrad
	Elevation		-0.006°		-0.004°	
y-axis	Azimuth	Total	0.002°	0.049 mrad	-0.001°	0.039 mrad
	Elevation		-0.002°		0.002°	
z-axis	Azimuth	Total	0.001°	0.106 mrad	0.001°	0.106 mrad
	Elevation		-0.006°		-0.006°	

4. 결론

본 논문에서는 30mm 차륜형대공포 EOTS 최초생산품 충격시험 시 발생한 정렬유지도 규격 미충족에 대한 원인분석 및 개선방안에 대해 서술하였다. 정렬유지도 규격 미충족에 영향을 미칠 수 있는 주요 원인이 내부 김벌 구조 조립체와 LRF 장착구조임을 확인하였으며, 구조해석 상용프로그램인 Hyper works를 사용하여 구조해석을 수행한 결과 내부 김벌 조립체의 취약구조에 가장 많은 영향을 미치는 후면 덮개 체결류의 종류와 조립 방법을 변경하였다. 또한, LRF의 광축 정렬 방법을 조정 나사에서 정렬용 십으로 변경하고, LRF 프레임 구조 변경을 통해 안전율을 기존 1.27에서 2.22로 약 75 % 향상시켰다.

개선사항 적용으로 정렬유지도의 추가 마진을 평균 40 % 확보하여 양산 품질의 신뢰성을 확보하였다.

References

- [1] J. K. Park, S. Jung, "An Experimental Study on Coordinates Tracker Realization for EOTS Slaved to the Radar of a Helicopter", *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, Vol.11, No.4, pp.369-377, Apr. 2005.
- [2] S. W. Chun, W. H. Baek, J. P. La, "A Study on HILS for Performance Analysis of Airborne EOTS for Aircraft", *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol.18, No.12, pp.55-64, Dec. 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9708/jksci.2013.18.12.055>
- [3] S. N. Yoon, "Operation Status and Development Trend of Electro-Optical Tracking System", *Korea Defense Industry Association*, Vol.1, No.155, pp.30-37, Jan. 1992.
- [4] J. B. Yim, S. S. Kim, J. Lyoo, "Maneuverability Improvement of EOTS by Driving the Outer Gimbal First", *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol.19, No.10, pp.873-878, Oct. 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2013.13.1914>
- [5] MIL-STD-810G, Environmental Engineering Consideration and Laboratory Tests, *Department of Defense*, DC, USA, pp. 516.7, 2014.

차 지 현(Ji-Hyeon Cha)

[정회원]



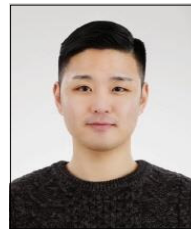
- 2011년 8월 : 창원대학교 전자공학과 (공학학사)
- 2020년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

전기/전자, 신뢰성공학

신 명 준(Myung-Jun Shin)

[정회원]



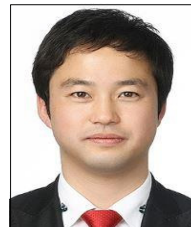
- 2015년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 (공학학사)
- 2016년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

전파공학, 전자공학

전 호 일(Ho-Il Jeon)

[정회원]



- 2007년 2월 : 영남대학교 기계공학부 (공학학사)
- 2006년 12월 ~ 현재 : 한화시스템 전문연구원

<관심분야>

기계/재료