

열영상 조준경의 고장원인 분석

조관준
국방기술품질원

Failure analysis of thermal sight device

Kwan-Jun Jo
Defense Agency for Technology and Quality

요약 본 연구는 열영상 조준경의 고장원인을 도출하고, 이를 해소하기 위한 개선방안을 수립하고자 하였다. 고장 원인을 조사하기 위해 열영상 조준경의 LCD 패널을 분해하여 검사하였다. 고장현상은 내부 하우징을 관찰한 결과 LCD의 열화로 정의된다. 검사결과를 바탕으로 높은 광량이 주요 고장 원인으로 추정하였다. 본 연구를 통하여 태양광 노출시험, 표면 측정, 손상표면 분석을 통해 LCD 파손 메커니즘을 규명하였다. 시험결과 태양광 노출시험에서 30klux 이상의 광량에 5분 이상 노출되면 LCD의 하우징의 손상이 발생되고, 60klux 이상의 광량에 30분 이상 노출시 LCD 액정의 손상이 발생된다. 시험결과를 분석하면 열영상 조준경은 인공광원에서 고장이 발생되지 않는 것을 확인하였다. 이로부터 고장현상은 높은 광량과 불충분한 내열성에 기인하는 것으로 추정된다. 또한 열영상 조준경의 문제는 제품의 품질적 문제보다는 운용자의 과실로 확인하였다. 고장재현 시험결과를 바탕으로 대안렌즈를 통하여 들어오는 빛의 양을 조정하는 개선안을 제안하였다. 본 연구에서 수행한 열영상 조준경의 고장원인 분석 결과는 향후 광학장비류의 유사한 고장 및 파손원인 분석 연구에 참고 사례 및 유용한 자료가 될 수 있을 것이다.

Abstract In this study, we investigated the cause of failure of a thermal sight device and attempted to establish a solution for the failure. A thermal sight device with an LCD panel was disassembled and inspected to determine the cause of failure. The failure phenomenon was classified as a burnt LCD panel based on observation of the inside of the housing. Based on the inspection results, it was estimated that excessive light was the main cause of failure. We clarified the mechanism of LCD failure according to a solar simulation test, surface measurement, and an analysis of the damaged surface. As a result of the test, it was found that when exposed to 30-klux light for 5 minutes, the housing was damaged, and when exposed to 60-klux light for 30 minutes, the LCD's liquid crystal was damaged. As a result of analyzing the test results, it was confirmed that the thermal imaging sight did not cause malfunctions in the artificial light source. This means that the LCD failure could be attributed to excessive light and insufficient thermal resistance. Also, the problem of the thermal imaging sight was confirmed to be the operator's error rather than the quality of the product. Based on the results of the failure reproduction test, we propose an improved design to control the amount of light that enters through the ocular. The results of the study could be used as reference samples and could be useful for another study on failure analysis of an optical device.

Keywords : Failure Analysis, Thermal Sight Device, Solar Simulation Test, Optical Device Failure, Reliability

*Corresponding Author : Kwan-Jun Jo(Defense Agency for Technology and Quality)

email: jkj@dtaq.co.kr

Received August 26, 2022

Revised September 29, 2022

Accepted October 7, 2022

Published October 31, 2022

1. 서론

군수품은 배치 운용기간 중 열악한 운용환경에서도 요구되는 기능을 수행해야 하며, 수명주기 내에서 지속적으로 품질을 유지가 요구된다. 이를 위해 군수품은 양산 및 운용단계에서 지속적으로 품질관리를 수행하고 있다. 특히 현재 군수품이 양산 운용간에서 품질문제가 발생하게 되면 군은 품질정보 또는 사용자 불만을 제기하게 된다. 이러한 사용자 불만사항에 대하여 국방기술품질원은 원인 조사를 수행하며, 설계 미흡, 제품결함, 사용자 과실 등을 판단하여 후속조치를 수행하게 된다. 이러한 과정을 통하여 군수품의 품질을 지속적으로 향상 시킨다 [1-3].

소형 대공 유도탄인 OO은 사수가 광학장비를 이용하여 표적을 식별한 이후, 사격을 통하여 적 항공기를 제압한다. 관측자에게 OO배율의 열영상을 제공하고 발사 장비와 연동하여 야간에 표적을 관측, 조준 및 선도각을 표시한다. 광학장비는 물체를 육안으로 볼 때 보다 명확하게 보기 위한 장비로 물체에서 반사되는 파장을 이용한다. 이중 열상 장비는 관측물에서 방사되는 적외선을 감지, 전자적으로 신호를 처리하여 열을 감지하게 된다[4].

열영상 조준경 내부의 LCD 고정 패널의 고장이 발생하게 되었다. 고장 현상은 개발 및 양산 후 시험평가 간에 발생한 고장이 아닌 운영 유지 단계에서 발생한 고장으로 고장원인에 대하여 고장분석을 수행하였다. 일반적인 제품 개선, 신뢰성평가 및 고장원인 분석 연구에서는 고장 원인에 대한 기술적인 자료 분석, 고장 원인을 추정하고, 개선 전/후의 성능평가를 통하여 확인하고 있다 [5-7]. 본 연구에서는 기존의 연구와 다르게 고장이 발생하는 상황에 대하여 분석하고 고장현상을 재현하는 방법으로 열영상 조준경의 고장 원인에 대하여 연구하였다. 고장원인 분석 결과를 바탕으로 고장현상을 재현하기 위한 시험을 수행하였다. 시험 결과를 바탕으로 하여 현재 고장원인에 대한 개선 방안을 제시하였다.

2. 고장원인 분석

2.1 열영상 조준경의 구조 및 고장

열영상 조준경 구조는 물체를 대물렌즈로 접속하여 신호 처리 장치를 통하여 열 영상을 측정하고, 이를 LCD 액정 표시기에 표시한다. LCD 액정 표시기의 내용을 대안렌즈를 통하여 육안으로 확인하는 구조로 되어 있다.

우측의 Fig. 1은 열영상 조준경 내부 구조를 나타낸 것이다. 열영상 조준경은 전기소모량을 극소량으로 하기 위해 LCD 패널을 소형으로 만들고, 이를 대안렌즈로 확인하는 형태로 되어있다. 외부 전체 케이스는 스틸형태로 구성되어 있고 내부의 신호처리 장치 및 LCD패널은 외부와 완전히 차단된 구조이다. 이러한 구조에서 LCD 패널에 고장이 발생하였다.

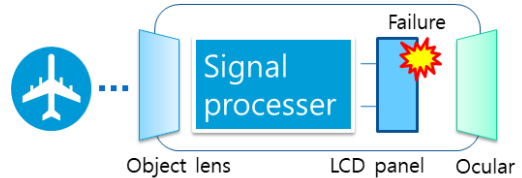


Fig. 1. Structure of thermal sight device

아래 Fig. 2는 대안렌즈와 LCD 패널의 사진을 나타낸 것이다. 대안렌즈에 LCD 패널이 일정한 유격으로 떨어져 있는 것을 알 수 있다.



Fig. 2. Photograph of Ocular and LCD panel
(a) Ocular (b) LCD panel

LCD 패널의 고장은 내부 LCD 액정에서 발생하였으며, 이를 실제로 대안렌즈를 통하여 보면 아래 Fig. 3과 같은 고장 현상을 식별할 수 있다. LCD 패널의 고장을 보면 일직선 상에 점형태의 고장을 갖는 것을 알 수 있다. 다수의 고장에서 일직선 상의 고장 패턴을 보이나, 모두 동일한 지점에서 고장이 발생한 것은 아니다.



Fig. 3. Photograph of thermal sight device failure

위의 Fig. 3에서 보는 것과 같이 LCD 패널의 고장은 실제로 물체가 관측되는 것과 같은 현상을 나타내어서 실제 관측자가 열영상 조준경으로 실제 물체를 식별하기 어렵게 한다.

열영상 조준경은 0년 동안 양산되어 다수의 부대에 배치되어 운영되어 왔다. 그런데 운영과정에서 배치 부대 다수에서 유사한 고장이 발생하기 시작하였다. 대표적인 고장은 LCD 패널의 액정부분에 반점이 발생하거나, LCD 패널외곽 부분인 하우징에 파손이 발생하였다. LCD 패널 외곽부분의 파손은 LCD의 기능에 영향을 줄 만큼의 큰 고장은 아니었으나, LCD 패널의 고장은 관측자가 실제 외부 물체를 식별할 때 혼동을 일으키거나, 정확한 식별을 어렵게 하는 원인이 되었다.

2.2 고장원인 분석

실제 파손된 고장 LCD의 구조를 볼 때 외부에서 충격이나, 진동, 화학적인 영향에 의하여 발생하는 것으로 볼 수 없다. 특히 열영상 장비의 외부 케이스 및 오링 등으로 기밀이 유지 되는 형태이며, 파괴된 형상은 열에 의하여 열화된 형상으로 식별된다.

LCD 패널의 액정 고장과, 하우징의 고장은 점 형태의 고장을 보이며, 일직선 상의 패턴을 갖는 것을 앞서 확인하였다.

고장요소를 기계적, 화학적, 전기적, 환경적인 요인으로 구분하여 분석하여 볼 때 환경적인 요인인 외부 대안렌즈에 의한 광원 노출로 LCD 패널의 파손이 발생하는 것으로 추정된다. 실제로 파손된 부분을 확대하여 보면, 열에 열화된 형태를 보이며, 기계적, 화학적, 전기적인 고장 패턴으로는 추정되지 않는다. 또한 현미경 등을 확대해 볼 때, 열화의 모양이 둥근 모양으로 되어 있는 것으로 볼 때, 외부 광원에 의하여 열영상 조준경의 대안렌즈로 초점화 되어 LCD 액정부분 열에 의하여 파손된 것으로 추정된다.

그러나 열영상 조준경은 야간에만 운영되고, 운영 환경에서 태양광이 있는 주간에는 노출되지 않는 운영형태를 가지고 있다. 그러므로 소요군에서는 가로등 불빛이나, 야간에 작전시 운영하는 낮은 불빛(형광등 수준)만으로도 파손 가능성에 제기되었다. 고장원인을 정확하게 추정하기 위하여 다음과 같은 시험방법을 검토하였다.

우측의 Table 1은 고장분석 사항과 시험방법을 나타낸 것이다. 고장분석 사항에서 오버스트레스 고장과 열화고장으로 구분하고 이에 따라 고장요소를 검토할 때,

동일한 광원이더라도 높은 광원에 노출되거나, 광원에 자주 노출될 때 동일한 고장이 발생할 수 있을 것으로 분석된다[1,7,8].

동일하게 빛에 의하여 발생하는 고장이더라도, 고장 메커니즘에 따라 시험 방법이 구분되며, 시험에서 확인하고자 하는 값이 달라지게 된다.

Table 1. Failure analysis and test method

Failure factor		Possibility of failure (test method)
Overstress failure	Mechanical	Low
	Chemical	
	Electrical	
	Environmental (Light)	High(overlight test)
Degradation failure	Mechanical	Low
	Chemical	
	Electrical	
	Environmental (Light)	High(Light exposure frequency test)

고장원인 분석에 따라 고장 발생 가능성의 낮은 경우는 시험에서 제외하고, 고장 발생 가능성이 높은 경우에 대하여 시험방법을 제안하였다. 고장요소에 대한 분석을 통하여 광원 노출에 대하여 고광원에 노출되어 파손되는 것과 낮은 일정 광원에 지속적으로 노출됨으로써 발생하는 열화 고장으로 구분할 수 있다. 이러한 고장 요인에 따라 고광원 노출시험과 광노출 빈도시험이 필요할 것으로 분석하였다.

3. 고장재현 및 고장분석 시험

3.1 고장재현 시험

고장의 원인으로 외부의 광원에 의한 대안렌즈의 초점으로 LCD의 고장을 추정하였다. 외부 광원에 의한 고장이 맞는지 확인하기 위하여 고장 현상을 재현하는 시험을 수행하였다.

다음의 Fig. 4는 열영상 조준경의 광노출 시험을 위한 시험장비의 구성을 나타낸 것이다. 태양광 시뮬레이션 시험장비를 활용하여 광원 발생량을 조절하면서 실제 대안렌즈에서 받는 실제적인 광량을 조사되는 위치에서 직접 측정하여 분석하였다.

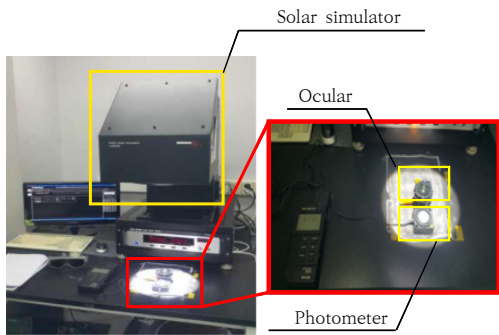


Fig. 4. Light radiation test system of thermal sight device

시험장비 구성은 외부에서 빛을 조사하여, 광량에 따라 실제 제품의 파손이 발생하는지를 분석하였다. 고장 재현 시험 외부에서 일정량의 빛을 조사하였을 때 대안 렌즈를 통하여 빛이 한 지점에 초점화되는 것을 아래의 Fig. 5와 같이 확인할 수 있었다.



Fig. 5. Failure reproduction test

시험과정에서 실제로 패널이 파손되는 과정에서 연기가 발생하면서, 파손되는 것을 알 수 있었다. 고장은 초점화 되는 부분에서 발생하게 되며, 다른 부분에서는 고장이 식별되지 않는다. 광원이 조사되는 과정에서 시험체를 이동하면 초점화 되는 부분이 이동하는 것을 확인할 수 있다. LCD의 초점은 외부 빛의 조사 방향에 따라 변경되는 것을 확인하였다. 우측 Fig. 6은 LCD 패널의 하우징의 고장을 나타낸 것이고, 우측의 Fig. 7은 LCD 패널의 액정의 고장을 나타낸 것이다.

고장 형태를 보면 초점으로 빛이 모여서 하우징과 LCD가 열화된 것을 확인할 수 있다. 또한 LCD의 고장의 경우 기존에 야전환경에서 발생한 고장과 동일한 고장이 발생한 것을 확인할 수 있다.



Fig. 6. Photograph of LCD panel housing failure
(a) LCD Panel (b) Damage area of housing



Fig. 7. Photograph of LCD liquid crystal failure
(a) LCD panel (b) Damage area of liquid crystal

만일 사람 손에 열영상 조준경이 있다면 움직임에 따라 조정되면서 초점이 이동하였을 것으로 판단된다. 이에 따라 LCD패널에 일직선의 열화가 발생하여 고장의 발생원인은 외부 광원에 의하여 대안렌즈가 초점화되면서 LCD를 손상시키는 것이다.

고장재현 시험으로 대안렌즈를 통하여 빛이 초점화 되는 것은 확인하였으나, 순간적으로 강한 빛에 의하여 고장이 발생하는 것인지, 지속적인 빛에 노출되어 발생하는 것인지는 확인할 수 없다. 고장원인 분석 등과 종합하여 고장 발생의 원인에 대한 정확한 분석을 위하여 광량의 변화, 광원에 노출되는 시간을 가변하는 시험을 설계하여 수행하였다.

3.2 고장분석 시험

고장 현상은 광원의 노출에 의해 발생하는 것을 고장 재현시험을 통하여 확인하였다. 그러나 어느 정도 고광원에 노출될 때 발생하는지, 저광원에서도 발생하지 않는 것인지를 알아보기 위하여 다음과 같이 시험계획을 수립하였다. 또한 LCD와 프레임 부분의 파손을 구분하여 보기 위해 광량과 지속시간을 다음과 같이 계획하였다.

파손이 발생하는 광량을 찾고, 파손이 발생하지 않는 광량 범위에서 빈도를 변경하여 파손이 발생하는 지점에서 횟수 및 지속시간을 변화하여 파괴가 발생하는 범위를 찾고자 하였다.

시험은 하우징 부분과 LCD부분에 초점화 되는 것을 나누어 시험을 수행하였다. 광원 발생기에서 수직위치에

서 위치를 변경하면 초점화 되는 부분을 조정할 수 있다. 매우 낮은 저광원에서 초점화 되는 부분을 고정한 상태에서 시험을 수행하였다.

Table 2. Overlight test

No.	Part	Quantity of light(klux)	Duration time (min)	Failure
1	Housing	30	5	O
2		40	5	O
3		80	5	O
4	LCD Liquid crystal	40	30	X
5		60	30	O
6		80	30	O

위의 Table 2는 광량 변화 시험에 따른 LCD 액정과 하우징의 고장 발생 유무를 나타낸 것이다. 하우징은 매우 짧은 시간에서 파손이 발생하며, LCD 패널은 저광원에서는 30분간 노출이 되더라도 파손이 발생하지 않는 것을 확인하였다.

하우징과 LCD의 광량과 빈도(시간, 횟수)를 변화시켜 가며 시험을 수행하였다. Table 1에서 하우징과 LCD 액정이 빛에 대한 내구성이 다른 것을 확인하여, 광량 노출 빈도를 시험하는 것에서는 시험의 기초값을 다르게 설정하였다.

하우징의 경우 초기 시험에서 30klux에서도 파손이 발생하였으므로, 더 낮은 빛 20klux 에서 노출 횟수를 다르게 하여, 열화 현상을 확인하고자 하였다. 또한 LCD 액정의 경우에는 60klux에서 파손이 발생하였으므로 40klux에서 노출횟수를 다르게 하였다.

Table 3. Light exposure frequency test

No.	Part	Quantity of light(klux)	Duration time(min)	Number of cycle	Failure
1	Housing	20	5	1	X
2		20	5	5	O
3		20	5	10	O
4		20	5	15	O
5	LCD Liquid crystal	40	30	5	X
6		40	30	10	O
7		40	30	15	O

위의 Table 3은 광원 빈도 변화 시험에 따른 LCD 액정과 하우징의 고장발생 결과를 나타낸 것이다. 추가적으로 LCD의 경우에는 파손이 발생한 시간을 줄여서, 파손이 발생하는 시점을 확인하고자 하였다.

Table 4. Light exposure duration test(LCD liquid crystal)

No.	Quantity of light(klux)	Duration time (min)	Failure
1	80	5	X
2	80	10	O
3	80	15	O

위의 Table 4는 LCD의 광 노출 시간에 따른 파손유무를 나타낸 것이다. LCD의 경우 80 klux의 광량이 발생하더라도 5분이하의 시간을 지속할 경우 파손이 발생하지 않는 것을 확인하였다.

시험결과를 요약하면 시험품은 30klux의 광량에서 5분 이상 노출시 하우징에 손상이 발생하며, 60klux 이상의 광량에 30분 이상 노출시 LCD 패널이 손상되는 것을 확인하였다. 시험품은 20klux의 광량에 5분주기로 5회 이상 노출시 하우징에 손상이 발생하며 시험품을 40klux의 광량에 30분 주기로 10회 노출시 LCD에 손상이 발생하였다.

4. 시험 결과 분석

일반적으로 사용하는 인공조명(형광등)의 광량으로는 현재 열영상조준경의 파손은 발생하지 않는다. 현재의 시험결과로 볼 때 태양광에 직접 노출되는 경우에서만 발생하게 된다.

실제 성남지역 11월0일의 야외 광량을 현재 시험에서 사용된 광량 센서로 측정하여 보면 아래의 Fig. 8과 같다. 현재 고장이 발생한 광원은 아침 8시~9시 사이에 발생한 광량이다.

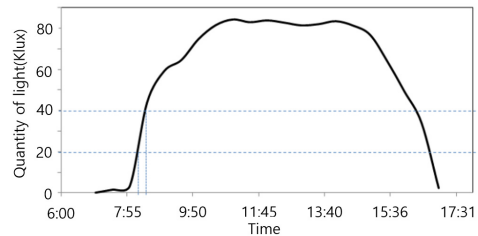


Fig. 8. The graph of solar radiation quantity

현재 열영상 조준경의 LCD 파손은 일출 이후 약 1시간에서 2시간 이내에 태양광에 직접 노출되어 5분 이상 일 경우 하우징 부분에 파손이 발생하고, 30분이 상이 경과할 경우 LCD부분이 파손이 발생할 것으로 예상된다. 또한 일출 이후 3시간이 경과한 경우에는 태양광에 직접 노출되면 파손이 발생할 것으로 예상된다.

5. 결론

열영상 조준경의 고장에서 보듯이 군수품의 고장은 개발시점에서 예상하지 못한 고장이 발생하게 된다. 고장 원인에 대하여 사용자는 개발 및 양산 간의 품질이 잘못 되었다고 판단하게 된다.

본 연구에서는 열영상조준경의 구조 등을 고려하여 고장원인을 광원에 의한 파손으로 추정하고, 이를 시험을 통하여 고장 현상을 재현하였다. 또한 고장 재현시험 결과 외부 광원에 의한 파손으로 원인을 규명하였다. 또한 광원 노출시험을 통하여 어느 정도 빛에서 파손이 발생하는지, 주기적인 빛에 노출시켜 광원에 대한 내구성을 평가하였다.

시험결과를 통하여 열영상 조준경은 인공광원에서는 고장이 발생되지 않으며, 태양 광원에 5분 이상 노출되는 경우에서 파손되는 것을 알 수 있었다. 이를 통하여 제품의 품질적 문제보다는 운용자의 과실을 확인하였다. 연구결과를 바탕으로 하여 열영상조준경의 파손을 방지하기 위해 대안렌즈를 사용자가 보지 않을 경우, 자동 차단할 수 있는 구조로 개선안을 추진하였다. 본 연구결과를 특정 열영상 조준경에서 발생한 문제를 해결사항인 한계를 갖고 있으나, 유사한 광학 구조에서 발생하는 고장에 대하여 개선 방향을 제시하는 것으로 볼 수 있다.

향후 고장발생시 고장분석 및 고장 재현을 통한 고장원인의 규명과 개선안을 도출하는 방식으로 군수품에 대한 고장개선 절차의 개선과 발전에 본 연구결과가 사례 연구로 활용되었으면 한다.

References

[1] D. H. kwak, "Failure analysis and heat resistant evaluation of electric fuel pump for combat vehicle", Journal of the korea academia-industrial cooperation society, Vol.21, No.11, pp.634-640, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.11.634>

[2] J. M. Ryu, Y. J. Lee, K. I. Son, A study on the fault analysis of the voltage controller for the combat vehicle Generator, Journal of the korea Academia-Industrial cooperation society. Vol.22, No.11, pp386-393, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.11.386>

[3] D. S. Oh, J. H. Kim, S. H. Seo, Failure analysis by fracture study of connecting rod bolts in diesel engine for military tracked vehicles, Journal of the korea academia-industrial cooperation society, Vol.21, No.7, pp.191-200, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.7.191>

[4] B.H. choi, I. C. Yun, I. S. Kwon, H. S. Kim, "Improvement of accuracy and stability of image intensifier tube light Exposure assay for using portable night monitoring Equipment system", institute of control, robotics and system, proceeding of 7nd conference on defense Technology, ICROS, pp336-342, 2011.7.

[5] J.S.Lee, S.J. Kim, G.M. Bae, S.M. Kwon, H. J. Park, J.S. Choi, " The Study on design of circuit card assembly on servo control unit for automated resupply vehicle K56", Journal of the korea academia-industrial cooperation society, Vol.20, No.12, pp.102-109, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.12.102>

[6] T.W. Kang, S.G. Kim, C.H. Shin, K. S. Lee, "A study on the corrosion prevention of the integral series generator for military vehicles", Journal of the korea academia-industrial cooperation society, Vol.20, No.6, pp.74-79, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.6.74>

[7] J.S. Kim, H.G. Son, " A study on methods to improve the reliability of the search radar semiconductor transceiver assembly", Journal of the korea academia-industrial cooperation society, Vol.23, No.7, pp.457-465, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5762/kais.2022.23.7.457>

[8] S.G. Kim, S.J. Kim, C.H. Shin, S. H. Yun, "A study on the improvement of brake judder in korean light tactical vehicles", Journal of the korea academia- industrial cooperation society, Vol.21, No.6, pp.432-439, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.6.432>

[9] M. Y. Lee, W, G. Kim, K. S. Kim, "A study on the development of FRACAS-based Failure analysis workflow for military weapon system", Journal of applied reliability, Vol 10, No.2, pp93-105, 2010.6. UCI: G704-SER000010073.2010.10.2.005

[10] J.W. Park. "The action of the reliability enhancement in test and evaluation of the weapon system", Journal of applied reliability, Vol15. No2. pp108-123, 2015.6. UCI: G704-SER000010073.2015.15.2.007

조 관 준(Kwan-Jun, Jo)

[정회원]



- 2012년 8월 : 한국해양대학교 메카트로닉스공학과 기계전자공학 전공 (공학박사)
- 2012년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 국방신뢰성연구센터 선임연구원

<관심분야>

유도탄, 저장신뢰성평가, 신뢰성