

무인항공기 시스템 발사장비 댐퍼조립체 품질개선 연구

정성록*, 이승민
국방기술품질원

Research on quality improvement of damper assembly for unmanned aerial vehicle system launch machine

Seong-Rok Jeong*, Seung-Min Lee
Defense Agency for Technology and Quality

요약 현 시대에서 무인항공기는 많은 분야에 있어 필수 요소가 되었다. 감시정찰의 목적의 군용 무인항공기, 지상측량 및 국토 관리목적의 민수용 무인항공기 등 여러 분야에서 활용 중이다. 이러한 무인항공기는 활용 목적에 따라 다양한 형태와 크기를 가지며 이륙방식도 다양하다. 무게가 비교적 가벼운 무인항공기는 사람의 손으로 직접 투척하거나 수직 이착륙 방식을 채택하며, 대형무인항공기는 가장 기본방식인 활주 이착륙 방식을 적용한다. 또한, 좁은 지역에서 무인항공기를 사용하기 위해 발사장비, 회수장비를 이용하여 이착륙시키는 무인항공기 시스템도 있다. 비행체의 이륙은 비행안전에 있어 가장 민감한 영역 중 하나이며 발사장비를 이용한 이륙방식에서의 비행안전은 발사장비 품질에 매우 의존적이다. 본 연구 대상 발사장비의 구성품 중 비행체 트롤리를 감속시키는 댐퍼의 구성품 중 너트가 파손되는 품질 문제가 발생하였다. 댐퍼의 파손 트롤리가 감속하지 못할 경우 발사장비 구조물이 파손되거나 비행 이륙에 치명적인 문제를 유발할 수 있으므로 이를 예방하기 위한 품질 개선연구를 수행하였다. 먼저 파손을 유발한 원인을 분석하기 위해 댐퍼에 발생하는 충격의 크기 및 파손 부품의 취약점 등 파손을 유발할 수 있는 다양한 원인을 분석하였다. 원인 분석을 통해 댐퍼 조립체 중 너트의 품질 문제점을 확인하였으며, 대체할 수 있는 너트를 선정하여 장비에 적용하였다. 적용한 장비를 대상으로 검증 시험을 시험하였으며, 동일한 문제가 발생하지 않아 연구의 적절성을 검증하였으며, 비행 안정성을 확보할 수 있게 되었다. 또한, 유사 발사장비에 본 연구를 고려한다면 동일한 품질문제를 예방할 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract Unmanned aerial vehicles (UAV) are essential in many fields, such as military UAV for surveillance and reconnaissance purposes and civil UAV for land surveying and land management purpose. These unmanned aerial vehicles have various shapes and sizes depending on the purpose of use, and take-off methods are also diverse: throw take-off, vertical take-off and landing, and slide-running take-off. The take-off of an aircraft is one of the most sensitive areas in flight safety. Flight safety in the take-off method using a launching machine is dependent on the quality of the launching equipment. The quality issue has occurred in the damper component that slows down the trolley of the launch equipment, specifically the nut of the damper, in the target launch equipment of this study. If the trolley in snot decelerated due to damage to the damper, the structure of the launching equipment may be damaged or cause a fatal problem in flight take-off. A quality improvement study was conducted to prevent this. Various causes of damage to the damper were analyzed. The quality problems of the nut were confirmed through analysis, and a replacement product was applied to replace it. First, the causes that could cause nut failure were analyzed. Quality problems were identified through the analysis, and alternative products were selected. Verification tests were conducted with the applied alternatives to verify the adequacy of the research and ensure flight safety. In addition, considering this study on similar equipment, the same quality problems are expected to be prevented.

Keywords : Unmanned Aerial Vehicle, Launch System, Damper, Nut Defect, Quality Improvement

*Corresponding Author : Seong-Rok Jeong(Defense Agency for Technology and Quality)

email: sugnrok@naver.com

Received February 24, 2023

Accepted April 7, 2023

Revised March 21, 2023

Published April 30, 2023

1. 서론

최근 무인항공기는 사람이 하기 힘들거나 꺼리는 분야에서 다양하게 활용 중이며 목적에 따라 감시정찰 목적의 군용 무인항공기, 지상측량 및 국토 관리목적의 민수용 무인항공기 등 여러 분야에서 활용 중이다. 이러한 무인항공기에 대해 다양한 연구가 수행 중이다. 통신이 어려운 지역을 고려한 통신중계기능을 갖춘 무인항공기의 연구[1], 사람이 직접 확인이 어려운 넓은 해양지역에서의 선박 식별 연구[2], 배달용 드론의 배터리 최적화 연구[3] 등 여러 목적을 가진 무인항공기의 연구가 활발히 진행 중이다. 무인항공기의 형태와 목적이 다양해짐에 따라 우리나라의 한국표준협회는 무인항공기 시스템의 분류 및 용어들에 대한 국가표준(KS W 9000)을 정의하였으며, 표준에 따르면 무인비행체에 통제체계(원격조종장치, 데이터링크 등)와 지원장비를 포함한 시스템으로 정의[4]되어 있다. 또한, 무인항공기는 이륙방식도 다양한데 무게가 비교적 가벼운 무인항공기는 사람의 손으로 직접 투척하거나 수직 이착륙방식을 채택하며, 대형 무인항공기의 경우 가장 기본적인 방식인 활주 이착륙방식을 적용한다. 좁은 지역에서 무인항공기를 활용하기 위해 발사 장비를 이용하여 순간적인 가속해 비행체를 이륙시키는 방식도 있다. 발사대 이륙 또는 손으로 이륙시키는 방식의 고정익 무인비행체를 보조 장치 이착륙 무인비행체로 정의[4]한다. 비행체가 안전하게 이륙이 어려운 야지거나 이륙속도를 얻기 위한 충분한 활주를 확보하기 어려운 지형에서 무인항공기를 이륙시키기 위해서는 발사장비를 이용하여 비행체를 이륙시킨다. 이러한 특징으로 주로 군용장비로 많이 활용되며 본 연구의 무인비행체도 발사 장비를 이용하여 이륙하는 방식이다.

비행체의 이륙은 비행 안전에 있어 가장 민감한 영역이다. 발사장비를 이용한 이륙방식의 무인항공기 시스템에서 안전한 이륙은 발사장비 품질에 매우 의존적이며 발사장비의 문제가 있을 경우 이륙에 실패하여 비행체가 파손될 수 있다.

본 연구 대상인 무인항공기 시스템의 발사장비(Fig. 1)의 구성 중 비행체를 탑재하여 발사장비 레일에 따라 비행체를 가속해주는 트롤리(Trolley) 구조물을 비행체 이륙 직후 제동시켜주는 댐퍼조립체가 파손되는 품질문제가 발생하였다. 댐퍼조립체는 트롤리가 급격히 감속할 때 발생하는 충격을 흡수하기 위한 장치이며, 이 장치가 충격을 흡수하지 못하거나 기능이 수행되지 않는다면 트롤리의 가속력으로 인해 발사장비가 파손되는 문제가 발

생할 가능성이 매우 크다. 또한, 트롤리와 비행체는 레일 위에서 발생하는 가속력과 감속할 때 발생하는 충격으로 인해 분리되게 되어 있는데 감속이 충분히 되지 않을 경우, 비행체와 분리가 되지 않아 비행체의 파손이 발생할 가능성도 있다.

이러한 문제는 본 연구 대상 발사장비와 유사한 형태를 가지는 발사장비의 대부분에 트롤리를 급감속하기 위한 댐퍼조립체가 설계되어 있어 발생할 수 있는 현상이므로, 품질 개선 연구가 범용적으로 적용이 될 것으로 판단된다.



Fig. 1. Launch system

그러므로 본 연구에서는 댐퍼조립체가 파손되는 품질 문제의 원인을 분석하고 이를 개선하기 위한 연구를 수행하였다. 먼저 댐퍼조립체의 파손을 유발할 수 있는 다양한 원인에 대해 분석하였으며, 이를 개선하기 위해 대체품을 선정하였다. 선정한 대체품을 발사장비에 적용하여 검증시험을 실시하여 연구의 타당성을 검증하였다.

2. 본론

발사장비는 크게 레일 부분과 트롤리, 트레일러로 구성되어 있다. 댐퍼프로조립체는 발사장비의 레일에 좌, 우에 장착되어 있으며 트롤리의 제동을 담당한다. 판 스프링과 우레탄 패드로 구성되어 있으며 스프링과 패드가 충격을 흡수하도록 설계(Fig. 2)되어 있다. 여기에는 너트가 사용되는데, 너트는 나사산의 마찰에 의해 스프링과 패드를 고정시키고 하중을 전달시키는 역할을 한다 [5]. 너트는 최대 55,000 N의 하중을 견딜 수 있는 제품(모델명 KZM 20)으로 선정되어 있다.

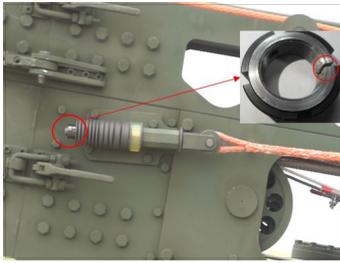


Fig. 2. Damper & Nut defect

댐퍼조립체의 끝단에 너트가 위치하며 이 너트가 운용 중 파손(Fig. 2 붉은색 원)이 발생하였다. 이에 너트가 파손될 수 있는 원인을 아래 Fig. 3의 절차로 수행하여 분석하였으며, 이를 바탕으로 품질 개선을 수행하였다.

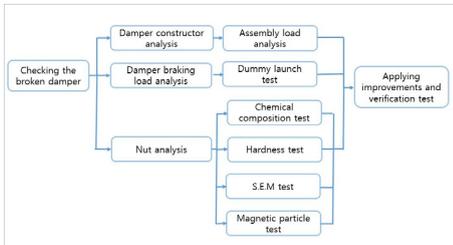


Fig. 3. Research flow chat

2.1 품질문제 원인 분석

2.1.1 제작(조립) 하중 분석

댐퍼조립체 제작에서 발생하는 하중이 너트의 파손을 발생시킬 가능성이 있는지를 분석하였다. 댐퍼조립체는 축에 Fig. 4와 같이 폴리우레탄패드 1개, 크롬-바나듐 재질의 판스프링 41개로 구성되어 있다. 크롬-바나듐 재질은 높은 경도와 내식성을 가지고 있다. 이는 일반 강 재질에 비해 높은 판스프링 내구성을 보장한다[6]. 우레탄 패드와 스프링을 고정하는 역할을 너트가 하며 너트가 조립될 때 발생하는 하중이 파손에 영향이 있는지를 분석하였다.

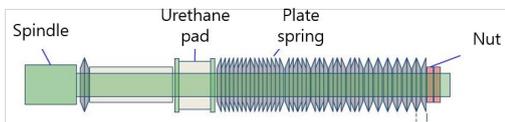


Fig. 4. Damper constructor

판스프링의 탄성계수는 5.026 N/mm이며 총 41개의 판스프링이 장착되어 있다. 그러므로 Eq. (1)과 같이 총

122.59 N의 탄성을 가진다.

$$5026 (N/mm) \div 41 = 122.585 (N/mm) \quad (1)$$

그러므로 판스프링이 1mm 압축할 경우 약 122.59 N의 하중이 발생하며 이는 너트의 최대 하중 55,000 N의 약 0.2% 수준이므로 제작으로 인한 파손의 가능성은 낮은 것으로 판단된다.

2.1.2 제동 하중 분석

비행체 발사 후 발생하는 제동 하중이 댐퍼조립체를 파손시킬 수 있는지를 분석하였다. 먼저 비행체의 발사 시 가속도를 측정하였으며 Fig. 5와 같다.

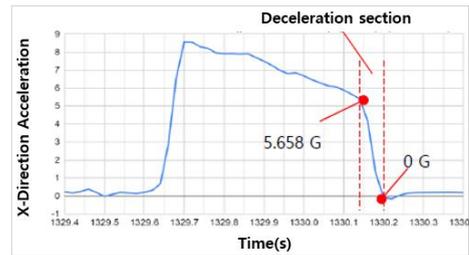


Fig. 5. X-direction Acceleration data

연구의 안전을 위해 트롤리에 탑재하는 비행체는 비행체 무게와 유사한 모형(Dummy)을 사용하였다. 모형의 사양은 Table 1과 같다.

Table 1. Variable

Variable	Value
Weight(m_t)	135.01 kg

최초 가속 시 비행체 모형은 약 8.5g로 가속하며 트롤리가 댐퍼조립체에 의해 감속하는 부분에서는 d약 5.7g의 가속력을 가진다. 0.05초 이후 트롤리는 완전 정지상태가 되며 이 값을 기준으로 제동 하중을 분석하였다. 제동 하중은 다음의 Eq. (2)과 같다.

$$F = (m_a + m_t)a + d(m_t v)/dt \quad (2)$$

Where, m_a denotes UAV dummy mass, m_t denotes Trolley mass, a denotes acceleration, v denotes velocity, t denotes time

Eq. (2)에 사용된 변수는 Table 1, 2와 같다.

Table 2. Variable

Variable	Value
m_t	34.14 kg
v	33.30 km/h
a	5.66 g
t	0.05 s

Table 1, 2의 변수를 Eq. (2)에 적용하여 계산한 결과 총 제동하중은 32,182.53 N이 발생하는 것으로 확인되었다. 발사장비에 장착된 댐퍼가 좌, 우에 1개씩 장착되어 있어 제동하중이 분산된다. 그러므로 각각의 댐퍼에 발생하는 하중은 Table 3과 같다.

Table 3. Calculation result

Variable	Value
Total load	32,182.53 N
Load acting on damper	16,091.26 N

이 결과와 너트가 견딜 수 있는 55,000N의 약 30%의 수준이며 제동 하중으로 인해 파손이 발생할 가능성은 낮은 것으로 분석된다.

2.1.3 너트 경도 분석

파손된 너트의 경도시험을 통해 너트 단품에 대한 품질 문제점을 분석하였다. 시험 방법은 KS B 0806:2000을 적용하였으며 지름 1.5875 mm 초경 합금구 누르개를 사용하여 경도 시험을 수행한 결과를 확인하였다. 확인결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Hardness test result

Standard	Test result
HRC 22 ~ 25 (HB 237~253)	HRBW 93 (HB 197)

너트 사양에 명시된 로크웰 경도(HB)에 비해 파손된 너트의 경도 시험결과가 상대적으로 낮은 것으로 확인되어 파손의 영향이 있을 것으로 판단된다.

2.1.4 너트 화학성분 시험

파손된 너트를 대상으로 화학성분 시험을 실시하였다. 시험 방법은 KS D 1801:2020을 적용하였다. 탄소(C) 등 총 8개 성분에 대해 분석을 하였으며 결과는 Table

5와 같다.

Table 5. Chemical composition test result

Analysis Target	Standard(%)	Test result(%)
C	0.42 ~ 0.48	0.07
Si	0.15 ~ 0.35	0.02
Mn	0.60 ~ 0.90	0.89
P	≤ 0.030	0.05
S	≤ 0.035	0.34
Ni	< 0.20	0.08
Cr	< 0.20	0.09
Cu	< 0.30	0.23

8개 성분 중 탄소, 규소, 인, 황의 성분이 기준에 충족하지 않는 것으로 확인되어 파손의 영향이 있을 것으로 판단된다.

2.1.5 너트 파면 분석

너트 풀림은 장비 파손을 유발하며 항공분야에서 치명적이기 때문에 풀림을 방지하기 위한 방안 적용이 필수적이다[7]. 본 연구 대상의 너트도 장착 시 보조적 풀림을 방지하기 위해 스크루가 존재한다. 너트를 결합 후 스크루를 조여줌으로써 풀림을 방지하는 역할을 한다. 스크루는 일회성이며 너트를 풀어서 재결합할 경우 스크루는 다시 사용할 수 없다. 파손된 너트의 확인 결과 스크루 홀 가공 부위에서 공동이 있는 것을 확인하였다 (Fig. 6).

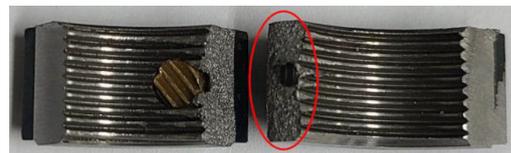


Fig. 6. Set screw fracture surface

Fig. 6의 붉은색 타원 부위에서 균열이 시작되어 심부로 퍼져 나가며 반대 부위에서 최종 파단이 발생한 것으로 보이며 응력이 가공 부위에 집중되어 균열이 발생한 것으로 추정된다.

2.2 품질 개선

발사장비에 적용된 너트의 품질 문제점 확인 후 동일

한 품질 문제점을 확인하기 위해 총 64개의 너트의 품질을 확인하였다. 품질 확인방법은 자분탐상검사로 금속표면 또는 비교적 낮은 표면의 결함을 파악하기 위해 많이 활용하는 기법으로 자력을 이용하여 금속의 결함을 식별해낸다. 이 방법으로 품질 확인 결과 Fig. 7과 같이 균열이 총 64개 중 20개의 너트에서 확인되었다.



Fig. 7. Magnetic particle test result

이러한 결과는 현재 장비에 장착되어 있는 너트의 약 31% 수준이 2.1.5에서 분석한 파단과 유사하게 발생하고 있는 것으로 확인되었다. 또한, 파단이 발생한 너트는 경도와 화학성분이 기준치에 미치지 못하는 것을 2.1.3 ~ 2.1.4절에서 확인하였으므로 품질개선 및 사고 예방을 위해 너트의 개선이 필요한 것으로 분석된다.

품질 개선대상 너트는 기존의 너트와 동일하게 풀림을 방지하기 위한 스크루가 장착되어 있는 너트의 형태로 선정하였다. 기존의 너트의 형상은 풀림방지 스크루가 3개가 장착되어 있지만 품질개선 대상 스크루는 2개의 스크루가 장착되어 있다(Fig. 8). 하지만 스크루는 풀림 방지를 위한 역할이므로 성능에는 영향을 없다. 2.1.1 ~ 2.1.2절에서 분석한 결과 결함이 없는 너트일 경우 현재 발사장비에 장착해서 운용하여도 문제가 없을 것으로 예측된다. 그러므로 동일한 성능을 가지는 너트 중 품질이 안정적인 업체에서 직접 생산하는 너트를 선정하여 개선을 진행하였다.

Table 6. Nut comparison

Item	Existing nuts	New nuts
Material	SM45C	SM45C
Hardness	HRC 22~25	HRC 22~26
Load	55,000 N	55,000 N

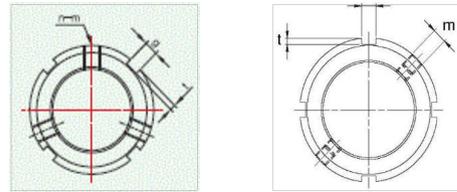


Fig. 8. Nut shape comparison
(Existing nut left, New nut right)

4개의 너트에 대해 경도 시험 및 화학성분 분석을 실시하여 적용의 적절성은 확인하였으며 결과는 Table 7, 8과 같다. 경도 시험은 한 개의 너트 당 5번의 시험을 실시하여 평균을 기록하였으며, 화학성분 분석은 전문 기관에 의뢰하여 확인하였다.

Table 7. New nuts hardness test

Standard	Sample	Result(HRC)
HRC 22 ~ 26	#1	23.7
	#2	23.5
	#3	23.6
	#4	22.7

Table 8. New nuts chemical composition test

Analysis Target	Standard(%)	Test result(%)			
		#1	#2	#3	#4
C	0.42 ~ 0.48	0.430	0.430	0.430	0.430
Si	0.15 ~ 0.35	0.200	0.180	0.180	0.170
Mn	0.60 ~ 0.90	0.640	0.650	0.660	0.660
P	≤ 0.030	0.012	0.012	0.011	0.011
S	≤ 0.035	0.004	0.005	0.005	0.003
Ni	< 0.20	0.050	0.050	0.050	0.050
Cr	< 0.20	0.110	0.110	0.110	0.120
Cu	< 0.30	0.090	0.100	0.100	0.100

대체 너트로 선정한 제품의 경도 및 화학성분은 기준치에 충족한 것을 확인하였으며, 실제 장착시험을 실시하였다.

대체 너트를 장착한 발사장비에 비행체 더미를 이용한 시험을 수행하였다. 장비에 설치되어 있는 구성품 중 소모성 품목을 고려하여 총 3회의 검증시험을 실시하였다. 비행체를 대신하여 비행체의 무게와 동일한 모형을 탑재하여 발사시험을 실시하였다(Fig. 9). 발사조건은 2.1.2의 제동 하중 분석의 조건과 동일하게 8.5g로 가속 후 모형을 발사하는 방식으로 시험하였다.



Fig. 9. Launch test

검증 시험결과는 Table 9와 같이 정리하였으며, 시험 결과 댐퍼조립체 파손은 발생하지 않아 품질개선이 적절히 이루어졌음을 확인할 수 있다.

Table 9. Verification test result

Inspection items	Result		
	Test 1	Test 2	Test 3
Launch speed (km/h)	122.0	121.1	120.6
Launch acceleration (g)	7.79	7.78	7.79
Check damper condition	Good	Good	Good

3. 결론

본 연구에서는 발사 이륙 방식의 무인항공기 시스템의 발사장비에 대한 품질 문제를 분석하고 개선을 수행하였다. 발사장비를 이용한 무인항공기 시스템에서 발사장비는 비행체의 안전한 이륙에 매우 중요한 장비이며 품질 문제가 발생할 경우 비행체가 파손될 수 있는 장비이다. 이러한 발사장비가 파손이 되는 문제가 발생하였으며, 이를 개선하기 위해 연구를 수행하였다.

품질 개선 연구를 수행하기 위해 먼저 발사장비의 설계 특징을 분석하였다. 너트의 파손 원인을 분석하기 위해 제작 중 발생하는 하중과 비행체를 발사시키는 과정에서 발생하는 하중의 힘을 분석하였다. 너트는 성능상 50,000 N까지 하중을 견딜 수 있었으며 제작 하중과 제동 하중 각각을 분석 결과 각각 123 N, 16,091 N이 발생하는 것으로 분석되어 결함을 유발할 수 있는 요인은 아닌 것으로 확인되었다. 이후 파손된 너트의 경도 및 화학성분 분석 결과 파손된 너트가 기준치에 미달하는 것으로 확인되었다. 또한, 동일 로트(Lot)의 너트에 대해 비파괴 검사 결과 균열 등의 결함이 발생한 것을 확인하였다.

이에 동일 타입의 대체 너트를 선정하여 경도 및 화학

성분시험을 수행하여 품질적으로 문제가 없음을 확인 후 비행체 모형 발사시험을 수행하였다. 반복 시험을 통해 너트의 건전성을 입증하였으며, 본 연구의 품질 개선을 위한 원인 분석과 개선이 적절하였음을 입증하였다.

하지만, 본 연구에서 품질 개선을 위한 입증 시험은 발사장비의 소모품을 고려하여 많이 수행하지는 못하였다. 그러므로 추후에 지속적으로 관찰하여 대체 너트의 신뢰성을 입증할 적절성을 확인할 필요가 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] J. H. Jeong, S. K. Kim, J. Y. Suk, "Optimal Positioning of Small UAVs for Communication Relay", *The Korean Society for Aeronautical and Space Science*, Vol.42, No.6, pp.461-467, 2014.
UCI: G704-000344.2014.42.6.002
- [2] C. S. Min, Y. H. Ko, Y. S. Kang, "Development of Ship Identification and Display System using Unmanned Aerial Vehicle System", *The Korean Society for Aeronautical and Space Science*, Vol.44, No.10, pp.862-870, 2016.
UCI: G704-000344.2016.44.10.002
- [3] S. H. Jung, H. Jeong "Optimal Battery Pack Design Tool for the Delivery UAV", *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol.8, No.6, pp.219-226, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.15207/JKCS.2017.8.6.219>
- [4] Korean agency for technology and standards, Technical Report, KS W 9000, Korea, pp.1-8.
- [5] S. S. Yoon, *Effects of the Shape and the Forming Load on an Aluminum Alloy Anti-Loosening Nut's Performance*, Master's thesis, Chungbuk National University, Cheongju, Korea, pp.1, 2020.
- [6] E. S. Lee, S. Y. Yoon, J. H. Kim, "Formation of Multi-Component Boride Coatings Containing V and/or Cr and Evaluation of Their Properties", *Journal of surface science & engineering*, Vol 49, No 2, pp.211-217, April 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5695/JKISE.2016.49.2.211>
- [7] J. H. Yoo, Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, p.112, Korea Aerospace Research Institute, 2018, pp.111-117.

정 성 록(Seong-Rok Jeong)

[정회원]



- 2014년 8월 : 부산대학교 항공우주공학과 (항공우주공학 석사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

항공우주, 재료

이 승 민(Seung-Min Lee)

[정회원]



- 2014년 2월 : 창원대학교 제어계측공학과 (제어계측 학사)
- 2019년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

항공우주, 전기전자, 제어