

전술정찰정보수집체계(영상정보) 카메라 모듈의 볼조립체와 요크조립체 간 간섭 개선

서민성, 김경희*
국방기술품질원

Improving interference between The Tactical Exploitation System (Video Information) camera module's Ball assembly and Yoke assembly

Min-Sung Seo, Kyeong-Hoe Kim*
Defense Agency For Technology and Quality

요약 전술정찰정보수집체계(영상정보) 사업은 KF-16 전술정찰 항공기에 외장형 탑재장비(Pod)를 장착하여 주간, 야간 전술 표적 정보획득, 임무계획 및 영상획득모드에 따른 특정지역의 영상획득, 근실시간 영상 판독 및 분석, BDA를 위한 영상정보 제공 등의 임무를 수행하기 위해 개발된 체계이다. 전술정찰정보수집체계(영상정보)는 탑재장비와 지상장비 및 정비지원장비로 구성되며 직접적인 항공 촬영을 하는 카메라모듈을 탑재한 탑재장비의 기계적, 전기적 성능은 임무 수행에 있어 가장 중요한 요소라고 할 수 있다. 본 연구에서는 전술정찰정보수집체계(영상정보)의 EO/IR 카메라모듈을 내장하는 카메라기구부의 볼조립체와 요크간 간섭문제를 다루며, 전술정찰정보수집체계(영상정보)의 탑재장비의 비행하중에 의한 카메라기구부의 요크 및 볼하우징 간섭에 의한 도장 긁힘 현상에 대해 철저하게 원인 분석 및 검증을 통해 3가지의 개선된 형상변경방안을 제시하였다. 이를 통해 도출한 최적 설계 방안을 양산호기에 적용하여 전술정찰정보수집체계(영상정보)의 핵심 장비인 EO/IR 카메라모듈의 운용신뢰성 및 안전성 향상이 기대되고, 표적영상 품질 저하 방지를 통해 미 예측 및 긴급 기동 시에도 간섭으로 인한 활동 영역 제한 없이 임무 수행이 가능할 것으로 예상된다. 또한 간섭 발생으로 인한 카메라 모듈 손상 방지를 통해 정비 비용 절감 효과도 기대된다.

Abstract The tactical exploitation system (video information) project has been developed to carry out tasks, such as obtaining external payload equipment (POD) on KF-16 aircraft, acquiring day and night tactical target information, mission planning, acquisition of images in specific areas according to the video acquisition mode, near real-time video reading and analysis, and providing video information for BDA. The system consists of mounting equipment, ground equipment, and the mechanical and electrical performance of mounting equipment equipped with camera modules is the most important element in carrying out a mission. This study deals with cause analysis, improvement, and methods for verifying the interference between the ball and yoke assemblies of camera apparatus incorporating EO/IR camera modules. Furthermore, the cause of paint scratches on the yoke assembly due to the flight load was analyzed. This paper presents three improved design change measures. It is expected that the operational reliability and safety of the EO/IR camera modules will allow tasks to be carried out without restriction due to interference. It is also expected to reduce the maintenance costs by preventing damage to the camera module due to interference.

Keywords : Tactical Exploitation System(Video Information), Pod Assemblies, EO/IR Camera Modules, Acceleration Test, Flight Loads

본 논문은 국방기술품질원 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Kyeong-Hoe Kim(Defense Agency For Technology and Quality.)

email: sssuupp@naver.com

Received March 29, 2021

Revised April 30, 2021

Accepted July 2, 2021

Published July 31, 2021

1. 서론

전술정찰정보수집체계(영상정보) 사업은 KF-16 전술정찰 항공기에 외장형 탑재장비(Pod)를 장착하여 주간, 야간 전술 표적 정보획득, 근실시간 영상 판독 및 분석, BDA를 위한 영상정보 제공 등의 임무를 수행하기 위해 개발된 체계이다[1-3].

본 논문에서는 KF-16 전술정찰 항공기의 고속비행 시험 중 발생한 하중으로 전술정찰정보수집체계(영상정보)의 카메라 모듈의 외측 쏘림에 의한 카메라 기구의 요크 및 볼조립체 간 간섭 문제를 다룬다.

카메라 모듈의 간섭 개선을 위한 국내의 연구사례를 조사해본 결과, F-16 전투기 및 인공위성과 같이 고 가속도로 움직이는 물체의 비선형 진동에 의한 현상들을 파악할 수 있었다. 본 연구에서는 고가속도가 비행체와 탑재장비 간에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다[4].

2. 본론

2.1 개요

2.1.1 탑재장비(Pod)의 구성

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 절차에 따라 현안문제에 대한 분석 및 검증, 개선사항을 도출하였다.

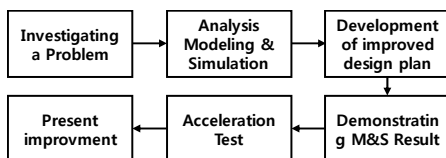


Fig. 1. Procedure for conducting research

전술정찰수집체계(영상정보)의 볼조립체와 요크 간 간섭 문제에 대한 원인 분석에 앞서 탑재 장비의 구성에 대해 간략히 설명한다.

Fig. 2은 전술정찰정보수집체계(영상정보)의 실물 형상이다.

비행 중 회전을 통해 Target을 지향하는 구형상의 카메라 모듈부는 카메라 기구인 요크와 볼로 내장되어 있으며 동작 시 굽힘과 관련된 구성품은 Fig. 3에서 보는바와 같이 4부분이며 카메라부 내장 조립 시 요크와 볼하우징 조립 이후 전/후면 커버가 각각 조립된다[5].



Fig. 2. The shape of Pod assembly

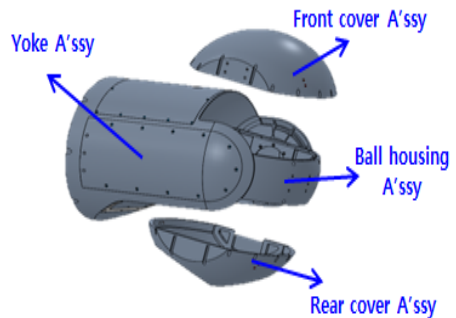


Fig. 3. Composition of Camera module

2.1.2 현안사항

Fig. 4에서 보는 바와 같이 KF-16 전술정찰 항공기의 고속비행시험 중 발생한 하중에 의해 우측부(Floating 부) 간격이 축소되어 카메라 기구의 요크와 커버간 간섭이 발생하였고, 이로 인해 모서리부와 측면(면 접촉부)에 약 42mm의 도장 굽힘이 발생하였다[6,7].

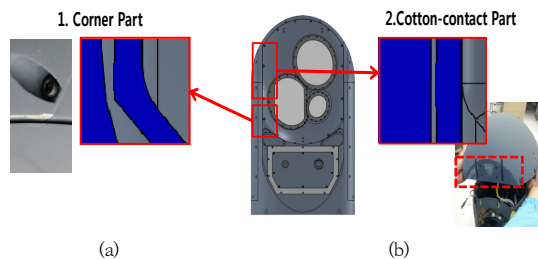


Fig. 4. Peel Off on equipment
(a) Corner part (b) Cotton-contact part

2.2 원인분석

2.2.1 치수검토

먼저 요크 및 커버조립체 간의 간섭 발생 가능성 확인을 위해 Table 1에 기재된 조립공차를 고려하여 조립 후의 실제 간격을 측정하였다.

실측 전 설계도면상으로 Fig. 5와 같이 카메라 모듈부의 좌측(Floating부) 및 우측(Fixed부)의 설계 간격은 1mm이나, 구성품별 공차를 고려하여 측정된 Worst 간격은 0.44mm로 설계 간격 대비 절반 이하로 감소되는 것을 확인할 수 있었다.

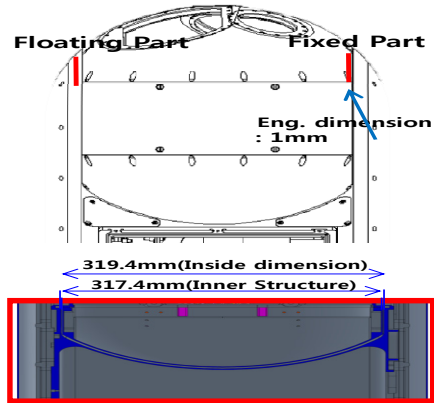


Fig. 5. Interval of Design on the left and right sides of camera module

Table 1. Tolerance of each Components

Contents	dimension	Remark
Coating thickness	0.16	
Tolerance of Yoke	0.3	±0.3
Tolerance of Ball	0.1	±0.1

이후 실제 간격 측정을 위해 gap gauge를 이용하여 Fig. 6에 표시된 간섭 발생 관련 부위 5곳을 선정하였고 카메라모듈을 정면, 직하방, STOW 방향으로 운동 시키며 측정을 진행하였다.

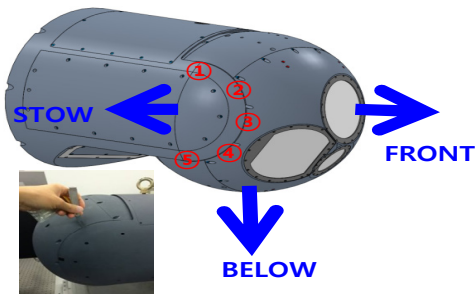


Fig. 6. Measuring Area of Camera module

Fig. 6에 보는바와 같이 실측 결과 카메라모듈이 정면 운동 시 4번 부위, STOW 운동 시 4번 부위에서 최소간격(0.53mm)이 측정되었으며, 해당 간격은 조립 공차를 고려하여 도출한 설계도면상의 worst 치수와 비슷한 수준임을 알 수 있었다.

2.2.2 M&S 분석

현 설계형상에 비행 하중 적용 시 요크 조립체 변형량을 추정하기 위해 M&S 분석을 진행하였다.

비행 하중 조건은 제품의 국방 규격(KDS 5895 4062-3)에 근거하여 실제 비행하중조건(3G)이 아닌 7G 조건에서 수행하였다.

M&S 분석을 위해 Ansys workbench 15.0 tool을 이용하였고, Solver는 Static Structure, 관련 Mesh는 247,434개이며 해석시간은 약 40분 정도 소요되었다 [8,9].

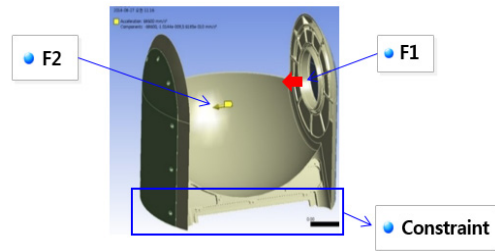


Fig. 7. Based Conditions of Modeling and Simulation

Fig. 7과 같이 Modeling 시 실제 재질(AI60601)을 적용, 포드와 결합되는 하단부의 형상을 간략화 한 후 fix 조건을 부여, F1에는 카메라부(약 32KG)의 비행하중 7G 조건으로 약 210kgf의 힘을 인가, F2에는 요크 자체에 비행하중 7G 조건을 인가하였다.

Fig. 8에서 보는바와 같이 M&S 분석결과 최대 변형량(Deformation)은 약 0.56mm 로서 이론상의 worst 설계간격 0.44mm, 실측 worst 간격 0.53mm와 비교 시 Floating 부에 면 간섭 발생 가능성이 큰 것을 확인할 수 있었다.

최대 발생응력(Stress)의 경우는 약 88MPa로서 재료 인장강도 260MPa의 1/3 미만 수준으로 탄성변형 영역 내에서 변형 및 복원되어 큰 영향이 없음을 알 수 있었다.

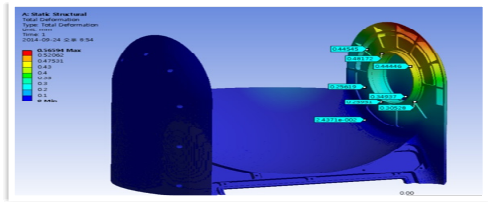


Fig. 8. The result of Modeling and Simulation

2.2. 개선 및 검증

2.2.1 개선

앞서 원인분석 단계에서 설계간격 측정 및 M&S 분석을 통해 모서리 및 면 간섭 가능성을 확인하였고, 이를 해결하기 위해 주요 치수 수정을 통한 설계 및 형상 변경 필요성을 검증하였다.

개선방안은 Table 2와 같이 총 3가지로 아래와 같다.

Table 2. Improvement and demonstration

	1.one-sided machining	2.inserting spacer	3.reducing corner's diameter
existing	R 319.4mm	Gap 0.5mm	20cm
change	R 321.4mm	Gap 0.15mm	10cm
advanced	Prevent Interference	Reducing Floating stress	Prevent Interference

첫 번째, 요크조립체 및 커버조립체 간 면 간섭 방지를 위해 기존 요크조립체의 Floating부와 Fixed부 간 319.4mm의 간격을 편측 1.0mm 가공을 통해 321.4mm로 약 2mm의 간격 치수를 변경하였다.

두 번째, 요크조립체 및 커버조립체 간 면 간섭 방지를 위해 Floating부에 spacer를 삽입하였다.

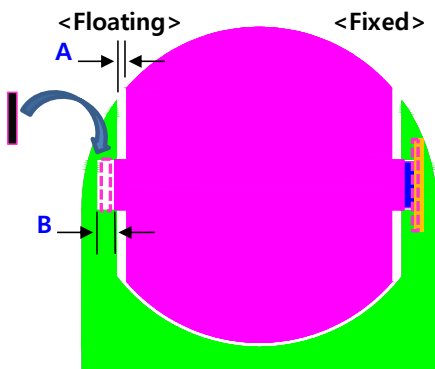


Fig. 9. Specific shape of Floating and Fixed part

Fig. 9에서 보는바와 같이 요크조립체의 Fixed부는 구조적으로 강건한 결합 형태를 유지하고 있으나, Floating부는 운용환경을 고려하여 0.5mm의 유격이 존재하고, 이로 인해 비행하중 인가 시 간섭되는 부분이 Floating부에 집중되었다.

해당 문제 해결을 위해 Fig. 10과 같이 Floating부 유격 공간(0.5mm) 내 spacer(0.35mm)를 삽입하여 비행시 하중에 의한 변위 발생 시 삽입된 spacer가 완충작용을 하여 면 간섭이 방지되게 하였다.

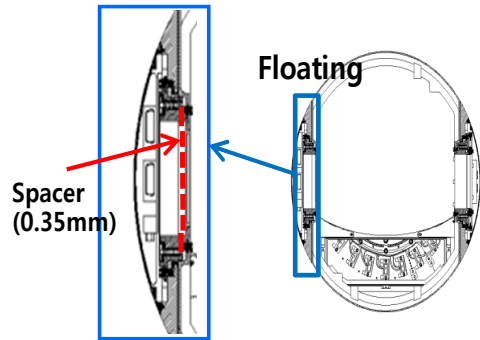


Fig. 10. Insertion site of Spacer on Floating part

세 번째, Fig. 11에서 보는바와 같이 모서리부 간섭 방지를 위해 요크조립체 모서리부 R값을 기존 20cm에서 10cm로 수정하였다.

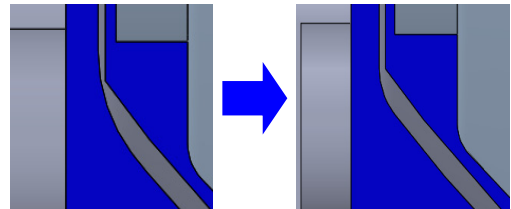


Fig. 11. Modified radius of Yoke assembly

2.2.2 검증

2.2.2.1 M&S 분석

3가지의 설계 및 형상 변경의 타당성을 검증하기 위해 첫 번째, 수정 전/후 M&S 해석을 진행하였다.

실시 결과 Fig. 12와 Fig. 13에서 보는바와 같이 변위, 강도, 강성에 특이 변화는 없었으며, 이 결과를 토대로 해당 가공에 대한 사항을 확정하여 가공을 진행하였다.

가공은 Fig. 14와 같이 수정 전 치수측정, 수정 가공, 도장, 치수 재측정 순으로 진행하였다.

< R20, Width 319.4 >

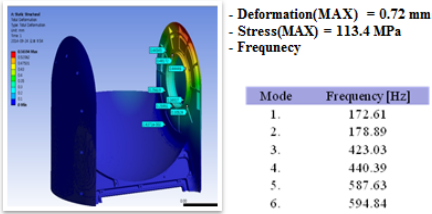


Fig. 12. The result of M&S before modification

< R 10, Width 321.4 >

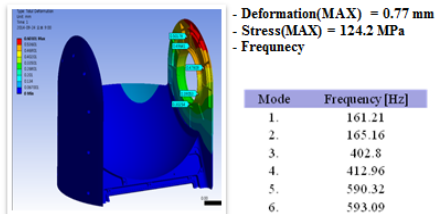


Fig. 13. The result of M&S after modification

<Dimension measurement>



<Processing>



<Re-measurement>



<Coating>

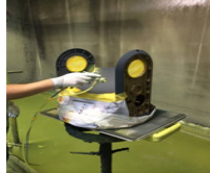


Fig. 14. Procedure of Machining

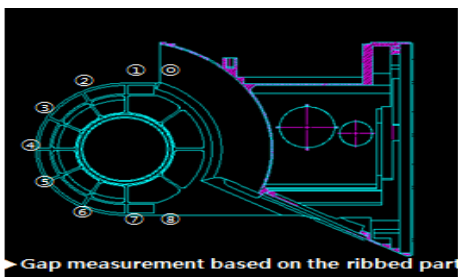


Fig. 15. Design Drawing showing the area of measurement

수정 가공 후 Fig. 15와 같이 카메라기구부의 리브가 있는 부분을 기준으로 요크조립체, 볼하우징, 카메라모듈, 전/후면 커버, 요크커버가 모두 장착된 완조립상태에서 약 8군데의 간격을 측정하였다.

또한 요크조립체와 커버조립체를 조립한 상태에서 전면커버와 요크 중앙부위의 좌/우측, 후면커버와 요크 중앙부위의 좌/우측 간격을 측정하였다.

측정결과 수정 가공 후 측정된 최초 조립간격은 수정 가공 전 약 0.53mm에서 1.58mm 수준으로 증가함을 알 수 있었다.

이후 비행 중 발생 하중 상황을 고려하여 7G 가속도 시험을 수행하였다.

G 가속도 시험의 경우 Fig. 16에서 보는바와 같이 비행 중 발생한 현상에 대한 경향확인을 위한 임의 비행하중(7G)을 주어 요크 변형을 추정하는 시험으로써, ①치구 및 장착상태 등의 장비 육안검사, ②자체점검 및 고각을 직하방으로 구동, ③가속도 시험기를 7G로 회전, ④7G 인가상태에서 고각 구동(-60°~+135°), ⑤가속도 시험기를 멈추고 외부 육안 확인 순으로 진행하였다[10].

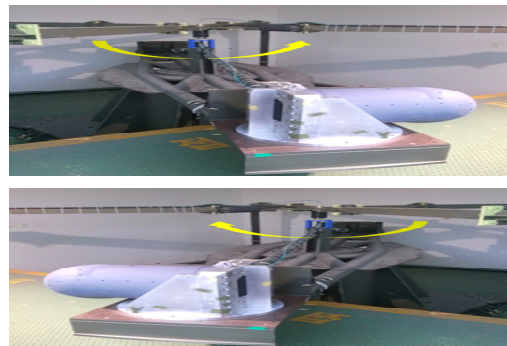


Fig. 16. Acceleration Test on 7G

7G 가속도 시험 결과, 모서리 R값만 수정 후 가속도 시험을 진행했을 때는 요크조립체 모서리부에 간섭이 발생하지 않았지만, 옆면부는 간섭에 의한 손상이 확인되었다.

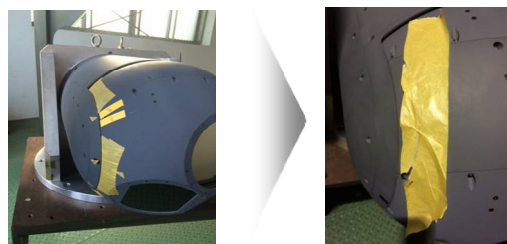


Fig. 17. The result of Acceleration Test after processing

간섭에 의한 손상여부는 Fig. 17과 같이 0.1mm의 테이핑 작업을 통해 확인하였다.

모서리 R값 및 요크조립체 편측 1.0mm 동시 가공 후 7G 가속도 시험을 진행했을 때, 요크조립체 모서리 및 옆면부에 간섭이 발생하지 않았다.

간섭에 의한 손상여부 확인은 Fig. 18과 같이 테이핑 작업을 통해 확인하였다.

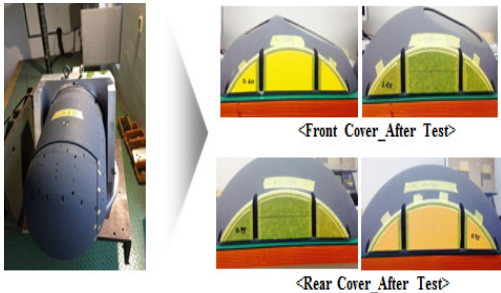


Fig. 18. Measurement Test of minimum interval

5. 결론

본 논문은 전술정찰정보수집체계(영상정보)의 탑재장비의 비행하중에 의한 카메라기구부의 요크 및 볼하우징 간섭에 의한 도장 균열 현상에 대해 철저하게 원인을 분석하여 개선방안을 제시하였으며, 이러한 개선 방법을 적용하여 개선품의 검증시험 및 실제 장기간 운용을 통해 고장이 발생하지 않았음을 확인하였다. 이를 통한 기대효과는 아래와 같다.

둘째, 기능적 측면으로는 전술정찰정보수집체계는 정확한 목표물 촬영이 가장 중요한 기능이며 간섭으로 인해 카메라 모듈 손상 및 기능 상실 가능성을 해소하였다.

마지막으로 성능적 측면으로는 표적 영상 품질저하를 방지하고 미 예측 및 긴급 기동 시에도 간섭으로 인한 활동 영역 제한 없이 임무 수행이 가능하게 되었다.

References

- [1] G.S. Choi, H.K. Cho, "Dynamic Response Analysis of EO/IR Camera", *Korean Society for Precision Engineering*, Korea, pp.721-722, October 2012.
- [2] H.G. Jo, "Dynamic Structure Response Analysis of EO/IR Camera Having Ball Bearing Machine Elements", *The Korean Society for Aeronautical &*

Space Sciences, Korea, pp.1145-1147, November 2013.

- [3] H.K. Cho, J.H. RLee, J.H. Lee, "Three-axis Spring Element Modeling of Ball Bearing Applied to EO/IR Camera and Structural Response Analysis of EO/IR Camera", *The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Korea, pp.1160-1165, December 2011.
- [4] J.S. Lee, Gaetan Kerschen, S.M. Wang, "Nonlinear Vibration Response analysis test of the Aerospace structure(Satellites and F-16 Fighter jet)", *Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Korea, pp.91-93, October 2018.
- [5] S.H. Jo, W.Y. Moon, J.W. Park, S.J. Kim, H.C. Yoo, "Aerodynamic Design of Aircraft External Pod and Its Compatibility Flight Test", *The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Korea, pp.1177-1182, November 2011.
- [6] J. W. Shin, S. J. Kim, W. Kang, I.H. Hwang, "The Flight Loads Analysis for Conceptual Design of the Regional Aircraft", *The Korean Society of Mechanical Engineers*, Korea, pp.125-126, May 2012.
- [7] J. Kim, J. Y. Jang, G. H. Ryu, "Design and Development of Airborne Store in Consideration of Flight Load", *Korean Society for Precision Engineering*, Korea, pp.460, May 2019.
- [8] I.Y. Chung, C.S. Ga, G.B. Lee, "Development of Templated Sturctural Analysis Program Using ANSYS Workbench", *Korean Society for Precision Engineering*, Korea, pp.621-622, May 2006.
- [9] I.Y. Chung, C.S. Ga, G.B. Lee, "Development of Customized Sturctural Analysis Program Using ANSYS Workbnech API", *Society for Computational Design and Engineering*, Korea, pp.755-758, February 2006.
- [10] J. Jang, J.S. Choi, D.S. Kim, S.Y. Lee, "Technology for Development of Acceleration Test Equipment Conforming to MIL-STD-810G", *The Korean Society of Mechanical Engineers*, Korea, pp.84, February 2014.

서민성(Min-Sung Seo)

[정회원]



- 2015년 8월 : 창원대학교 기계공학과 (기계공학학사)
- 2018년 12월 ~ 2020년 12월 : 국방기술품질원 지휘정찰센터 연구원
- 2021년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 개발품질연구센터 연구원

<관심분야>

진동소음, 유체역학, 열역학

김 경 회(Kyeong-Hoe Kim)

[정회원]



- 2020년 2월 : 성균관대학교 시스템경영공학과(학사)
- 2019년 12월 ~ 2020년 12월 : 국방기술품질원 감항인증연구센터 연구원
- 2021년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 개발품질연구센터 연구원

〈관심분야〉

품질관리, 품질보증, 응용통계