

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2025.33.4.243>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

VR Display와 비행훈련장치를 이용한 학생조종사의 조종능력 효과성 비교 연구

이승보*, 박성식**, 최진국**

Comparing the Effectiveness of Student Pilots' Flight Capability between VR Display and Aviation Training Devices

Seung-Bo Lee*, Sung-Sik Park**, Jin-Kook Choi**

ABSTRACT

This study compared a traditional Aviation Training Device (ATD) with a Virtual Reality (VR)-based flight training environment to examine the efficiency and quantitative evaluability of student pilot training. Conventional ATDs have limitations in providing a realistic cockpit environment during the initial stages of flight training due to restricted fields of view and low levels of immersion. To address these constraints, a VR-based training environment was introduced, and both systems were used to perform an identical Visual Flight Rules (VFR) traffic-pattern scenario for comparison. The experiment was conducted with student pilots majoring in aviation, and physiological responses—including heart rate (HR) and blood oxygen saturation (SpO₂)—were measured during flight tasks as quantitative indicators. Through this approach, the study evaluated the extent to which a VR-based training environment can provide training effectiveness comparable to, or exceeding, that of a conventional ATD in early-stage student pilot education.

Key Words : VR Display(가상현실헤드셋), Aviation Training Device(비행훈련장치), Visual Flight Rules Scenario(시계비행 시나리오), Heart Rate(심박수), Workload(작업 부하)

1. 서 론

캐나다의 항공 우주 기술 제조업체 CAE에 따르면, 2034년까지 전 세계 민간 항공 분야에 약 150만 명의 신규 인력이 필요할 것이라고 밝혔다. CAE 전략 부문 부

사장 마리-크리스틴 클루티에(Marie-Christine Cloutier)는 급증하는 항공 수요에 대응하기 위해 인재 확보와 훈련 최적화에 선제적으로 대응해야 한다고 강조한다. 이에 따라 CAE는 신세대 학습자에게 적합한 몰입형 교육 환경 조성을 목표로, 인공지능(AI), 가상현실(AR) 등 첨단 기술 기반 교육 기술에 투자하고 있다. 대표적 사례로는 애플비전프로(Apple Vision Pro) 기반 조종사 훈련 앱 및 게임 엔진 기반 3D 시뮬레이터(CAE Prodigy) 등이 소개되었다(Korea Civil Aviation Association, 2025).

이처럼 전 세계 항공 산업은 첨단 기술을 활용한 조

Received: 8. Dec. 2025, Revised: 12. Dec. 2025,

Accepted: 17. Dec. 2025

* 국립한국교통대학교 글로벌융합대학원 항공경영학과 석사과정

** 국립한국교통대학교 항공운항학과 교수

연락처자 E-mail : sunsikpark@hotmail.com

연락처자 주소 : 충북 충주시 대소원면 대학로 50

종사 양성 및 교육 훈련의 고도화로 빠르게 전환되고 있으며, 국내에서도 조종 인력 양성 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 한국교통안전공단의 통계(Korea Transportation Safety Authority, 2024)에 따르면 최근 5년간 (2020~2024년) 국내 조종사 자격증 취득자는 코로나 19로 인한 감소세를 벗어나 회복세를 보였다. 사업용 조종사는 21년과 22년에 각각 -14.9%,-14.4% 감소하였으나, 23년 +31.8% 24년 +10.9%로 크게 증가하며 뚜렷한 회복세를 보였다. 자가용 조종사 또한 22년까지 감소했으나, 23년 +14.4%, 2024년 +4.5%로 상승 전환하였다(Table 1).

현재 대한민국의 항공조종사 양성 전문교육기관은 총 19개로 구성되어 있으며, 이 중 대학 11개, 전문교육학교 1개, 항공기 사용사업체 1개 군(공군 및 해군) 2곳이 포함되어 있다. 이들 기관은 모두 국토교통부 항공전문교육기관(ATO, Approved Training Organization)으로 인가되어있다. 특히, 인가된 항공기관 중 7개 기관은 모의비행훈련장치(FTD, Flight Training Device)를 활용하여 비행훈련과정을 병행하고 있다(Korea Transportation Safety Authority, 2024). 비행훈련 과정에서 활용되는 기본비행훈련장치(ATD, Aviation Training Devices)는 실제 항공기 운항에서 수행하기 어려운 절차나 위험 상황을 안전하게 재현하여 학생 조종사가 다양한 비행절차를 반복적으로 학습할 수 있도록 돕는 중요한 교육 도구이다. 또한, 기상 변화, 항공기 고장, 비상 절차 등 실제 비행 중 경험하기 어려운 다양한 상황을 모의 환경에서 구현함으로써 훈련의 효율성과 안전성을 동시에 높일 수 있다. 하지만 기존 기본비행훈련장치(ATD)는 제한된 시각적 범위와 낮은 몰입감으로 인해 학생 조종사에게 실제와 유사한 몰입감 제공하는 데 한계가 있으며, 특히, 시각 시스템의 시야각이 제한되어 있으므로 조종사가 직접

눈으로 외부 참조물을 확인하며 비행하는 초기 비행훈련단계의 시계비행(VFR, visual flight rule) 훈련에는 제약이 따른다(Jung, 2020). 이로 인해, 효율적인 비행 감각 훈련 및 공간 인지 훈련이 충분히 이루어지지 못하는 단점이 존재한다. 이처럼 상기 기존 비행훈련장치의 단점을 보완 가능한지 알아보기 위해, 본 연구에서는 학생 조종사에게 VR 비행훈련장치로 자유로운 시각 환경을 구현함으로써 학습자의 몰입도를 높혀 자유로운 시각 환경을 제공하였다. 또한, 생체정보 수집 디바이스를 활용하여 학생 조종사의 심박수(HR, heart rate) 데이터를 추출, 분석함으로써 훈련 중 조종사의 긴장도와 산소포화도(SpO₂) 변화를 정량적 데이터로 평가하였다. 이를 통해, 이번 연구는 VR 비행훈련장치가 기존 기본비행훈련장치(ATD)의 한계를 극복하여 비행훈련의 효율성과 조종사의 학습 몰입도 향상에 기여할 수 있는지를 알아보고자 하였다.

II. 이론적 고찰

2.1 작업부하 및 인지부하

인지부하(cognitive load)는 학습자가 과제를 수행하는 과정에서 요구되는 인지적 자원의 양이 개인이 가진 인지 구조의 용량을 초과할 때 발생하는 정신적 부담을 의미한다(Sweller et al., 1998; Kim and Kang 2018). 인지부하 이론(cognitive load theory, CLT)에 따르면, 인간의 작업기억(working memory)은 시각적 정보와 언어적 정보를 독립적으로 처리할 수 있는 기제로 구성되었으며, 또한 작업기억의 정보는 무제한적인 용량을 가진 장기기억과 서로 작용한다는 점이다. 작업 기억의 중요한 특징은 제한된 용량을 가지고 있다.(Sweller et al., 1998; Oh et al., 2010).

Table 1. Annual growth rates of commercial pilot and private pilot certifications as of 2024

연도	사업용 조종사 (commercial pilot)	증감률(%)	자가용 조종사 (private pilot)	증감률(%)	연도별 합계
2020년	1,052명	-	501명	-	1,533명
2021년	895명	▼ -14.9%	494명	▼ -1.4%	1,398명
2022년	766명	▼ -14.4%	431명	▼ -12.8%	1,197명
2023년	1,010명	▲ +31.8%	493명	▲ +14.4%	1,503명
2024년	1,120명	▲ +10.0%	515명	▲ +4.5%	1,635명

그러므로 과제 수행 과정에서 부담되는 인지 요구량이 증가할수록 정보 처리 효율이 저하되고 학습 성과도 감소하게 된다.

인지부하는 크게 세 가지 구성 요소로 구분된다. 첫째, 내재적 인지부하(intrinsic cognitive load)는 과제 자체의 난이도와 복잡성, 요구되는 지식 구조에 의해 결정된다. 예를 들어, 다단계 조종 절차나 높은 정확도를 요구하는 비행 기동은 본질적으로 높은 내재적 부하를 유발한다.

둘째, 외재적 인지부하(extraneous cognitive load)는 학습 과제의 제시 방식, 훈련 환경 설계, 인터페이스 구성 등 외부 요인으로 인해 발생한다. 불필요한 정보, 제한된 시야각, 비현실적인 시뮬레이션 경험 등은 외재적 부하를 증가시켜 학습 효율을 저하시킬 수 있다.

셋째, 본질적 인지부하(germane cognitive load)는 새로운 정보를 기존 스키마에 통합하고 학습 구조를 강화하기 위한 인지적 노력으로, 학습의 질을 향상시키는 긍정적 역할을 한다(Sweller et al., 1998; Oh et al., 2010).

항공 조종 환경은 상시적인 정보 탐색, 상황 인지(situational awareness), 조종 입력 판단 등 다양한 인지 활동이 동시에 요구되기 때문에 높은 인지부하가 발생하기 쉬운 작업 영역이다. 특히, 이중 과업(dual task) 상황이나 시각적·청각적 정보가 복합적으로 요구되는 비행 단계에서는 내재적 부하와 외재적 부하가 증가하여 인지 조절 기능이 저하될 수 있으며, 이는 스트레스 증가, 피로 누적, 상황 인지 오류로 이어질 수 있다(Kim and Kang, 2018).

한편 조종사의 인지부하를 정량적으로 파악하기 위한 연구들이 기존에도 수행되어 왔으나, 그 정확성이나 적용성에는 한계가 존재하였다. 비행 수행도를 이용한 방식은 고도 유지 오차, 조종간 조작량, 자세 이탈 정도와 같은 조종 성능을 기반으로 평가하는 방법으로 비침습적이라는 장점이 있으나, 인지부하의 미세한 변화를 충분히 반영하기 어렵다(Jung, 2020).

심박변이도(HRV) 기반 측정은 ECG·PPG 등 생체 신호를 활용하여 인지 부하를 추정하는 방식으로 비교적 높은 정확도를 보이지만, 장비 착용의 부담이나 실제 항공기 환경에서 신호 확보가 어렵다는 문제점이 존재한다(Lahtinen et al., 2007; Kim and Kang 2018). 따라서 조종사의 인지 부하를 보다 명확하게

파악하기 위해서는 다양한 생체신호와 비행 수행 정보를 함께 활용한 복합적 접근이 필요한 상황이다.

본 연구에서는 조종사의 인지 부하를 작업 부하의 하위 개념으로 정의하고, 이를 정량적으로 평가하기 위해 심박수(HR)와 산소포화도(SpO₂)를 생리학적 지표로 활용하였다. 실험에서는 학생 조종사가 설정된 비행 시나리오를 수행하는 동안 비행 수행 정보와 생체신호 데이터를 동시에 수집하여 분석하였다. 특히 심박수(HR)를 주요 지표로 채택한 이유는 심박수(HR)가 ECG(심전도) 신호로부터 직접 산출되는 1차 생리 반응으로서, 조종사의 긴장도·각성 수준·순간적인 인지부하 변화를 민감하게 반영하기 때문이다. 심박수(HR)는 환경 변화나 스트레스 요인에 즉각적으로 반응하는 특성을 가지므로, 기본비행훈련장치(ATD)와 VR 비행훈련장치 간 생리적 차이를 비교하는 데 가장 적합한 지표로 판단하였다. 한편, 작업부하 증가가 산소포화도(SpO₂)에 직접적인 변화를 초래한다는 강한 상관성이 보고된 바는 없으나, 일부 연구에서는 작업 부하 수준이 변화할 때 호흡 패턴 및 자율신경계 활동이 함께 변동될 수 있어 SpO₂가 보조적 생리 지표로 활용될 수 있음을 제시한다(Heo et al., 2015). 이에 따라 본 연구에서는 심박수(HR)와 함께 산소포화도(SpO₂)를 추가적으로 측정함으로써 두 훈련 환경의 생리적 반응 차이를 보다 다각적으로 검토하고자 하였다.

III. 본 론

3.1 모의비행훈련장치 개요

항공안전법 시행규칙 제 10조의 2(모의비행훈련장치의 종류)에 의해 각 정의되어 있다. 모의비행장치(FFS, full flight simulator)는 특정 형식의 항공기의 조종석을 기계, 전기, 전자, 장치 등에 대한 통제 기능과 비행의 성능 및 특성 등이 실제 항공기와 같게 재현될 수 있도록 고안한 장치이다. 비행훈련장치(FTD, flight training device)는 특정 등급의 항공기의 조종석을 기계, 전기, 전자 장치 등에 대한 조작 기능과 비행의 성능 및 특성 등이 실제 항공기와 유사하게 재현될 수 있도록 고안한 장치이다. 기본비행훈련장치(ATD)는 모의비행장치와 비행훈련장치를 제외한 훈련장치로서 조종사가 훈련하는 실제 항공기와 유사한 환경이 재현될 수 있도록 고안한 장치로 분류한다. 또한,

국토교통부 고시 제 2024-506호(모의비행훈련장치 지정기준) 제3조에 따르면 모의비행훈련장치는 장비의 정확도, 시각시스템 성능 운동 특성 구현 범위 등에 따라 세분화하고 있다. 비행기 모의비행 장치 등급은 A등급, B등급, C등급, D등급으로 구분된다. 비행기 비행훈련장치 등급은 4등급, 5등급, 6등급, 7등급으로 나뉜다.

3.2.1 Aviation Training Devices (Red Bird SD)

기본비행훈련장치(ATD)는 Redbird Flight Simulators, Inc.에서 제작한 Redbird SD로, FAA의 LOA 승인을 받은 장비이다. 이 장치는 FAA 자문서 AC 61-136B에 명시된 기준에 따라 비행 절차(flight procedure), 계기비행(instrument flight), 비행절차(emergency procedure)등의 훈련을 수행할 수 있도록 설계되어 있다(Fig. 1, 2).

3.2.2 VR Display

VR 비행훈련 환경 구현을 위하여 Varjo Aero VR Display를 사용하였다. VR 비행훈련 구성은 Varjo Aero VR HMD, 와이드 모니터(외부 시야 보조용), 요크(Yoke), 스로틀(Throttle Quadrant) 및 러더 페달



Fig. 1. Aviation training devices

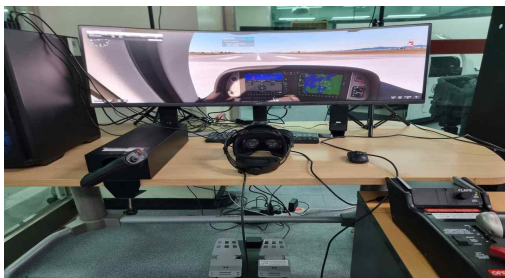


Fig. 2. VR head display

(Rudder Pedal)로 구성하였다. 이러한 조종 입력 장비 구성을 통해 학생조종사는 VR 비행훈련장치에서도 실제 항공기 조종과 유사한 조작 감각과 비행 절차 수행 경험을 얻을 수 있다. VR 비행훈련장치가 기본비행훈련장치(ATD)와 비교하여 비행 수행 능력 및 생리적 변화(심박수와 산소포화도 변화)를 분석했다.

3.3 표본 집단 (연구 대상)

기본비행훈련장치(ATD)와 VR 비행훈련장치 별 생리적 반응을 비교·분석하기 위하여, 국내 K-대학에 재학중인 항공운항학과 대학생들로 실험군을 구성하였다. 피험자들은 동일한 비행 경력 수준을 가진 학부 과정 학생으로 구성되었다.

3.4 실험 설계

먼저, 기본비행훈련장치(ATD)와 VR 비행훈련장치에서의 비행 훈련 효과를 정량적으로 비교하기 위해, 기본비행훈련장치(ATD)에 탑승하여 모의비행 시나리오를 수행하며, 실험 중 학생 조종사의 심박수와 산소포화도 생체 정보를 측정하였다. 이후, VR 비행훈련장치에 탑승하여 동일 모의비행 시나리오를 수행하며 심박수 생체와 산소포화도 정보를 측정하였다. 이와 같은 교차 실험을 통하여 각 기본비행훈련장치(ATD)와 VR 비행훈련장치에서의 생리적 반응 차이의 정량적 비교가 가능하도록 하였다.

모의비행 시나리오로는 표준 시계비행(VFR) 조건하의 공항 장주(airport traffic pattern) 비행 시나리오를 적용하였다. 해당 시나리오는 자가용 조종사(PPL) 훈련 과정에서 수행되는 기본 절차로, 상승(climb), 수평비행(cruise), 하강(descend), 접근(approach) 등 기초 조종 능력을 단계적으로 평가할 수 있다는 점에서 본연구 목적에 적합하다.

모의 비행 장주 절차는 실제 운항 절차를 반영하여 Upwind, Crosswind, Downwind, Base, Final 총 5개 구간으로 구상하였다. 실험에서는 무안공항(RKJB) RWY01 절차를 기준으로 시나리오를 설계하였으며, 참가자 전원에게 동일한 바람, 시정, 기압, 기온 등의 기상조건과 Go Around 없이 장주 절차만을 적용하여 훈련 장치 간 환경적 변수를 최소화하였다.

본 시나리오는 조종사가 각 비행 구간에서 heading 유지, altitude 유지, speed 제어, 조종 안정성(con-

trol stability), 절차 수행 정확도를 연속적으로 수행 하도록 설계되었다(Fig. 3~6).

이러한 구성은 단계별 조종 난이도 및 인지적 요구 의 차이를 유발하도록 설계된 것이다. 각 비행 단계별 생리적 반응을 분석하기 위해 훈련 수행 중 학생 조종 사의 심박수(heart rate)와 산소포화도(SpO₂)를 실시간으로 수집하였으며, 이를 바탕으로 기본비행훈련장

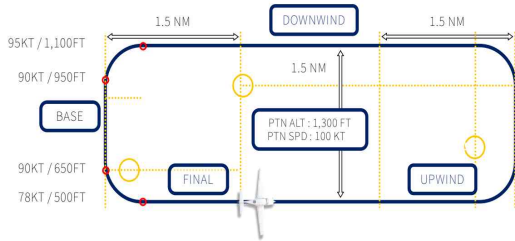


Fig. 3. VFR scenario (RWY 01 traffic pattern)

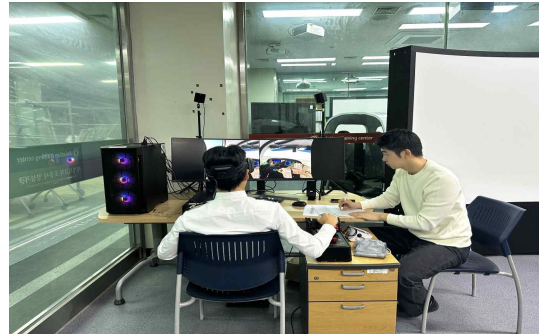


Fig. 6. Heart rate and SpO₂ measurement

치(ATD)와 VR 비행훈련장치 간 조종 상황별 생체 반응 변화 경향을 정량적으로 비교하였다.

3.5 실증 분석

기본비행훈련장치(ATD)와 VR 비행훈련장치에서 동일한 시계비행(VFR) 장주비행절차를 수행한 학생들의 신체반응 데이터 구간 별로 수집하였으며, 그 측정값은 Table 2와 Table 3에 제시하였다(n=120). 데이터 분석 결과, VR 비행훈련장치에서 기록된 평균 심박수는 ATD보다 전반적으로 낮은 수준을 보였다. 이는 VR 비행훈련장치가 상대적으로 낮은 생리적 긴장 상태에서 수행되었음을 보여주며, 두 환경 간 작업부하 차이가 존재하였음을 의미한다.

장주비행 단계별 심장 반응 패턴은 두 훈련 환경에서 유사하게 나타났다. 가장 높은 심박수(HR)는 착륙 접근(final) 단계에서 확인되었고, 그 다음으로 base 구간과 upwind 구간 순으로 높게 나타나며 cross-wind 구간에서 가장 낮게 나타났다. 이는 착륙 절차가 가장 높은 조종 부하와 상황 판단을 요구하는 비행 단계를 반영하는 결과이다.

반면, 산소포화도(SpO₂)는 ATD와 VR장치 모두에서 큰 변동이 나타나지 않았으며, 훈련 전·후로 안정적인 생리적 수준(95% 이상)이 일관되게 유지되었다. 정상 성인의 경우 산소포화도의 정상수치는 95% 이상이며, 95% 이하는 저산소증 주의 상태로 알려져 있다. 본 실험에서 확인된 생체반응 차이는 산소 공급의 변화보다 각 훈련 환경에서 요구된 작업 부하 정도의 차이에 의해 발생한 것으로 판단된다.

다음으로 실험에 참여한 학생조종사들의 심장 반응을 이원배치 분산분석(two-way ANOVA, analysis of variance)을 통해 실증 분석하였다. 이원배치 분산



Fig. 4. Heart rate and SpO₂ measurement in the ATD



Fig. 5. Heart rate and SpO₂ measurement in the VR display

Table 2. Heart rate and SpO₂ in the ATD

구 분	BRIEFING		UPWIND		CROSSWIND		DOWNWIND		BASE		FINAL	
	심박수	산소 포화도	심박수	산소 포화도	심박수	산소 포화도	심박수	산소 포화도	심박수	산소 포화도	심박수	산소 포화도
A-1	95	99	94	99	83	99	94	98	97	98	105	99
A-2	83	99	91	98	92	98	88	98	96	98	98	98
A-3	79	99	86	99	80	98	87	98	92	98	99	99
A-4	83	100	80	96	78	97	79	97	86	97	95	98
A-5	75	100	74	99	77	99	74	99	83	99	81	99
A-6	70	100	66	98	61	99	67	98	76	99	83	99
A-7	70	98	70	98	72	99	72	98	74	98	78	99
A-8	85	99	90	98	94	99	85	99	85	99	90	99
A-9	75	98	75	96	79	96	78	97	80	97	84	97
A-10	92	99	84	97	81	97	87	97	84	97	89	98
평균	80.7	99.1	81	97.8	79.7	98.1	81.1	97.9	85.3	98	90.2	98.5

Table 3. Heart rate and SpO₂ in the VR display

구 분	BRIEFING		UPWIND		CROSSWIND		DOWNWIND		BASE		FINAL	
	심박수	산소 포화도	심박수	산소 포화도	심박수	산소 포화도	심박수	산소 포화도	심박수	산소 포화도	심박수	산소 포화도
B-1	80	99	91	99	82	99	86	99	88	99	87	99
B-2	83	99	86	99	72	98	75	98	78	98	80	99
B-3	72	99	66	98	70	99	71	98	72	99	82	98
B-4	73	99	73	98	73	98	74	98	74	98	78	99
B-5	71	99	80	99	77	98	80	98	87	98	82	98
B-6	54	99	68	99	71	100	68	99	71	100	77	99
B-7	66	99	71	99	72	99	68	99	71	100	81	99
B-8	79	98	74	99	79	98	77	78	80	98	81	98
B-9	72	98	80	98	77	97	81	98	86	97	86	98
B-10	84	100	83	98	83	98	85	98	92	97	93	97
평균	73.4	98.9	77.2	98.6	75.6	98.4	76.5	96.3	79.9	98.4	82.7	98.4

분석이란 두 개의 독립변수가 하나의 종속변수에 미치는 영향을 동시에 분석하며, 각 독립변수의 주 효과와 두 변수 간의 상호작용 효과를 검증하는 통계 기법이다. 이원배치 분산분석을 통해 '어떤 조건에서 어떤 결과가 나타나는가'를 입체적으로 파악할 수 있다. 이는 하나의 독립변수만 보는 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)과 달리 두 가지 차원에서 평균 차이를 비교하고, 변수들 간의 관계 패턴을 분석하는 데 사용된다. 본 연구에서는 첫 번째 독립변수 (요인)은 비행단계(briefing → upwind → crosswind → downwind → base → final)이고 두 번째 독립변수 (요인)은 비행훈련장치 (ATD 및 VR)로 설

정하여 이원배치 분산분석을 수행하였다.

먼저 분산분석을 수행하기 위해 오차 분산의 동일성에 대한 Levene 등분산 검정을 수행하였다. 레빈 등분산 동질성 검정은 두 개 이상의 그룹에 대해서 분산이 동일한가를 검정하는 방법이다. 다시 말해서 두 개 이상 집단(장주비행단계 및 비행훈련장치)에서 심장 반응(종속)변수의 분산이 일정한지를 검정하는 방법이다.

장주비행 단계별로 그리고 비행훈련장치의 종류에 따라 심장반응(심박수)의 분산이 유사해야만, 즉 등분산성을 유지해야만 분산분석을 수행할 수 있는 것이다.

Table 4에 제시된 바와 같이 Levene 등분산 검정

Table 4. Levene's homogeneity test

F-value	df1	df2	p-value
.921	11	108	.523

결과 F-값 및 유의확률값은 각각 .921 및 .523으로 분석되어 Levene 등분산 검정의 귀무 가설(H0: 장주비행단계 별 혹은 비행훈련장치 종류에 따라 학생조종사의 심박수의 분산은 무차별하다)을 95% 신뢰수준에서 채택하는 것으로 나타났다. 따라서 연구자는 분산의 동질성을 확인한 후 이원배치 분산분석을 수행하였다.

Table 5에는 이원배치 분산분석 결과가 제시되어 있다. 분산분석 결과에 따라 장주비행단계에 따라 학생조종사들의 심박수는 99% 신뢰수준에서 유의한 차이(F-값 4.084, 유의확률 .002)가 있는 것으로 판명되었다. 아울러 비행훈련장치에 따라 학생조종사들의 심박수도 99% 신뢰수준에서 유의한 차이(F-값 14.130, 유의확률 $p < .000$)가 있는 것으로 분석되었다. 비행단계에 따른 구분보다 비행훈련장치의 종류에 따라 실험에 참여한 표본집단의 종속변수가 더욱 유의미한 차이를 나타내었다. 다만 장주비행단계와 비행훈련장치의 종류의 교차효과를 분산분석한 결과는 통계적으로 유의미한 차이가 분석되지 않았다(F-값 .204, 유의확률 .960).

Fig. 7은 ATD와 VR 비행훈련장치에서 무안국제공항 RWY 01을 기준으로 동일한 VFR 장주비행 시나리오를 수행할 때 나타난 학생 조종사들의 이원배치 분산분석 결과를 그래프로 도식화한 결과이다.

VR 비행훈련장치에서 기록된 평균 심박수(HR)는 기본비행훈련장치(ATD)에서보다 낮은 값으로 나타나, 초기 훈련 단계에서 VR이 상대적으로 부담(작업 부하)이 적은

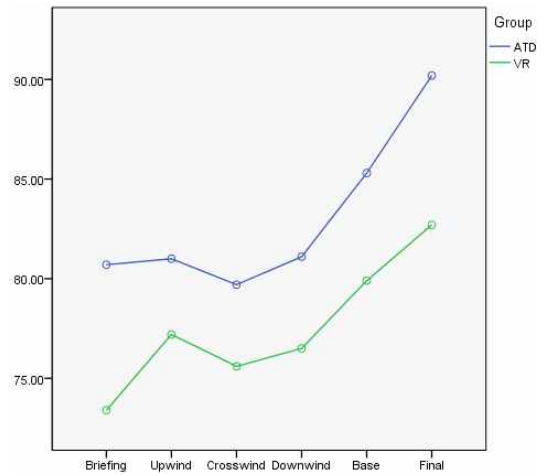


Fig. 7. Two-way ANOVA profile

상태에서 조종을 수행할 수 있는 환경임을 시사하였다. 비행 단계별 심박 반응을 살펴보면, 두 환경 모두에서 착륙 접근(final) 구간에서 가장 큰 심박수 상승이 나타났다. 이는 해당 구간이 판단·시각 탐색·조종 입력이 복합적으로 요구되는 단계임을 반영한다. 반면, 산소포화도(SpO₂)는 두 환경에서 모두 안정적인 수준을 유지해 유의미한 차이가 확인되지 않았다. 이러한 결과는 본 연구에서 관찰된 생리 변화가 산소 공급의 변동보다는 훈련 환경이 요구하는 작업부하의 차이에 기인함을 보여준다.

IV. 결론

4.1 연구의 요약

VR 장치에서 평균 심박수가 통계적으로 유의하게 낮은 결과를 보여준 요인들은 매우 다양할 것이다. 주

Table 5. Two-way ANOVA (n=120)

구분	제 III 유형 제곱합	자유도	평균 제곱	F	유의확률
수정 모형	2,243.225	11	203.930	3.234	.001
절편	773,289.075	1	773,289.075	12,262.355	.000
장주비행단계(A)	1,287.675	5	257.535	4.084	.002
비행훈련장치(B)	891.075	1	891.075	14.130	.000
(A) × (B) 교차효과	64.475	5	12.895	.204	.960
오차	6,810.700	108	63.062		
합계	782,343.000	120			
수정 합계	9,053.925	119			

요 요인들을 요약하자면 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 학생조종사들이 ATD를 먼저 비행하고 그 다음에 VR을 비행했기 때문에, ATD에서 경험치가 축적되어 VR 비행에서 더욱 심리적 안정감을 가졌을 수 있다. 둘째, 학생 조종사들은 평가관 입회하에 통제된 상태에서 평가관이 학생조종사들을 쳐다보면서 평가를 하면 항상 피실험자들은 매우 긴장된 모습을 보인다. 하지만, 본 실험에서 두 번째 VR 비행에서는 이미 ATD 비행을 통해 평가관을 경험한 상태라서 덜 긴장을 했을 수 있다. 셋째, VR 비행할 때 학생조종사들은 옆에 있는 사람들이나 주변 상황이 제법 통제되고 VR 글래스를 착용한 채 항공기 소음에만 노출된다. 따라서 이런 상황에서 학생을 평가하는 평가관이 있다는 것을 순간 덜 인지하게 되고 나의 비행에 몰입하는 경향이 나타난다. 이런 이유로 VR 비행에서 학생조종사들이 좀 더 심리적 안정감이 있었다고 파악된다. 이는 호손 효과(Hawthorne studies)로도 해석될 수 있다. 호손 효과는 관리자들이 감독을 하면 처음에는 작업자들이 긴장하여 작업 능률이 향상된다는 것이다. 하지만 관리자들이 계속 현장을 방문할수록 작업자들은 긴장을 덜 하게 된다는 것이다.

Fig. 7에서 주목할 만한 결과는 바로 Briefing 단계에서 Upwind 단계로 이동할 때 ATD와 VR 비행 사이에서 학생조종사의 심박수 상승률이 상이한 모습을 나타냈다는 것이다. 나머지 구간에서는 ATD 및 VR 비행에서 학생조종사들의 심박수는 거의 유사한 상승 혹은 하강율을 보여주었다. ATD 비행의 경우 브리핑 단계와 Upwind 단계의 심박수 차이가 거의 나타나지 않았다. 하지만 VR 비행의 경우 학생조종사들이 브리핑 이후 Upwind 상황에서 VR 글래스를 통해 조종석에서 경험하는 실제와 유사한 시너리를 보고 ATD에 비해 상대적으로 이륙 및 상승과정에서 과몰입을 하게 되면서 스톱을 파워 증가 및 이륙 상승 과정에서 상대적으로 높은 심박수 상승률을 보여준 것으로 판단된다.

착륙단계(Base → Final)에서 학생조종사들은 사고 발생율이 높다는 것을 대부분 인지하고 있기 때문에, 착륙 단계에서 고려 요소가 더 많아졌고 이로 인해 심박수가 급격히 상승한 것으로 판단된다.

4.2 연구의 한계점 및 향후 연구계획

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 본 연구에서 ATD를 비행한 학생조종사들의 VR 비행 횟수가 증가한다

면 아마도 ATD와 VR이 후속 연구에서는 심박수 차이의 폭이 더욱 줄어들 수 있을 것이다. 따라서 후속 연구에서는 VR 탑승횟수를 증가하여 심장 반응의 차이를 면밀히 연구할 필요가 있을 것이다.

향후 연구에서는 실험집단에 비교(대조군)를 추가보완하여 연구를 수행할 계획이다. 일례로 조종사들이 브리핑을 하는 주된 이유가 실제로 비행에 있어서 휴먼 에러를 덜 발생하도록 하기 위함이다. 따라서 후속 연구에서는 학생조종사들을 비행 전 브리핑을 충실히 수행한 실험군과 브리핑을 충실히 하지 않은 대조군으로 구분하여 ATD와 VR 비행에 따른 심장 반응 차이를 비교 분석해 보고자 한다.

사 사

본 결과물은 2025년도 교육부 및 충청북도의 재원으로 충북 RISE 센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE) 글로벌대학30의 결과입니다(2025-RISE-11-004).

References

1. Korea Civil Aviation Association, "Global Aviation Industry Trends", Vol. 61, 2025, pp.1-530.
2. Korea Transportation Safety Authority, "Annual status of airmen certification 2024", Korea Transportation Safety Authority, 2024.
3. Korea Civil Aviation Association, "Pocket aviation status", Korea Civil Aviation Association, 2025, pp.156-159.
4. Jung, G. M., "A study of quantitative flight training effectiveness evaluation through wearable flight training device", Master's thesis, 2020, pp.1-65.
5. Kim, S., and Kang, D., "Detection of pilot's cognitive workload levels using flight performance and heart rate variability features", Journal of the Ergonomics Society of Korea, 37(6), 2018, pp.681-689.
6. Oh, S. A., Kim, Y. S., and Chung, E. K., "Cognitive load and instructional design in

- medical education", 2015, pp.27-33.
7. Lahtinen, T. M., Koskelo, J. P., Laitinen, T., and Leino, T. K., "Heart rate and performance during combat missions in a flight simulator", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78(4), 2007, pp.387-391.
 8. Heo, Y. S., et al., "Analysis and processing of driver's biological signal of workload", *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 20(3), 2015, pp.87-93.