

K0-0 기본훈련 항공기 조종석 사출좌석 품질개선 연구

최재호¹, 박성제^{1*}, 이진원^{1,2}, 권나은^{1,2}, 김세운¹
¹국방기술품질원, ²경상국립대학교 기계항공공학부

Research on Quality improvement of the Cockpit exit set of The K0-0 basic training aircraft

Jae-Ho Choi¹, Sung-Jae Park^{1*}, Jin-Won Lee^{1,2}, Na-Eun Kwon^{1,2}, Se-Un Kim¹

¹Defence Agency for Technology and Quality

²School of Mechanical and Aerospace Engineering, Gyeongsang National University

요 약 항공기에 장착된 사출좌석은 비행 중 비상상황 발생 시 조종사를 항공기로부터 안전하게 탈출시키기 위한 안전장치이다. 사출좌석은 조종사가 사출 핸들을 통해 작동시킬 수 있으며, 항공기로부터 분리되어 낙하산을 통해 조종사를 지상에 안전하게 착지시키는 기능을 수행한다. 한국 공군에서 운용중인 기본훈련 항공기는 운용 중 사출좌석에 대한 조종사 불편사항이 다수 제기되었으며, 조종사의 운용품질은 항공기 작전 성능에 매우 중요한 요소로 운용 불편사항에 대한 조종사 편의성 향상을 위해 사출좌석의 품질향상이 요구되고 있다. 이에 본 연구에서는 기존 Combined 타입의 하네스 조립체에서 Torso 타입의 하네스 조립체로 변경과 조종석의 폴리우레탄 소재로의 패드 및 양털로 구성된 쿠션으로의 변경 개선안을 제시하였다. 제시한 개선안에 대한 검증을 위해 규격에서 제시하고 있는 요구도를 시험 및 해석을 통해 검증하였고 장착 시험을 통해 장착 영향성 여부 및 조종사 좌석 착석 시 둔부 통증이 완화되는 것을 확인 할 수 있었다.

Abstract The ejection seat installed in the K0-0 basic training aircraft is a safety device so the pilot can safely escape the aircraft if necessary during flight. The ejection seat handle separates the seat from the aircraft to safely land the pilot on the ground by parachute. The ejection seat in this basic training aircraft operated by the Korean Air Force has a number of inconveniences. The operational quality as felt by pilots is a very important factor in aircraft performance, and the quality of ejection seats must improve pilot convenience for optimal operations. Therefore, in this study, we suggest changing the existing combined-type harness assembly to the torso-type harness assembly, changing the material to a pad made of polyurethane and a cushion of wool. In order to verify the proposed improvement, the requirements proposed in the aircraft standards were satisfied through tests and interpretations. The mounting test confirmed that there is an effective fit, and hip pain is relieved when the pilot is seated.

Keywords : Ejection Seat, Combined Type, Torso Type, Basic Training Aircraft, Quality Improvement

1. 서론

국내 기술로 최초 개발된 K0-0 기본훈련 항공기는 905마력의 터보 프롭 항공기이며 현재 공군에서 조종사를 양성하기 위한 훈련기로 이용되고 있다. 1988년 처음

개발을 시작한 이래 공군, 국방과학연구소, 한국항공우주산업 등 국내 다수의 국가기관 및 민간업체등이 개발·생산에 참여하였다. K0-0의 국산화율은 약 65%이며 비상시 탈출을 위한 사출좌석은 영국의 ‘마틴 베이커’사의 제품을 사용하고 있다[1].

*Corresponding Author : Sung-Jae Park(Defence Agency for Technology and Quality)

email: sjpark@dtaq.re.kr

Received May 3, 2021

Accepted September 3, 2021

Revised May 25, 2021

Published September 30, 2021

항공기 조종실의 경우 내부배열 설계 계기판 및 CONSOLE 형상 장착구조물 설계, 조종실 내의 각종 계기 및 제어기 배열설계, 파이프트 계통설계, 조종사생존성 증대를 위한 탈출 좌석 설계 마지막으로 조종계통등 조종사와 직접적인 관계를 맺고 있는 SYSTEM들이 좁은 공간에 조화를 이루면서 설계된다[2].

조종실의 효과적인 설계는 항공기 안전성과 효율성을 결정하는 주요 요소로서, 조종실 공간과 공간 내에서 활동하는 조종사에 대한 다양하고 방대한 자료와 규격, 지침등이 요구되며[3-5] 조종실의 운전자 인간공학적 요구 사항을 고려하지 않으면 항공기 운용성 품질 중에서 삼분의 일이 감소될 수 있다[6].

K0-0 기본훈련 항공기는 운용 중 사출좌석에 대한 조종사 불편사항이 다수 제기되었다. 조종사의 운용품질은 항공기 작전 성능에 있어 매우 중요한 요소이며 운용 불편사항 해결을 위한 품질개선이 요구되었다.

2. 본론

본 연구에서는 K0-0 기본 훈련 항공기 조종석에 장착되어 있는 사출좌석의 품질향상을 위해 원인분석을 수행하였고 이에 대한 개선방안 도출하였으며 요구도 입증을 위해 시험 및 해석을 수행하였다. 개략적인 연구절차는 Fig. 1과 같다.



Fig. 1. Research Process

2.1 원인분석

K0-0 기본훈련 항공기 조종사가 운용을 위해 사출좌석 착석 후 어깨 끈 고정 시 어깨부위가 자주 들뜨는 현상이 발생되었으며, 장시간 항공기 운용 시 둔부에 잦은 통증을 호소하였다. 항공기에 장착된 Combined 타입의

하네스 조립체는 Fig. 2와 같이 4종의 스트랩에 의해 조종사를 감싸듯이 체결 되도록 설계되어 있어 비행중이거나 비상 탈출 시 조종사는 하네스 조립체에 의해 밀착되어 고정된다. Combined 타입의 하네스는 좌/우 하네스 간 연결줄이 없고 다른 부위 대비 어깨 스트랩 상단부가 두꺼워 항공기 후방을 보는 등의 동작을 취할 경우 어깨 부위에서 하네스 조립체가 들뜨고 흘러내리는 현상이 발생하였으며. 또한, 조종사가 착석하는 부위에 쿠션이 천연 라텍스 소재의 얇은 패드로만 구성되어 있어 장시간 비행 시 조종사의 둔부에 불편함을 제기하였다.

2.2 개선방안

2.2.1 하네스 조립체 변경 검토

앞서 언급하였듯이 Combined 타입의 하네스는 어깨 상단부가 두껍고, 좌/우 하네스 간 연결줄이 없어 흘러내림 현상이 발생 되었으며. 이에 대한 문제점을 개선하기 위해 Fig. 3과 같이 좌/우 하네스 연결줄이 있는 Torso 하네스를 착용하는 Torso 타입의 조립체로 변경하여 어깨부위 하네스 들뜸 및 흘러내림 현상을 방지하는 방안을 검토하였다. Torso 타입 하네스 조립체는 조종사 고정부가 분리형으로 낙하나 연결부만 사출좌석에 고정 장착되어 있어 기존 조립체 보다 경량화 되어 있으며, 공군에서 운용중인 고등훈련 항공기에 기 적용되어 신뢰성 측면에서도 문제가 없을 것으로 판단되었다.

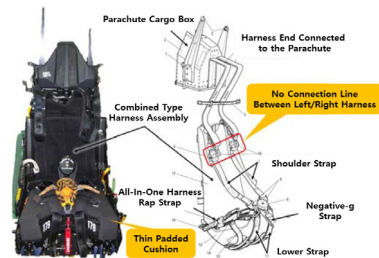


Fig. 2. Combined Type

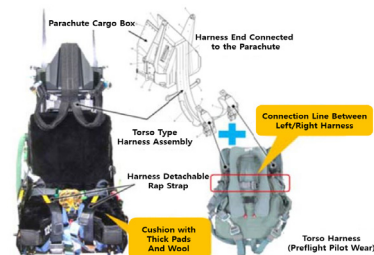


Fig. 3. Torso Type

2.2.2 쿠션 소재 및 형상 변경

기존 장착된 쿠션은 라텍스 소재의 얇은 형상으로 장시간 착석 시 둔부 통증을 유발 할 수 있다고 판단되었으며, 이를 개선하기 위해 Fig. 4과 같이 두꺼운 형상의 폴리우레탄 소재의 패드 및 양털로 구성된 쿠션으로 변경하여 조종사 둔부 통증을 완화시키는 방안을 검토하였다.

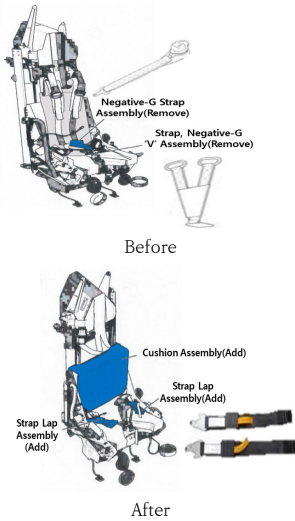


Fig. 4. Before & After about Cushion and Strap

2.3 성능 분석

사출좌석은 단순히 형상만 교체 할 수 있는 품목이 아니며, 성능 요구도를 충족해야 한다. Torso 타입 하네스 조립체와 변경된 쿠션 형상 장착 후 주요 성능 요구도와 개선 형상 사출좌석에 대한 해석 결과간 비교를 통해 요구도 충족여부와 이에 대한 영향성을 확인하였으며, 저체중 여성 조종사의 사출 안전성을 위해 기준에 적용하여 운용중인 사출좌석 발라스트(Ballst)의 장착 유/무 조건별로 성능 분석을 수행하였다.

2.3.1 최소 안전 사출고도(Terrain clearance)

사출계통의 최소 안전 사출고도를 항공기 규격서에 명기된 비행조건에 맞춰 시뮬레이션 및 해석을 수행하였으며, 해석 결과 Table 1 ~ Table 4과 같이 최소 요구 고도 미만에서 안전한 사출이 가능할 것으로 확인되었다.

2.3.2 0고도, 0속도 사출 성능 (Zero-Zero Seat Performance)

'0 고도 0 속도 사출 성능'과 연관된 아래의 조건을 성공 기준으로 설정하여 안전 사출 성공률을 해석하였으

며, 해석결과는 Table. 5와 같다. 아래의 모든 조건에서 요구도를 충족하였다.

- 조종사 수직 하강속도 : 최대 7.32 m/s
- 조종사 합력(수직/수평) 하강속도 : 최대 9.14 m/s
- 조종사 수직 하강각도 : 최대 15 deg
- 주 낙하산 전개고도 : 최소 6.10 m

Table 5. Zero-Zero Success rate

Contents		Rate of Success			
		Requirement		Result of Analysis	
		No Ballast	Ballast	No Ballast	Ballast
Before	Min 138.01 kg	98.0%	98.0%	100 %	100 %
	Max 181.72 kg	98.0%	98.0%	100 %	100 %
After	Min 134.05 kg	98.0%	98.0%	100 %	100 %
	Max 177.78 kg	98.0%	98.0%	100 %	100 %

2.3.3 0고도, 0속도 사출 궤적 성능 (Zero-Zero Trajectories)

'0 고도, 0 속도 사출 성능'과 동일한 안전사출 성공 기준으로 무게중심 최외곽 지점(Worst Case)에서 3축(X,Y,Z)에 대한 궤적 및 개선 전 대비 궤적의 변위 해석을 수행한 결과, Fig. 5 와 같이 X축(항공기 전/후방) 및 Y축(항공기 좌/우측)에서는 항공기로부터 충분한 이격이 가능한 궤적을 보였으며, Z축(항공기/아래)에서는 주 낙하산의 최소 전개고도(6.1m) 조건을 만족하는 궤적을 확인하였다[7]. 또한, 3축 궤적 모드 개선 전과 매우 유사하였으며, 이에 따라 사출 성능에는 영향이 없는 것으로 확인되었다.

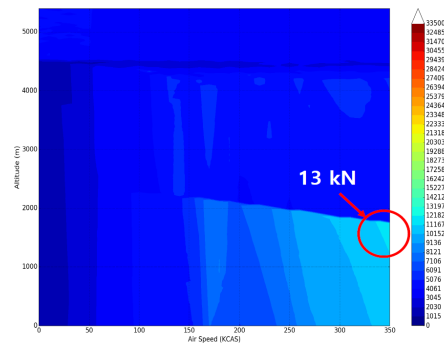


Fig. 5. Peak parachute force

Table 1. Test Results about AFT Seat @ MIN Weight of Crew

Condition of Flight				MIN REQ Altitude (m)	Altitude Comparison	AFT Seat @ MIN Weight of Crew			
Dive Angle(deg)	Roll Angle(deg)	Velocity (KEAS)	Sink Rate (m/min)			No Ballast		Ballast	
						Before(m)	After(m)	Before(m)	After(m)
0	0	0	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
0	60	120	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
0	-60	120	0	12.2		0.0	0.0	1.2	0.0
0	180	150	0	67.1	>	55.4	55.3	52.0	51.8
0	0	150	3048	91.4	>	34.5	33.5	36.3	35.0
60	0	200	0	152.4	>	95.5	95.5	96.0	94.7
30	0	350	0	137.2	>	69.5	69.5	69.7	68.7
60	60	200	0	167.6	>	101.2	101.2	100.4	99.3
60	-60	200	0	167.6	>	111.1	110.1	111.5	110.5
45	180	250	0	182.9	>	137.8	137.8	134.9	134.3

Table 2. Test Results about AFT Seat @ MAX Weight of Crew

Condition of Flight				MIN REQ Altitude (m)	Altitude Comparison	AFT Seat @ MAX Weight of Crew			
Dive Angle(deg)	Roll Angle(deg)	Velocity (KEAS)	Sink Rate (m/min)			No Ballast		Ballast	
						Before(m)	After(m)	Before(m)	After(m)
0	0	0	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
0	60	120	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
0	-60	120	0	12.2	>	5.2	4.8	5.5	5.0
0	180	150	0	67.1	>	61.7	61.4	53.0	53.0
0	0	150	3048	91.4	>	54.0	53.2	53.5	52.8
60	0	200	0	152.4	>	118.3	117.7	115.6	114.9
30	0	350	0	137.2	>	86.6	85.8	83.9	83.3
60	60	200	0	167.6	>	125.0	124.2	120.0	118.9
60	-60	200	0	167.6	>	129.5	129.2	126.9	126.6
45	180	250	0	182.9	>	151.5	151.4	149.9	149.7

Table 3. Test Results about FRT Seat @ MIN Weight of Crew

Condition of Flight				MIN REQ Altitude (m)	Altitude Comparison	FRT Seat @ MIN Weight of Crew			
Dive Angle(deg)	Roll Angle(deg)	Velocity (KEAS)	Sink Rate (m/min)			No Ballast		Ballast	
						Before(m)	After(m)	Before(m)	After(m)
0	0	0	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
0	60	120	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
0	-60	120	0	12.2	>	8.8	7.7	11.4	11.2
0	180	150	0	67.1	>	65.1	64.6	61.3	61.2
0	0	150	3048	91.4	>	63.7	62.5	64.8	63.6
60	0	200	0	152.4	>	136.1	135.0	135.8	134.6
30	0	350	0	137.2	>	112.3	111.4	112.5	111.6
60	60	200	0	167.6	>	141.3	140.5	140.0	139.0
60	-60	200	0	167.6	>	150.1	149.2	149.6	148.7
45	180	250	0	182.9	>	176.0	175.1	172.7	172.0

Table 4. Test Results about FRT Seat @ MAX Weight of Crew

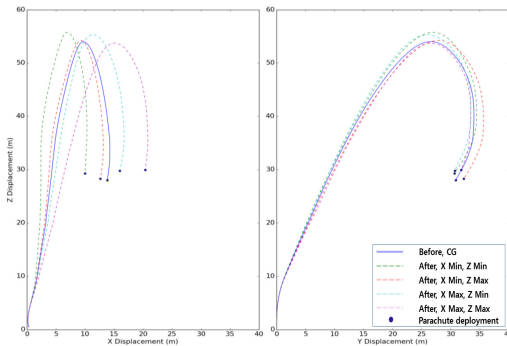
Condition of Flight				MIN REQ Altitude (m)	Altitude Comparison	FRT Seat @ MAX Weight of Crew			
Dive Angle(deg)	Roll Angle(deg)	Velocity (KEAS)	Sink Rate (m/min)			No Ballast		Ballast	
						Before(m)	After(m)	Before(m)	After(m)
0	0	0	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
0	60	120	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
0	-60	120	0	12.2	>	9.5	9.1	9.9	9.5
0	180	150	0	67.1	>	66.9	67.0	64.0	63.9
0	0	150	3048	91.4	>	77.7	77.0	77.1	76.3
60	0	200	0	152.4	>	156.5	155.9	153.4	152.5
30	0	350	0	137.2	>	125.6	125.0	123.9	123.3
60	60	200	0	167.6	>	163.4	162.7	158.0	156.9
60	-60	200	0	167.6	>	167.8	167.5	165.0	164.7
45	180	250	0	182.9	>	188.1	188.0	186.5	186.1

2.3.4 주 낙하산 연결부(Riser) 구조 건전성

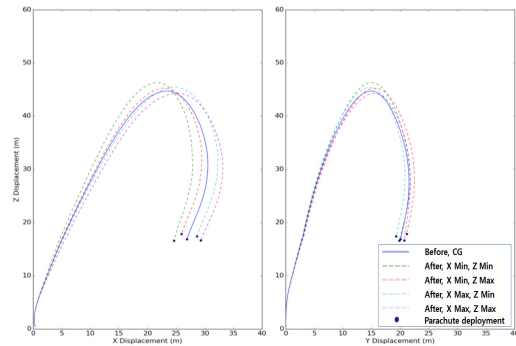
주 낙하산 연결부에 대한 구조 건전성을 확인하기 위해 해석을 수행하였다. 항공기 속력 및 고도에 따른 해석 결과, 주 낙하산 전개 시 Torso 하네스와 낙하산간 연결부에 가해지는 힘은 최대 약 13kN으로 주 낙하산 연결부 최대 허용 인장력 33.5kN을 넘지 않아 Fig. 6과 같이 구조 건전성에 영향이 없는 것을 확인 할 수 있었다.

2.3.5 항공기 장착시험

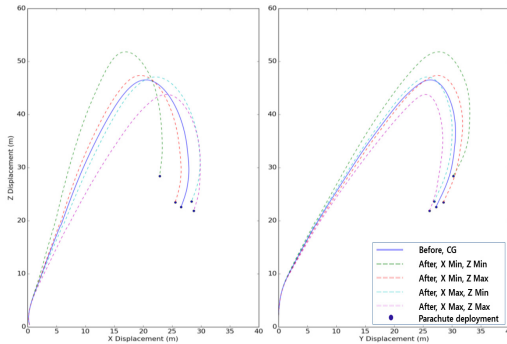
개선된 형상에 대해 항공기 사출좌석 장착시험 및 영향성 분석을 수행하였다. 장착시험 결과 Torso 타입 하네스 장착 시 항공기 구조물 및 타 계통에 직접적인 영향을 가하는 작업은 불필요 하였으며, 항공기 장착성능에 영향이 없는 것을 시험을 통해 검증하였다. 또한, 사출좌석 착석 후 둔부 통증에 대한 영향성을 확인하였으며, 기



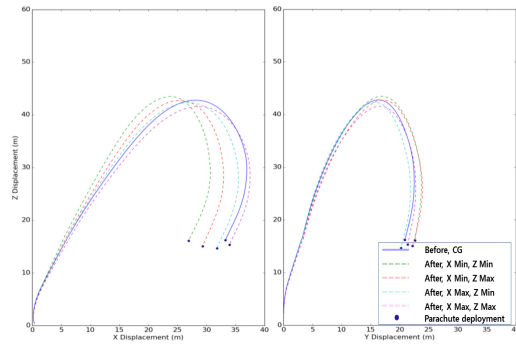
Trajectory graphs @ No Ballast, MIN Weight



Trajectory graphs @ No Ballast, MAX Weight



Trajectory graphs @ Ballast, MIN Weight



Trajectory graphs @ Ballast, MAX Weight

Fig. 6. Zero-Zero Trajectories Test Results

Table 6. Weight variance about Before and After

Contents	Details	Weight (Kg)		Δ Variance (Kg)
		Before	After	
Seat Assembly	Structure	3.95	2.22	-1.73
	Harness Assy	6.08	0.81	-5.27
	Survival Package	1.63	1.34	-0.29
	UWARS Kit	-	0.29	0.29
	Survival Kit	6.74	7.42	0.68
Subtotal		18.40	12.08	-6.32
Personal Equipment	Torso Harness	-	2.89	2.92
	Life vest	0.53	-	-0.53
Variance(Kg)/Seat				-3.93

존 쿠션 대비 폴리우레탄 재질의 두꺼운 쿠션으로 교체하여 둔부 통증이 크게 완화된 것을 확인 할 수 있었다.

2.3.6 중량 영향성 검토

개선 전/후의 중량 변화는 아래 Table. 6과 같으며, 본 개선안 적용 시 개인장구 변경에 따라 조종사 개인장구 중량은 2.39 kg 증가 하였지만, 하네스 조립체 변경에 따른 사출좌석 조립체 중량 변경으로 좌석 당 3.93kg 이 감소됨에 따라 중량 영향성은 없는 것으로 확인되었다.

3. 결론

본 연구에서는 기초훈련 항공기 조종석 사출좌석의 운용품질을 개선하기 위해 조종사의 운용 불편사항을 분석하였으며, 조종사의 사출좌석 착석 시 어깨끈 들뜸 현상과 둔부 통증 현상에 대한 개선안을 제시하였다. 기존 항공기에 장착된 어깨끈은 Combined 타입의 하네스로 상단 어깨끈이 두껍고, 좌/우 하네스간 연결줄이 없어 조종사가 후방을 보는 등의 동작을 취할 경우 어깨 부위에서 하네스 조립체가 들뜨는 현상이 주된 원인으로 확인되었다.

또한 둔부 통증은 기존에 장착된 쿠션이 매우 얇은 패드로만 구성되어 있어 장시간 비행 시 조종사의 통증을 유발시킬 수 있는 형상인 것이 확인 되었다. 이에 따라 기존 Combined 타입의 하네스 조립체에서 좌/우를 연결 할 수 있는 Torso 타입의 하네스 조립체로 교체하였으며, 폴리우레탄 소재의 패드 및 양털로 구성된 쿠션으로 변경하여 조종사 둔부 통증 완화를 위한 개선안을 제시하였다. 제시된 개선안에 대한 검증을 위해 요구도에서 제시하고 있는 사항들을 해석을 통해 사출계통 성능 요구도를 충족함을 검증하였으며, 장착 시험을 통해 장착성 영향성 여부 및 좌석 착석 시 둔부 통증이 완화된 것을 확인 할 수 있었다. 본 연구는 조종사의 운용품질 분석 및 개선안 도출을 통해 조종석 사출좌석 품질 및 비행 안전성 향상에 기여할 수 있었으며, 품질개선에 대한 노하우 확보를 통해 향후 유사 사례 발생 시 참고 자료로 활용 할 수 있을 것으로 사료된다.

References

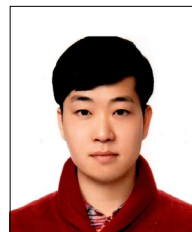
- [1] Yonug-In Yoon, Jun-Han Park, Kyung Suk Sohn, Daehan Jung, "Research on Grain Boundary Fracture about K0-0 Aircraft's Part of Ejection Seat", *The*

Korean Society of Mechanical Engineers Spring Conference, The Korean Society of Mechanical Engineers, Korea, pp. 305-309, Nov 2009

- [2] Daehee Jung, Seunghyuk Na, "Aircraft SUB-SYSTEM design focusing on cockpit design", *The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences Conference, The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Korea, pp. 280-285, Nov 1992*
- [3] Earl Wiener, David Nagel, "Human Factors in Aviation", p.684, Academic Press, 1988
- [4] Frank H. Hawkins, Harry W. Orlady, "Human Factors in Flight", p.384, Arena, 1993
- [5] L.F.E. Coombs, Bill Gunston, "The Aircraft Cockpit: From Stick-and string to Fly-by-wire", p.240, Patrick Stephens, 1990
- [6] Jesang Oh, "Human Factors Aircraft Cockpit Design and Flying Qualities", *Ergonomics Society of Korea Conference, Ergonomics Society of Korea, Korea, pp. 26-32, Jan 1992*
- [7] T Clark, "K0-0 Ejection Seat QBS Performance Prediction Report", Technical Report, Martin-Baker, England, pp. 1-45

최 재 호(Jae-Ho Choi)

[정회원]



- 2015년 8월 : 연세대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

품질경영, 서비스품질, 항공우주

박 성 제(Sung-Jae Park)

[종신회원]



- 2012년 2월 : 한국항공대학교 항공기시스템공학과 (공학학사)
- 2014년 8월 : 일리노이주립대학교 MBA (경영학석사)
- 2011년 8월 ~ 2013년 8월 : 캐세이퍼시픽항공 항공정비사
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

항공공학, 체계공학, 경영전략

이 진 원(Jin-won Lee)

[정회원]



- 2019년 2월 : 경상대학교 항공우주 및 소프트웨어공학과 (공학학사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 경상대학교 기계항공공학부 항공우주공학전공 (공학석사)
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

항공우주, 체계, 추진

권 나 은(Na-eun Kwon)

[정회원]



- 2013년 3월 ~ 2018년 2월 : 숭실대학교 기계공학과 (공학학사)
- 2021년 3월 ~ 현재 : 경상대학교 기계항공공학부 항공우주공학전공 (공학석사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

항공우주, 비행제어

김 세 윤(Se Un Kim)

[정회원]



- 2015년 2월 : 충남대학교 항공우주공학과 (공학사)
- 2017년 2월 : 충남대학교 항공우주 기계공학과 (공학석사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

항공무기체계, 공기역학, 공력소음, 공력수치해석