

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2026.34.3.142>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

자기 교시가 이륙하는 헬리콥터 조종사에게 미치는 영향 - 예상하지 못한 급격한 시정 변화 조건에서 -

김문성^{* **}, 김신우^{***}, 이형철^{***}

Effects of Self-Instruction on Helicopter Pilots during Takeoff - Under Unexpected and Sudden Visibility Changes -

MunSeong Kim^{* **}, ShinWoo Kim^{***}, Hyung-Chul O. Li^{***}

ABSTRACT

Startle and surprise induce physical, physiological, and cognitive responses in pilots, negatively impacting their performance during flight. Furthermore, the accompanying acute stress enhances the stimulus-driven system, a subsystem of attention, disrupting the balance of the attentional system. This can negatively impact pilots' information processing and performance required for flight. Conversely, self-instruction can induce goal-directed behavior, alleviating attentional imbalances and positively impacting pilot performance. This study, conducted in-service pilots in a virtual reality environment, examined whether self-instruction positively impacts pilot performance during takeoff under conditions where startle and surprise are triggered by unexpected, sudden changes in visibility. Under self-instruction conditions, the pilots' startle and surprise responses were mitigated, and their performance improved. This suggests that self-instruction, through a self-regulatory process that promotes goal-directed behavior, alleviates the imbalances in the startle and surprise responses and attentional systems, thereby positively impacting information processing and performance required for flight.

Key Words : Startle And Surprise(놀람과 놀라움), Acute Stress(급성 스트레스), Take Off(이륙), Helicopter Accident(헬리콥터 사고), Self-Instruction(자기 교시), Attentional System(주의 시스템), De-Startle Dilemma(탈 놀람 딜레마)

1. 서 론

미국 연방 항공청 자료에 따르면 전체 항공 사고의

Received: 22. Feb. 2026, Revised: 10. Jul. 2026,

Accepted: 28. Aug. 2026

* 소방청(중앙119구조본부)

** 광운대학교 심리학 박사

*** 광운대학교 산업심리학과 정교수

연락처자 E-mail : hyung@kw.ac.kr

연락처자 주소 : 서울특별시 노원구 광운로 20 (월계동

447-1) 광운대학교 한울관 628호

약 80%가 인적 요인(human factors)에 기인하며, 인적 요인의 비중이 지속적으로 증가하고 있다(FAA, 2011). 기술의 발전으로 기계적 결함에 의한 사고는 감소하였으나, 항공기 시스템이 복잡해지면서 오히려 인적 오류의 발생 가능성이 증가하고 있으며(Güntürkün, 2023), 이러한 이유들로 인하여 인적 요인의 중요성이 강조되고 있다.

인적 요인은 비기술적인 예러에 대한 전체론적(holistic) 접근으로 스트레스, 긴장, 피로, 인지 부하, 의사소통, 주의 방해, 집중력, 상황 인식 등 다양한 요

소들을 포함하며(Endsley, 1995), 최근에 발생한 여러 항공 사고에서는 놀람(sartle)과 놀라움(surprise)으로 인한 인적 오류가 사고에 기여한 것으로 보인다(Landman, Groen, Van Paassen, Bronkhorst and Mulder, 2017).

항공 분야에서의 놀람은 조종사의 기대에 어긋나고, 갑작스럽고 강렬한 사건에 노출됨으로써 유발되는 제어할 수 없는 자동적인 근육 반사, 심박수 상승, 혈압 상승 등으로 정의되었고(FAA, 2015), 놀라움은 사건에 대응하는 정신적 과정에 영향을 미칠 수 있고, 조종사의 기대에 어긋나는 예상하지 못한 사건(event)으로 정의되었다(FAA, 2015).

조종사에게 놀라움을 주는 요소들은 항공기 상태 변화, 예상하지 못한 다른 사람들의 행동 또는 지시, 기상 등의 환경 변화, 운항 중 출현하는 다른 항공기, NOTAM (Notice to airmen)이 있으며(Kochan, Breiter and Jentsch, 2004), 최근 한 연구에서 예상하지 못한 급격한 시정의 변화가 이륙하는 헬리콥터 조종사의 놀람과 놀라움을 유발한다는 것이 밝혀졌다(Kim, Lee, Kim and Li, 2025).

실험에서 예상하지 못한 급격한 시정의 변화는 이륙 과정에 있는 헬리콥터 조종사에게 공포-강화(fear-potentiated) 효과를 유발하여 놀람 반응을 강화시켰다. 공포-강화 효과는 존재하는 위험이 있거나 지각된 위험이 있을 때 발생되며(Bradley, Moulder and Lang, 2005), 상당한 수준의 스트레스를 유발하고, 심각한 인지 장애를 주며(Eysenck, Payne and Derakshan, 2005), 조종사의 정보처리에 손상을 준다(Bishop, 2009).

또, 실험의 야간 조건에서 어둠-강화(dark-enhanced) 효과도 나타났다. 주행성 종인 인간인 경우에는 야간에는 놀람 반응을 조절하는 특정 호르몬(corticotropin-releasing hormone; CRH)의 가용성이 부족하며(Arborelius, Owens, Plotsky and Nemeroff, 1999), 주간에 비해 야간에는 놀람 반응이 더 촉진된다(Grillon, Pellowski, Merikangas and Davis, 1997). 실험에서도 주간 조건보다 야간 조건에서 놀람 반응이 더 컸다.

이륙하는 과정은 항공 사고에서 위험한 순간들 중의 하나이며(Güntürkün, 2023), 이때 발생하는 놀람과 놀라움의 반응은 조종사에게 더 큰 악영향을 줄 수 있다. 헬리콥터의 일반적인 이륙 과정은 제자리 비행으로

부터 시작되며, 이 과정에서 횡요(roll), 편요(yaw), 기수들림(pitch up) 등의 많은 항공역학적 현상들에 의해서(FAA, 2019), 의도되지 않은 기체의 변화가 발생된다. 기체의 변화를 지각하기 위해서는 많은 시각 단서와 이를 인지하기 위한 상당한 주의력이 필요하다. 헬리콥터의 이륙단계는 조종사의 많은 인지적 자원을 필요로 하는 단계로서 부가적인 과제를 수행할 인지적인 여력이 상대적으로 부족하다.

시각 단서들의 움직임은 광학 흐름(optical flow)이며 조종사의 주변시각(ambient vision)으로 처리되어 기체의 변화로 지각된다. 조종사는 중심시각(focal vision)으로 필요한 여러 비행계기들을 판단하고, 입력된 정보들을 통합하여 헬리콥터의 정위를 판단한다. 동시에 요구되는 비행 제원과 비교하여 지속적인 수정 작업을 해야만 안정적인 이륙을 할 수 있다. 이때 예상하지 못한 급격한 시정의 변화와 이로 인한 시각 단서의 상실은 놀람과 놀라움을 유발해 사고로 이어지게 할 수 있다.

더군다나, 2011년 2월 23일 제주 서부 선박, 2015년 3월 13일 가거도, 2019년 10월 31일 독도, 2022년 4월 8일 마라도 서부 등 주기적으로 야간 해상에서 일어나고 있는 헬리콥터 사고들은 무월광 조건에서 이륙하거나 접근 후 복행(go around)하는 과정에서 발생하였다. 헬기장으로부터 이격되면서 헬기장 광원에 의해서 지각되던 시각 단서들이 사라지는 시정의 변화가 조종사의 놀람과 놀라움을 유발해, 비행에 필요한 조종사의 정보처리와 수행에 악영향을 주어 요구되는 비행경로(flightpath)를 이탈하게 했을 가능성이 크다.

이러한 치명적인 위험성에도 불구하고, 신속한 대처가 필요한 상황에서 놀람과 놀라움의 영향을 완화하여 사고로 연결될 가능성을 감소시키기 위한 연구들은 거의 이루어지지 않았다. 기억술(mnemonic) 기반의 관리 기법들이 존재하기는 하나, 즉각적인 조치가 요구되는 순간의 위기 상황에 다단계 관리 기법을 적용하는 데에는 한계가 따른다.

이러한 맥락에서, 저시정 조건에서 사각형 패턴을 비행하는 조종사의 수행 능력에 자기 교시(self-instruction)가 긍정적인 영향을 미친다는 것을 검증한 연구(Kim, Kim and Li, 2023)는 시사하는 바가 크다. 실험에서 저시정 조건은 조종사의 불안을 유발하였고, 유발된 불안은 조종사의 비행 수행에 악영향을 주었다. 그러나, 자기 교시를 수행하는 조건에서는, 결

과적으로 조종사의 비행 수행에 긍정적인 영향을 미쳤다. 본 연구에서도 자기 교시가 이륙하는 헬리콥터 조종사의 수행에 긍정적인 영향을 미치는지를 검증하고자 한다. 특히, 놀람과 놀라움이 유발되는 야간 해상 사고 사례와 유사한 조건에서의 자기 교시는 조종사의 수행에 더욱 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

II. 본 론

2.1 이론적 배경

2.1.1 기존의 놀람과 놀라움 관리 기법

놀람과 놀라움 반응은 조종사의 의사결정 능력을 심각하게 저하시킬 수 있으므로, 문제 해결 절차에 들어가기 전에 이를 완화하는 것을 목표로 하는 다양한 기억술 기반의 절차들이 제시되었다. 이론으로 제시된 절차로는 Martin(2017)의 BAD(breathe-analyze-decide) 절차와 Field, Boland, Van Rooij, Mohrmann & Smeltink(2018)의 URP(unload-roll-power) 절차가 있다.

실제 시뮬레이터 실험을 통해 그 유용성을 검증한 연구로는 Landman, van Middelaar, Groen, van Paassen, Bronkhorst & Mulder(2020)의 COOL(calm down-observe-outline-lead) 절차와 Piras, Landman, van Paassen, Stroosma, Groen & Mulder(2023)의 ABC(aviate-breathe-check) 절차가 있다. 또, Vlaskamp, Landman, van Rooij & Blundell(2025a)은 조종사들을 대상으로 한 설문 조사를 통해 Reset Method의 운항 적용 경험과 유용성을 확인하였다.

Landman et al.(2020)이 제안한 COOL 절차는 즉각적인 위협이 없는 경우에만 적용할 수 있는 관리 기법이다. 이 절차는 심호흡을 통해 각성과 스트레스 반응을 완화하고(calm down), 비행 계기를 소리 내어 호창하며 상황을 관찰한 후(observe), 문제에 대한 가설을 세우고(outline), 행동 계획을 결정하여 실행(lead)하는 4단계로 구성된다.

24명의 비행기 조종사를 두 집단으로 나누어 시뮬레이터로 실험하였다. 먼저 두 집단 모두 친숙화 단계를 통해 표준 비행 장주(traffic pattern) 비행과 실속 비행 등을 숙지하였다.

이후 모든 참가자는 놀람과 놀라움에 대한 이론 교육을 받고 5개의 훈련 시나리오를 비행하였다. 이때 실험 집단은 COOL 절차 교육을 추가로 이수하고 훈련에 적

용하였다. 본 실험(posttest)은 예상하지 못한 비정상 상황을 포함한 4개의 시나리오로 구성되었으며, 실험집단은 상황 발생 시 COOL 절차를 수행하도록 지시받았다.

종속변인으로는 기체의 통제 불능 상태를 막아내는 즉각적 기체 조작(aviate), 문제의 원인 파악(diagnosis), 안전을 위해 실제 수행한 의사결정(decision-making) 능력을 측정하였다. 또한, 시나리오에 대한 주관적 평가(놀람, 놀라움, 불안, 정신적 노력)를 측정하였고, 실험집단을 대상으로 COOL 절차의 유용성을 설문하였다.

실험 결과, 원인 파악에서는 두 집단 간 차이가 없었으나, 의사결정에서는 실험집단이 통제집단보다 유의미하게 높은 성과를 보였다. 반면에 즉각적인 기체 조작에서는 오히려 통제집단이 더 높게 나타났다. 모든 주관적 평가에서는 두 집단 간의 차이가 통계적으로 유의미하지 않았으나, 실험집단에서 놀라움, 불안, 정신적 노력 수준이 더 높은 경향을 보였다. Landman et al.(2020)은 이러한 결과가 COOL 절차 수행에 따른 추가적인 작업 부하가 조종사의 주의를 분산시켰기 때문일 가능성으로 해석하며, 향후에는 즉각적인 기체 통제를 최우선 단계로 명시할 필요가 있다고 제안하였다. 실험집단 조종사들은 설문에서 COOL 절차가 전반적으로 유용했다고 긍정적으로 평가하였다.

Piras et al.(2023)이 제안한 ABC 절차는 기존 COOL 절차에서 추가된 작업 부하 문제를 개선하기 위한 관리 기법이다. 이 절차는 비행 경로가 안정화되었는지 우선적으로 확인하는 즉각적인 기체 조작 단계(aviate), 심호흡을 통해 생리적, 정신적 스트레스를 관리하는 단계(breathe), 계기 수치 호창 없이 상황 및 문제를 파악하는 단계(check)의 3단계로 구성된다.

전반적인 실험 절차는 Landman et al.(2020)의 연구와 유사하게 진행되었다. 본 실험은 예상하지 못한 비정상 상황을 포함한 2개의 시나리오로 구성되었으며, 실험집단은 시나리오에서 ABC 절차를 수행하도록 지시받았다.

종속변인으로는 각 시나리오별 의사결정 성과와 주관적 평가(놀람, 놀라움, 스트레스, 정신적 노력)를 측정하였으나, 두 집단 간 통계적으로 유의미한 차이는 발견되지 않았다. 다만 실험집단을 대상으로 한 절차의 유용성 평가 결과, 1개의 시나리오(이륙 중 화물 이동에 따른 무게중심 변화)에서만 이전 연구인 COOL 절차와 비교하여 유의미하게 더 높았다.

Vlaskamp et al.(2025a)은 reset method를 실제 비행 운항에 도입하여 훈련받은 항공사 조종사 239명을 대상으로 설문 조사를 실시하여 현장 적용 경험과 유용성을 분석하였다. 연구에서 위급한 상황에서 스트레스가 높을수록 관리 기법의 이점은 커지지만, 문제를 즉시 해결하려는 충동 때문에 관리 기법을 적용하는 것이 더 부자연스럽게 느껴진다는 가설인 놀람 역설(startle paradox)을 인식해야 한다고 주장하였다.

이 절차는 리셋 선언, 물리적 거리 두기(좌석에 몸 기대기), 심호흡, 근육 긴장 및 이완, 동료 조종사의 상태 확인이라는 5단계로 구성된다. 해당 절차가 포함된 비정상 전략(non-normal strategy, NNS)에 따르면, 위험을 막기 위한 자신 보호(예: 산소마스크 착용)와 기체의 비행 경로 통제(flightpath under control)라는 두 가지 선행 조건이 충족된 이후에만 리셋 절차를 수행하도록 규정하고 있다.

조사 결과, 응답자들은 전반적으로 이 기법이 유용하다고 평가하였다. 다만 8개의 비행 시나리오 중 조종성 문제(upse)나 비상 강하(emergency descent)와 같이 즉각적인 조치가 요구되는 불안정한 상황에서는 적용하기 어렵다고 평가하였다. 헬리콥터 조종사를 대상으로 한 설문 연구에서도 ABC 절차를 적용하는 데 장애 요인이 있다는 응답자 중 약 56%가 불충분한 시간, 약 22%가 기법을 적용할 수 있는 정신적인 자원 부족으로 보고하였다(Vlaskamp et al., 2025b).

종합하면, COOL, ABC, Reset Method 등 기존의 기억술 기반 관리 기법들은 시뮬레이터 실험 등의 사후 평가에서는 유용하다고 보고되었으나, 실제 긴급한 순간에는 적용하기 어렵다는 점이 확인되었다. 즉, 즉각적인 기체 통제(aviate)가 요구되는 긴박한 순간에 다단계의 인지 절차를 적용하는 것은 현실적으로 어렵다. 또한, Landman et al.(2020)의 연구에서 지적한 바와 같이, 이는 오히려 조종사의 작업 부하를 가중시키고 주의를 분산시킬 수 있다. 따라서, 긴급한 순간에는 비행에 필요한 조종사의 주의 통제 능력을 유지하고 기체 통제에 보다 직접적으로 적용할 수 있는 기법이 필요하다.

2.1.2 주의 시스템과 자기 교시

주의 시스템은 목표 지향(goal-directed) 시스템과 자극 주도(stimulus-driven) 시스템으로 이루어져 있다(Corbetta & Shulman, 2002). 주의 통제 이론

(Eysenck, Derakshan, Santos and Calvo, 2007)에 따르면, 불안이 주의 시스템의 균형을 깨트려 하위 시스템 중 자극 주도 시스템이 목표 지향 시스템보다 우선하게 만든다.

Kim et al.(2023)의 실험에서, 저시정 조건의 불안이 주의 시스템의 불균형을 초래하여, 비행에 필요한 조종사의 정보처리에 악영향을 주었고, 결과적으로 수행이 저하되게 되었다고 설명하였다. 반면에, 자기 교시는 자기 조절(self-regulation)의 한 가지 방법으로 목표 지향적 행동을 유도하여, 주의 시스템의 불균형을 완화시키고, 이로 인해 저시정 조건에서 비행하는 조종사의 수행에 긍정적인 영향을 미쳤다.

자기 교시는 인지적 모델링 단계, 외적 자기 안내 단계, 외적 자기 안내 감소 단계, 내적 자기 안내 단계로 구성된다(Meichenbaum, 1977). Kim et al.(2023)의 실험에서는 비행에 필요한 제원을 크게 외치는 외적 자기 안내 단계를 수행하게 하였다. 조종사는 사각형 비행 패턴의 구간별로 속도, 헤딩, 고도, 상승률, 선회율 중 3개의 비행 제원을 제시한 기준 이내에서 유지해야 하며, 실험에서는 비행 구간별로 참가자들이 유지해야 할 3개의 지정된 제원을 크게 외치게 하였다. 이로 인해 목표 지향적 행동이 유도되어 주의 시스템의 불균형이 완화되었고, 조종사의 정보처리와 비행 수행에 긍정적인 영향을 미쳤다고 설명하였다.

저시정 조건으로 유발된 불안은 주의 시스템의 균형을 깨뜨린다. 또한, 놀람과 놀라움도 주의 시스템에 영향을 미친다. 놀람과 놀라움은 극심한 스트레스를 유발하고(Landman et al., 2017), 스트레스는 자극 주도 주의력을 증가시키는 동시에 목표 지향 주의력을 손상시켜 조종사의 인지 및 운동 수행에 부정적 영향을 미친다(Dismukes, Goldsmith and Kochan, 2015).

특히, Kim et al.(2025)의 연구는 야간 해상 사고 사례와 유사한 이륙하는 과정의 실험이다. 이때에 유발된 놀람과 놀라움으로 인한 주의 시스템의 불균형과 더불어, 상승하는 과정에서 지속되는 저시정 조건도 역시 불안을 유발하여(Kim et al., 2023), 자극 주도 시스템을 더욱더 강화시키므로 주의 시스템의 불균형을 더 악화시킬 수 있다.

반면에, 이러한 조건에서의 자기 교시는 이륙하는 과정에서 지속적으로 목표 지향적 행동을 유도하여 주의 시스템의 불균형을 완화시킨다. 따라서, 조종사의 정보처리와 정위 판단 및 수행에 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

2.1.3 Landman 모델

Landman et al.(2017)은 놀람, 놀라움과 급성 스트레스에 관한 여러 문헌의 요소를 종합한 개념적 모델을 제시하고, 이 모델을 적용하여 항공 사고를 설명하였다.

모델에서 굵은 실선은 지각 주기에 따라 발생하는 사건들의 경로를 나타낸다. 점선은 잠재적인 영향 요인, 플러스(+)와 마이너스(-)의 기호는 영향의 증가와 감소, 이중선(=)은 임계값을 나타낸다(Fig. 1).

예를 들어, Landman et al.(2017)은 2009년 프랑스 항공 447편의 사고를 높은 스트레스 상황에서 잘못된 리플레이밍에 의한 사고로 설명하였다. 악천후를 회피하기 위한 기동으로 높은 스트레스가 있는 상황에서 실속 알림 시스템 해제에 대한 경고 지시, 신뢰할 수 없는 속도계의 지시, 의도하지 않은 자동비행 조종장치의 해제가 일어났다. 무엇보다도, 실속의 단서인 항공기의 진동과 실속에 대한 경고음은 없었다.

스트레스가 많은 상황에서 자동비행 조종장치의 갑작스러운 해제로 놀라움이 발생할 수도 있고, 해제 직후 강력한 항공기의 요동으로 놀람이 발생할 수도 있다. 스트레스가 많은 상황에서 놀람과 놀라움의 영향으로 스트레스가 더 증가하였고, 이로 인해 조종사는 실속 상황이 아닌 과속 상황으로 판단하여 잘못된 프레임 선택하였다. 과속 상황은 상대적으로 더 잘 알려져 있어 메모리에서 더 쉽게 검색되므로 조종사는 편향에 의하여 잘못된 리플레이밍을 하였고, 과속 상황에 대응하는 수정 조작으로 인하여 추락하였다고 설명하였다.

2.2 실험

본 연구는 선행연구인 Kim et al.(2025)의 “예상하

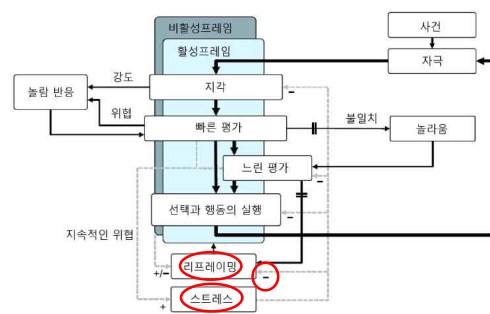


Fig. 1. Conceptual model of startle and surprise(Landman et al., 2017)

지 못한 급격한 시정의 변화가 이륙하는 헬리콥터 조종사에게 미치는 영향”의 야간 조건과 급격한 시정 변화가 일어나는 저시정 조건에서 자기 교시가 조종사에게 미치는 영향을 실험한 연구이다. 실험에서 예상하지 못한 급격한 시정의 변화는 인지적 위협 평가(cognitive threat appraisal)와 예기 불안(anticipatory anxiety)으로 인하여 놀람과 놀라움의 반응(startle and surprise response; SSR)이 강화되는 공포-강화 효과가 유발되었고, 특정 호르몬(CRH)의 가용성 부족으로 야간 조건에서 SSR이 강화되는 야간-강화 효과가 유발되었다. 본 실험에서도 선행연구의 실험 조건이 SSR을 유발할 것으로 가정하였다.

실제 비행 환경에서도 놀람과 놀라움 이 두 반응을 명확히 분리하기 어렵다. 예를 들어, 돌풍(gust)과 같은 급격한 외부 자극은 즉각적인 놀람 반응을 유발함과 동시에, 변화된 비행 조건에 대한 즉각적인 인지적 재평가 과정을 거쳐 놀라움 반응이 유발되고, 동시에 주관적으로 평가한 위협의 정도에 따라서 강력한 생리적 각성이 촉발될 수 있다.

Burki-Cohen(2010)은 동일한 사건이 조종사의 예측에 따라서 놀람 반응이나 놀라움 반응을 유발할 수 있다고 주장하였고, Chen et al.(2025)도 시뮬레이터 연구를 통해 설계된 놀람 자극이 놀람과 놀라움 반응을 광범위한 범위에서 동시에 유발하였음을 보여주었다. 또, 놀람과 놀라움 반응은 위협 부담이 큰 환경에서 동시에 발생하는 경우가 많으므로, 놀람과 놀라움을 독립적으로 유발시키는 것은 어렵다고 지적하였다. Diarra, Marchitto, Bressolle, Baccino, and Draï-Zerbib(2023)도 항공 분야의 실제 상황에서는 이 두 반응이 동시에 발생하는 것이 타당하다고 주장하였다.

SSR은 Diarra et al.(2023)의 제안과 Kim et al.(2025)의 연구처럼, 심박수와 심박변이도의 생리학적 측정, 놀람과 놀라움에 대한 감정가와 불안 점수에 대한 주관적 평가로 판단하였다. 본 연구에서도 자기 교시에 따른 SSR의 완화 여부를 생리적 반응과 심리적 평가로 판단하였다.

참가자들을 자기 교시를 수행하지 않는 집단과 자기 교시를 수행하는 집단으로 무작위로 구분하여 실험하였다. 실험을 시작하기 전에 참가자의 생리적 반응, 심리적 평가에 대한 기저선(base line)을 측정하였다. 왼쪽 전완에 착용한 압밴드로 심박수와 심박변이도를 측정하였고, 설문지를 사용하여 불안 정도와 놀람과 놀라

Table 1. Experimental design

연구설계	SSR 유발조건	비행과제	독립변인	종속변인
집단간 설계	어둠-강화 공포-강화	이륙	자기 교시 (수행, 미수행)	생리적 반응 심리적 평가 수행의 정도

음에 대한 주관적 감정가를 측정하였다.

실험하는 도중에 참가자의 생리적 반응을 심박수와 심박변이도로 측정하였고, 이륙 과제가 종료된 다음에 실험 도중에 느꼈던 불안 정도와 놀람과 놀라움에 대하여 설문하였다. 실험이 종료된 다음에 X-PLANE 11 프로그램에서 제공되는 데이터 셋을 사용하여 수행의 정도를 계산하였다. 수행의 정도는 이륙 조작을 시작하여 실험자가 제시하는 제원을 5초 이상 유지하기 시작한 시간까지의 구간을 수행 완료에 소요된 시간으로 판단하였다(Table 1).

2.2.1 실험 기구

실험은 Kim et al.(2025)의 연구의 놀람과 놀라움이 유발되는 조건에서 자기 교시의 수행 여부에 따라서 SSR과 수행의 정도를 측정하는 것으로 Kim et al.(2025)의 연구와 동일한 비행 기구, 생리학적 측정 기구, 심리학적 측정 도구, 비행 데이터를 사용하였다.

가상의 실험 환경은 비행 시뮬레이션 프로그램 X-Plane 11(Laminar research)의 헬리콥터(S-76)와 VR 헤드셋(Oculus Rift S)을 활용하여 구축하였다. 프로그램을 구동하기 위하여, 권장 사양을 충족하는 PC와 24인치 모니터를 사용하여 X-PLANE 11의 메뉴를 설정하고, 비행 중 기록되는 데이터와 참가자의 시야를 확인하였다. 조종간은 Logitech Flight G-940을 기반으로 하여 헬리콥터 조종간과 유사하도록 싸이클릭과 컬렉티브의 길이를 연장하였다. 싸이클릭에 있는 트림(trim) 버튼의 기능을 비활성화시켜, 조종간을 반드시 파지하도록 유도하였고, SSR에 의한 불수의적인 신체 반응이 조종간으로 입력되도록 하였다.

X-PLANE은 동일한 무선 네트워크에 연결된 경우, 아이패드용 응용프로그램인 Control Pad를 통해 항공기, 기상, 지도 등의 다양한 메뉴의 설정을 조절할 수 있다. 본 연구에서는 야간 조건을 구현하기 위해 시간 항목을 사용하였고, 고시정과 저시정 조건을 구현하기 위해 시정, 활주로 등화(RWY LIGHTS), 구름 등 세부



Fig. 2. Experimental configuration

항목들을 조절하였다(Fig. 2).

심박수(heart rate; HR)와 심박변이도(heart rate variability; HRV)는 참가자의 전완(forearm)에 SCOSCHE사의 앰밴드형 기기인 RYTHM24를 착용하게 하여, 실험자가 스마트폰 응용프로그램인 Elite HRV를 사용하여 측정하였다. 해당 기기는 스마트폰과 블루투스로 연동되며, 측정이 1분 이상 지속될 경우 심박수와 심박변이도가 자동으로 산출된다.

광혈류측정(PPG) 기반 측정 기기에서 발생할 수 있는 운동 아티팩트(motion artifacts)를 최소화하기 위해, 본 연구에서는 헬리콥터 조종간의 특성을 고려하여 기기의 착용 위치를 통제하였다. 비교적 지속적인 조작이 요구되는 오른쪽(cyclic) 대신, 팔꿈치를 지지축으로 간헐적으로 사용하여 상대적으로 움직임이 적고 부드러운 조작이 이루어지는 왼쪽(collective) 팔의 전완에 기기를 착용하도록 하였다.

본 기기에 탑재된 광학 센서(PerformTek®)는 높은 정확도와 일관성을 제공하는 것으로 임상적으로 입증되었고(GlobeNewswire, 2012). 이를 바탕으로 하여 해당 기기는 여러 연구에서도 활용되었다(Unni et al., 2021; Bounyong et al., 2023). Elite HRV 애플리케이션은 자체 신호 분석 알고리즘을 통해 미세한 운동 아티팩트 및 이소성 박동(ectopic beats)을 자동으로 식별하여 보정하는 기능을 가지며(Elite HRV, 2017), 실험에서도 15명의 참가자에게서 운동 아티팩트가 검출되었고, 검출된 운동 아티팩트는 보정되거나 제외되고 산출되었다.

심박변이도는 시간 영역과 주파수 영역으로 구분되어 분석된다. 시간 영역에서 심박수는 일반적으로 분당 박동 수(bpm)를 의미하며, 값이 낮을수록 안정된 상태를 나타낸다. MEAN RR과 RMSSD(root mean square of successive differences)는 특정 시점의 높은 지점(N 또는 R)을 기반으로 계산된다. N(R)과

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (RR_{i+1} - RR_i)^2}$$

$$RR_i = R_{i+1} - R_i \quad (i^{th} \text{ RRinterval})$$

Fig 3. RMSSD

N(R) 사이의 평균 간격인 MEAN RR은 값이 클수록 안정된 상태를 의미하며, RMSSD는 인접한 RR 간격 차이에 대한 평균 제곱 합의 제곱근으로 산출되며, 값이 높을수록 안정된 상태로 해석된다(Fig. 3).

주파수 영역 분석 과정에서는 측정된 심박 신호를 FFT(fast Fourier transform)와 같은 기법을 적용하여 저주파와 고주파 성분으로 분리한다. 이후 전체 주파수 영역의 강도(total power), 고주파 대역(0.15 ~ 0.4Hz)의 강도(HF power), 저주파 대역(0.04 ~ 0.15Hz)의 강도(LF power), 그리고, 두 대역의 비율(LF/HF ratio)이 산출된다. LF는 교감신경과 더 관련이 있고, LF/HF는 자율신경계의 균형을 나타내며, HF는 부교감신경을 반영한다.

Castaldo, Melillo, Bracale, Caserta, Triassi & Pecchi(2015)의 실험에서 급성 정신적 스트레스가 발생할 때에는 단기 심박변이도에서 시간 영역의 MEAN RR과 RMSSD는 감소하고, 주파수 영역의 HF 값은 감소, LF/HF는 증가하는 것으로 밝혀졌다.

심박변이도의 단기(short-term) 분석은 주로 5분 정도의 데이터를 활용해 왔으나, Castaldo, Montesinos, Melillo, James, and Pecchia(2019)는 초단기(ultra short-term) 분석의 적용 가능성을 검증하기 위해 5분, 3분, 2분, 1분, 30초 등 데이터 길이에 따른 일관성을 평가하였다. 그 결과, 1분 단위 데이터에서는 주파수 영역의 LF 분석이 제한되는 반면, MEAN RR, RMSSD, HF의 지표는 적용이 가능한 것으로 나타났다. 따라서, 본 실험에서는 약 1분 정도의 짧은 순간에 발생하는 생리적 변화의 측정이 요구되므로, 1분 단위 분석에 적용 가능한 HR의 증가 추세와 MEAN RR, RMSSD, HF의 감소 추세를 통해 SSR로 인한 급성 스트레스의 유발 여부를 판단하였다.

참가자들의 놀람과 놀라움에 대한 주관적 감정은 11점 리커트 척도를 통해 평가하였고, 불안 수준은 상태-특성 불안 척도(state-trait anxiety inventory, STAI) 설문지를 활용하여 측정하였다. STAI는 Spielberger(1970)가 개발한 자기보고식 검사로, 불안을 일시적인 정서 상태인 상태 불안과 비교적 안정된

성격 특성인 특성 불안으로 구분하여 개념화한다. 본 연구에서는 STAI 원본인 X형을 Kim(1978)이 번안한 한국어판 X형 중 상태 불안(state anxiety) 항목만을 사용하였다. 특정 스트레스 상황에서 순간적으로 발생하는 상태 불안은 '나는 불안하다', '나는 마음이 조마조마하다'와 같은 20개의 문항으로 측정되며, 이 중 10개는 역문항으로 구성되어 있다.

참가자들은 Likert 4점 척도(1점=전혀 그렇지 않다, 2점=가끔 그렇다, 3점=자주 그렇다, 4점=매우 그렇다)를 사용하여 응답하였고, 역문항은 반대로 환산되어 점수가 계산된다. 총점은 20점에서 80점 범위에 분포하며, 점수가 높을수록 불안 수준이 큰 것으로 해석된다.

비행 데이터는 시뮬레이터를 실행하면서 사용자의 선택에 따라 화면에 실시간으로 표시되게 하거나, 동시에 텍스트 형식으로 저장될 수 있다. 저장 가능한 항목에는 시간, 항공기의 위치, 조종 간의 위치, 항공기에 작용하는 힘, 비행계기 지시 값 등이 포함된다. 본 연구에서는 시간, 고도, 속도, 상승률, 헤딩, 자세계의 pitch, 싸이클릭의 기울기 각도(pitch, roll)를 약 0.025초 간격의 최대 샘플링 비율로 저장하였다.

2.2.2 참가자

본 연구의 참가자는 000 항공대 소속 남성 조종사 20명(M=52.30, SD=3.21)으로 구성되었고, 실험은 통제된 환경에서 진행되었다. 모든 참가자는 현직 조종사로서 유효한 1종 항공 신체검사증명을 소지하고 있었으며, 사업용 또는 운송용 조종사 자격과 계기비행 증명을 갖추고 있었다. 또한, 최소 1,000시간 이상의 기장 경험을 가지고 있었다. 참가자의 비행 경력은 평균 실 비행시간 4,480시간(SD=1424.08), 계기비행시간 279시간(SD=176.87), 모의비행시간 250시간(SD=139.01)으로 나타났다. 경험한 모의비행장치의 종류는 평균 4.95개(SD=1.96)였다. 모든 실험 절차가 종료된 후, 참가자들에게는 소정의 참가비(10,000원)가 지급되었다.

2.2.3 연습절차

참가자의 기저선을 먼저 측정한 다음에, 인구통계학적 정보와 비행과 관련된 정보 들을 간단하게 설문하였다. 실험 목적은 이륙 과정에서의 조종사 작업부하 측정이라고 설명하였고, 비행 과제는 제자리 비행으로부터 이륙하는 과제라고 설명하였다.

참가자들을 좌석에 앉게 하였고, 비행에 필요한 조종간들의 변위가 참가자들의 신체에 맞도록 조종간들을 배치하였다. HMD(head mounted display)도 자신에게 맞도록 착용시킨 후, HMD로 바라보는 조종석의 위치가 참가자의 시야에 맞도록 실험자가 키보드로 조종석의 높이, 계기판과의 거리 등을 조절하였고, 필요한 비행계기들을 설명하였다.

비행 연습은 주간 조건과 기상이 양호한 고시정 조건에서 실시하였다. 참가자들을 제자리에서 수직으로 상승하여 약 20ft 고도를 통과한 다음에 이륙하는 조작을 시작하게 하였다. 이륙하는 방법은 헬리콥터의 헤딩을 유지하면서, 회전면을 앞으로 기울여 기수를 숙이고(pitch down) 동력을 사용하여 속도와 고도를 증가시켜서 직진 상승 비行的 목표 제원에 도달한 다음에 일정한 시간 동안 유지하는 것이다. 목표 제원으로 헤딩은 이륙 당시와 동일한 헤딩, 속도는 60 kts, 상승률은 1,000 fpm을 제시하였다.

이륙하는 과정에서 항공역학적인 힘이 발생하여 헬리콥터의 자세 변화가 일어난다. 이때에 지속적으로 대응하여 조종간으로 이륙 자세를 유지하는 수정 조작을 계속해야만 안정된 이륙을 할 수 있다(Fig. 4).

자기 교시를 수행하는 집단은 비행 연습 단계부터 속도, 방위각, 헤딩 등의 목표 제원을 지속적으로 호칭하는 외현적 자기 안내를 수행하게 하였다. 예를 들어, 이륙 헤딩이 300°이면, 실험자는 속도 60 kts, 상승률 1,000 fpm, 헤딩 300°을 제시하였고, 참가자는 이륙 조작과 동시에 자기 교시를 수행하였다. 참가자는 ‘속

도 60°을 외치면서 속도계, 자세계, 동력계기 등을 판독하고 조종간을 사용하여 수정 조작을 하였다. 또, ‘상승률 1,000°을 외치면서 승강계, 속도계, 동력계기 등을 판독하여 수정 조작을 하였고, ‘헤딩 300°을 외치면서 방향지시기 등을 판독하고 수정 조작을 하였다.

실험자가 제시한 목표 제원인 $300 \pm 10^\circ$, 속도 60 ± 10 kts, 상승률 $1,000 \pm 200$ fpm의 범위 내에서 5초 이상 안정되게 유지하면 이륙 과제 1회를 완료한 것으로 판단하였다. 1회의 연습이 끝나면 HMD를 해제시키고, 실험자가 키보드를 사용하여 처음의 헬리패드로 위치시켜 다시 시작하게 하였고, 총 5회의 연습을 수행하게 하였다.

2.2.4 실험절차

실험은 일몰시간 이후에 야간 조건에서 실시하였고, 연습 절차와는 다른 헬기장으로 설정하였다. 참가자들을 자기 교시의 수행 여부에 따라 무작위로 구분하여 1회만 수행하게 하였다. 비행 연습과 동일하게 고시정 조건에서 시작하였고, 제자리에서 수직으로 상승하여 약 20ft 고도를 통과한 다음에 이륙하는 조작을 하게 하였다. 약 20ft 고도에 도달할 때에 아이패드의 응용프로그램으로 저시정 조건을 만들고 시작 시간을 기록하였으며, 심박수와 심박변이도를 약 1분간 측정하였다.

저시정 조건에서 시정은 160m로 제한하였고, 구름은 전 하늘을 뒤덮은 상태(overcast)로, 구름의 낮은 부분의 높이는 0ft로 조정하여 참가자들이 시각적 단서를 제한적으로만 인지할 수 있도록 하였다. 또, 헬기장 주변을 표시하는 등화의 밝기도 감소시켜 시정의 변화가 구현되도록 하였다(Fig. 5).

참가자들은 제자리 비행으로부터 이륙하여 120초 안에 목표 제원에 도달하여 모든 제원을 5초 이상 유지하는 과제를 수행하였으며, 자기 교시를 하는 집단은 자기 교시를 수행하였다. 자기 교시를 수행하는 집단 중에서 추락한 참가자에 대해서는 1회 더 이륙 과제를 수행하게 하였다.

과제 수행이 완료되거나 120초가 지난 다음에는 실험자가 키보드 등을 사용하며 실험을 중단시켰다. 그런 다음에는 HMD를 해제시키고, 이륙 과제를 수행하는 도중에 참가자가 느꼈던 불안 정도와 놀람과 놀라움에 대한 감정에 대하여 설문하였다.

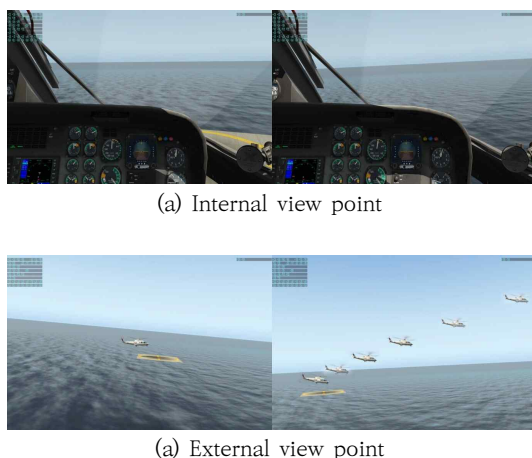


Fig. 4. Practice scenes from different view points(Xplane 11 captured) added



(a) Daytime equivalent of the nighttime experimental scenario



(b) High visibility (c) Low visibility

Fig. 5. Experimental scenes (Xplane 11 captured)

2.2.5 실험결과

JAMOV version 2.7.38.0을 사용하여 자기 교시의 수행 여부에 따라 집단별로 구분되어 측정된 심박수, RMSSD, MEAN RR, HF, 감정가, 불안 점수, 수행 완료 소요 시간에 대하여 다변량 분산분석(MANOVA)을 실시하였다. 심박수, RMSSD, MEAN RR, HF, 감정가, 불안 점수는 기저선과의 차이를 사용하였다. 주파수 영역 지표인 HF는 생리 데이터 특성상 편차가 크므로, 기저선 및 실험 측정치에 각각 자연로그(ln)를 취한 후 그 차이값($\ln(\text{실험치}) - \ln(\text{기저선})$)을 사용하였다.

수행 완료 소요 시간은 비행 데이터를 사용하여 계산하였다. 이륙 조작을 시작하여 헬리콥터의 기수

(pitch)가 0도 이하로 기울어진 시간과 지시한 제원을 5초 이상 유지한 시간의 시작 시간까지의 차이로 계산하였고, 120초 안에 수행을 완료하지 못한 경우에는 120초로 계산하였다.

자기 교시를 하는 조건의 참가자 1명이 자기 교시를 수행하지 않은 상태에서 이륙 과제를 수행하면서 1분 이상을 비행하지 못하고 추락하였다. 생리적 측정이 불가능하였고, 연습 절차에서 자기 교시를 수행하여 다른 집단과도 다른 조건이므로, 불안과 주관적 감정가도 측정하지 않았다. 또한, 추가 수행에서 측정된 데이터는 참가자가 급격한 시정의 변화를 예측하였다고 판단되어 분석에는 포함하지 않았다. 자기 교시를 하지 않는 조건의 참가자 10명과 자기 교시를 하는 조건의 참가자 9명의 데이터를 분석하였다.

사용된 모든 데이터는 |왜도|<1.77, |첨도|<3.82로 정규성 검정을 만족하였다(Kline, 2005). 자기 교시 수행 여부에 따른 7개의 종속변인 간의 다중공선성 문제를 통제하기 위하여, 피어슨 상관계수가 .90 이상으로 높게 나타난 지표들(MEAN RR, RMSSD)을 제외하고 5개의 종속변인만을 투입하여 다변량 분산분석을 수행하였다. 분석 결과, 집단 간 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(Wilks' $\Lambda = .211$, $F(5, 13) = 9.69$, $p < .001$). 따라서, 개별 변인 수준에서의 구체적인 차이와 생리학적 특성을 포괄적으로 검토하기 위하여, 7개의 모든 종속변인 각각에 대하여 독립표본 t -검정을 수행하였다. 종속변인 중 심박수(HR)는 Levene의 등분산 검정 결과, 등분산 가정을 위반하여 Welch의 보정(Welch's correction)을 적용한 통계치를 사용하였다(Table 2).

Table 2. Independent samples t -test results

종속변인	WITH OUT (n=10)	WITH S.I. (n=9)	t	df	$p^{b)}$	95% CI	Cohen's d	$1-\beta$ (post-hoc power)
	$M(SD)$	$M(SD)$						
HR ^{a)}	23.80(12.30)	6.11(6.09)	4.03**	13.45	.001	[8.24, 27.14]	1.82	0.97
RMSSD	-18.86(20.45)	11.79(22.81)	-3.09**	17	.007	[-51.58, -9.72]	-1.42	0.85
MEAN RR	-233.71(99.08)	-72.46(72.59)	-4.01**	17	<.001	[-246.18, -76.31]	-1.84	0.97
lnHF	-1.69(1.30)	0.29(1.12)	-3.53**	17	.003	[-3.15, -0.80]	-1.62	0.92
감정가	5.70(2.54)	2.89(1.54)	2.88*	17	.011	[0.75, 4.87]	1.32	0.79
불안점수	20.50(12.39)	9.67(9.15)	2.15*	17	.047	[0.18, 21.49]	0.99	0.53
소요시간	96.54(35.77)	47.64(22.76)	3.51**	17	.003	[19.48, 78.32]	1.61	0.92

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

a) Welch's correction 적용.

b) Holm-Bonferroni 보정 후 $p = .006, .021, .0007, .015, .022, .047, .015$.

HR에서는 자기 교시를 하지 않는 조건($M=23.80$, $SD=12.30$)보다 자기 교시를 하는 조건($M=6.11$, $SD=6.09$)이 17.69회 만큼 적었으며 통계적으로 유의하였다($t(13.45)=4.03$, $p<.01$).

RMSSD에서는 자기 교시를 하지 않는 조건($M=18.86$, $SD=20.45$)보다 자기 교시를 하는 조건($M=11.79$, $SD=22.81$)이 30.65만큼 높았으며 통계적으로 유의하였다($t(17)=-3.09$, $p<.01$)(Fig. 6).

MEAN RR에서는 자기 교시를 하지 않는 조건($M=233.71$, $SD=99.08$)보다 자기 교시를 하는 조건($M=72.46$, $SD=72.59$)이 161.25만큼 높았으며 통계적으로 유의하였다($t(17)=-4.01$, $p<.001$). HF에서는 자기 교시를 하지 않는 조건($M=555.17$, $SD=516.02$)보다 자기 교시를 하는 조건($M=212.20$, $SD=926.32$)이 767.37 만큼 높았으며 통계적으로 유의하였다($t(17)=-2.26$, $p<.01$)(Fig. 7).

감정가에서는 자기 교시를 하지 않는 조건($M=5.70$, $SD=2.54$)보다 자기 교시를 하는 조건($M=2.89$, $SD=1.54$)이 2.81만큼 낮았으며 통계적으로 유의하였다

($t(17)=2.87$, $p<.05$). 불안 점수에서는 자기 교시를 하지 않는 조건($M=20.50$, $SD=12.39$)보다 자기 교시를 하는 조건($M=9.67$, $SD=9.15$)이 10.83점 만큼 낮았으며 통계적으로 유의하였다($t(17)=2.15$, $p<.05$)(Fig. 8).

수행 완료 소요 시간에서는 자기 교시를 하지 않는 조건($M=96.54$, $SD=35.77$)보다 자기 교시를 하는 조건($M=47.64$, $SD=22.76$)이 48.90초 만큼 작았으며 통계적으로 유의하였다($t(17)=3.51$, $p<.01$)(Fig. 9).

추가적으로, 자기 교시를 미수행으로 조기 추락하여 본 분석에서 제외되었던 참가자 1명의 데이터를 수행 완료 소요 시간 상한값인 120초로 포함하여, 민감도 분석(sensitivity analysis)을 실시하였다. 그 결과, 자기 교시를 하지 않는 조건($M=96.54$, $SD=35.77$)보다 자기 교시를 하는 조건($M=54.87$, $SD=31.37$)이 41.67초 만큼 작았으며 통계적으로 유의하였다($t(18)=2.77$, $p<.05$) (Table 3).

2.3 연구결과 요약 및 논의

본 연구의 목적은 예상하지 못한 급격한 시정의 변

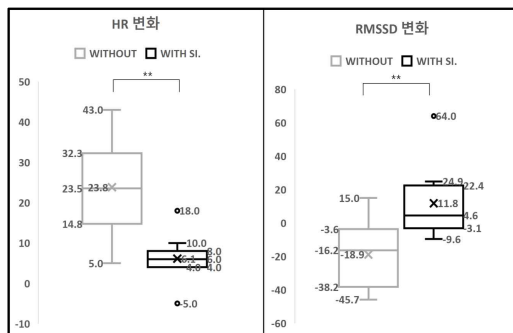


Fig. 6. The HR and RMSSD results under both conditions(without and with SI.)

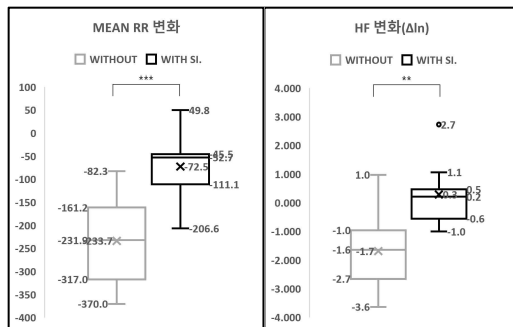


Fig. 7. The mean RR and HF results under both conditions

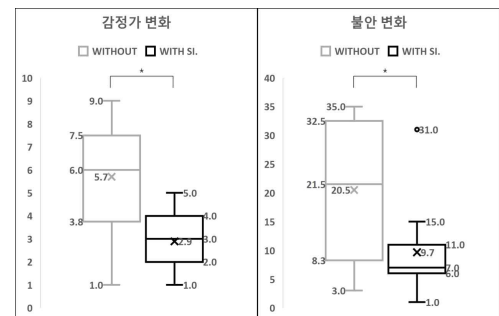


Fig. 8. The emotional valence and anxiety points results under both conditions

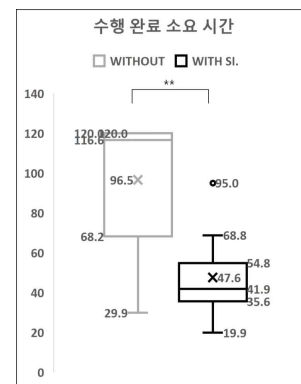


Fig. 9. The task completion time under both conditions

Table 3. The take off task result

구분	WITH OUT S.I. (N=10, M=97)	WITH S.I. (N=10, M=54.87)
1	120.00a)	19.94
2	107.14	44.95
3	113.21	94.98
4	29.90	41.89
5	120.00 ^{b)}	27.87
6	120.00 ^{b)}	35.65
7	78.74	68.77
8	120.00 ^{b)}	120 ^{c)} /22.52 ^{d)}
9	36.41	39.83
10	120.00 ^{a)}	54.85

a) 헤딩기억 실패, b) 시간 초과, c) 추락, 자기 교시 미수행, d) 예측한 상태에서 자기 교시 수행.

화로 인하여 SSR이 유발되어 수행이 저하되는 조건에서, 자기 교시가 이륙하는 조종사의 수행에 긍정적인 영향을 미치는지를 검증하는 것이다. Kim et al.(2023)은 비교적 안정적인 사각형 장주 비행을 수행하는 조건과 시정의 변화가 발생되지 않는 주간 저시정 조건에서 실험하였다. 참가자들을 직진 상승, 상승 선회, 수평 선회, 직진 수평 비행과제를 수행하게 하였고, 제시된 비행 제원이 유지되는 순간부터 20초 동안 0.02초 간격으로 비행 데이터를 샘플링하였다. 비행 제원이 이탈되는 에러의 개수로 수행도를 평가하였고 심박수와 상태-특성 불안 척도 설문지로 불안의 정도를 측정하였다. 실험 결과 자기 교시를 수행하는 조건에서 불안이 감소하였고 수행도가 더 높았다.

반면, 본 연구는 불안정한 야간 제자리 비행 상태에서 직진 상승 비행으로 이륙하는 고부하 조건과 예상하지 못한 급격한 시정의 변화가 발생하는 조건에서의 실험이다. 또한, 이륙하는 과정은 이미 발생된 급성 스트레스가 더 증가될 수 있는 저시정 조건이며, 이 조건들에서 사고가 유발될 가능성이 비교적 높으므로, 수행의 증가가 필요한 조건이다. 수행도는 이륙 과제를 완료하여 안정적으로 비행하는데 필요한 시간으로 평가하였고, 불안 정도와 놀람과 놀라움에 대한 감정가와 심박변이도로 SSR을 평가하였다.

실험 결과 자기 교시를 수행한 집단에서 SSR이 더

작았고, 수행을 완료하는데 걸리는 소요 시간도 더 짧았다. 자기 교시를 수행하지 않는 집단보다 수행한 집단에서 심박수의 증가가 더 작았고, RMSSD, MEAN RR, HF의 감소도 더 작았다. 또한, 불안의 증가와 놀람과 놀라움에 대한 감정가의 증가도 더 작았다. 또, 수행을 완료하는데 걸리는 소요 시간도 자기 교시를 수행하지 않는 집단보다 더 짧았다.

이와 같은 결과는 제자리 비행 단계를 거쳐서 이륙하는 과정에서 갑작스러운 저시정 조건으로의 변화가 SSR을 유발하더라도, 자기 교시를 수행하는 조건에서 자기 조절 과정이 일어났으며, 이로 인해 급성 스트레스의 발생을 의미하는 심박수의 증가와 RMSSD, MEAN RR, HF의 감소를 완화시켰고, 놀람과 놀라움에 대한 감정가와 불안의 증가를 완화시켰음을 시사한다.

또한, SSR에 의하여 자극 주도 시스템이 강화되어 주의 시스템의 균형이 깨지는 조건에서, 자기 교시가 목표 지향적 행동을 유도하여 주의 시스템의 불균형을 완화하였고, 이로 인해 저하된 조종사의 정보처리와 수행에 긍정적인 영향을 미쳤음을 의미한다.

자기 교시를 수행하지 않은 집단의 조종사 10명 중에 5명이 정확한 수행을 하지 못했다. 3명의 조종사는 주어진 시간 동안 이륙 제원을 완성하지 못했고, 2명의 조종사는 안정적인 비행을 하였으나, 이륙할 당시의 헤딩을 기억하지 못하고 다른 방향으로 비행하였다. 이러한 결과들은 예상하지 못한 놀람 자극과 예상하지 못한 상황을 독립변인으로 한 Martin, Murray, Bates. & Lee(2016)와 Kinney & O'Hare(2020)의 실험 결과와도 유사하다. 반면에 자기 교시를 수행하는 집단의 조종사 10명 중에 9명이 수행을 완료하였으며, 단 1명의 조종사만이 자기 교시를 제대로 수행하지 않고 이륙하다가 추락하였다(Table 3).

헤딩을 기억하지 못한 2명의 조종사는 SSR의 영향으로 단기적인 기억상실이 일어났거나, 작업기억 용량이 감소하여 수행을 위한 정보처리를 하는 도중에 기억에서 사라졌다고 설명할 수 있으며, 종료할 때까지 알아차리지 못했다. 이는 레이저 조명 같은 시각적 자극에 의한 방향 감각 상실과 유사하며(Nakagawara, Montgomery, Dillard, McLin and Connor, 2004), 만약 장애물에 대한 이격이 안정적으로 확보되지 않는 방향으로 진행하게 된다면 치명적일 수 있다. 또, 이륙할 당시의 방향과 다르다는 사실을 인지하고 있다면 방향을 잊었다는 불안감이 추가되어 수행에도 악영향

을 주게 된다.

수행을 완료하지 못한 3명의 조종사에 대해서는 급성 스트레스와 불안의 영향으로 자극 주도 시스템이 강화되어 불필요한 정보에 주의를 빼졌다고 설명할 수 있다. 또한, 스트레스는 지각 영역을 좁게 만들고 고도, 속도, 방향, 상승률, 자세, 동력 등 단서에 대한 샘플링마저 제한하게 하므로(Bacon, 1974), 빠른 순간에 변화하는 정보에 대한 정상적인 획득이 어려워지고 이에 따라 이해하고 분석하기가 어려워졌으며, 불충분한 분석과 더불어 작업기억 용량이 감소되어(Baddeley, 1972), 헬리콥터의 현재 정위에 대한 판단, 진행 상태에 대한 예측, 요구되는 비행 제원과 일치시키기 위한 조종 입력의 판단과 수행이 어려웠다고 설명할 수 있다.

과제를 수행하는 과정에서 놀라움과 놀라움에 의한 신체의 반응은 의도하지 않은 조종간의 움직임을 만들 수 있으며(Kim et al., 2005), 이로 인해 수행에도 악영향을 줄 수 있다. 또, 인지적 반응은 놀라움과 놀라움을 유발한 원인에 대하여 주의를 지향하게 만든다(Bradley, 2009). 이러한 불수의적인 반응은 시각 단서를 찾으려는 조종사의 수의적인 노력에 상충하여 조종사의 정보처리와 수행을 저하시킨다.

갑작스럽게 저시정 조건에 조우한다면 조종사는 의도적으로 즉시 계기비행 방식으로 전환하여 외부의 시각 단서를 사용하지 않고, 항공기 내부의 계기만을 사용하여 이륙하여야 한다. 그러나, SSR에 의하여 유발되는, 원인에 대하여 주의를 지향하게 만드는 반응과 원인과 관련 없는 단서에 대한 지향을 제한하는 반응(Lynn, 1966) 들은 조종사의 의도와 상충되어 계기비행의 수행도 저하시킬 수 있다.

또한, 시계비행 방식에서 계기비행 방식으로의 전환에도 어려움을 겪을 수 있다. SSR에 의해서 유발된 급성 스트레스는 자극 주도 주의력을 강화시킨다. 또, 스트레스는 의사 결정 과정에 영향을 주어 저시정 조건에서 일시적으로 지각되는 외부의 시각 단서와 이와 일치하는 선호하는 옵션, 판단 장애 등에 의해서 현재의 시계비행 방식을 지속하려는 고집(perseveration)을 만들 수 있다(Flin, Salas, Strub and Martin, 1997). 이는 현재의 시계비행 방식을 유지하게 하여, 시계비행에 필요한 다른 시각 단서를 계속 찾게 만든다. 그러나, 지각할 수 없는 시각 단서의 탐색은 반복될수록 충돌 위험에 대한 불안과 스트레스를 더 증가시키고, 이는 자극주도 주의력의 강화와 고집에 정적인

영향을 준다. 이로 인해 시계비행 방식을 지속하게 하는 악순환을 만든다.

반면에, 자기 교시를 수행한 집단의 조종사들은 모두 요구하는 비행 과제를 완료하였으며 완료한 시간에서도 유의미한 차이가 있었다. 이는 의도적으로 자기 교시를 수행하여 목표에 대한 주의와 행동을 조절하는 자기 조절 과정이 일어났다고 설명할 수 있다. 이에 따라 심박수의 증가가 완화되고 심박변이도의 감소가 완화되는 생리적인 반응과 감정가와 불안의 증가가 완화되는 심리적 반응이 일어났음을 의미한다.

이륙하는 과정에서 놀라움과 놀람의 반응으로 원인에 대하여 순간적으로 주의를 지향되어 현재 항공기 정위에 대한 인식을 유지하지 못할 수 있다. 그러나, 자기 교시를 수행한 조종사는 비행에 필요한 목표 제원을 외쳐서 놀람 또는 놀라움의 근원에 대한 주의의 지향을 억제시키고, 필요한 비행계기에 선택적으로 주의를 향하게 하였다. 비행계기의 현재 상태와 증감 정도를 상향 처리하여 현재 헬리콥터의 정위를 판단하고 진행 상태를 예측하였다. 그런 다음에 요구되는 비행 제원과의 차이를 판단하여 조종사의 정신 모델에 기반하여 항공기를 조종하였다고 설명할 수 있다.

급성 스트레스를 겪은 직후에 지속되는 저시정 조건에서도 주의를 빼앗는 현저한 방해 자극들이 기체 내 외부에 많이 생겨난다. 그럼에도 불구하고 자기 교시가 목표 지향적 행동과 자기 조절을 통해 비교적 안정적인 정보처리와 조종을 계속하게 하였다.

항공역학적인 힘이 발생하는 구간에 대한 대처가 이루어지고 비교적 안정적으로 상승한다면, 조종사는 안도감을 느끼고 충돌 위험에 대한 불안과 스트레스의 감소가 일어난다. 이로 인하여 강화된 자극 주도 주의력이 완화되면서, 주의 시스템의 균형이 조금씩 회복되고 수행이 다시 증가하는 선순환이 이루어졌다고 설명할 수 있다.

자기 교시를 하는 집단에 포함된 1명의 조종사는 저시정 조건에서 자기 교시를 제대로 수행하지 않아서 이륙 조작과 동시에 추락하였다. 첫 번째 시도에서는 SSR에 영향을 받았다고 설명할 수 있다. 두 번째 시도에서는 자기 교시를 제대로 수행하여 이륙하였으며, 20명의 참가자 중 두 번째의 짧은 수행 완료 시간을 기록하였다. 이 결과는 자기 교시의 수행도 단순히 기법을 아는 수준을 넘어 높은 수준의 훈련이 필요하다는 의미이며, 또한 급격한 시정의 변화를 예측한 상태

의 비행계기가 된다.

예상하지 못한 급격한 저시정 조건의 조우는 시각 단서의 부재로 지각되어 놀람 반응을 일으키고, 곧 이어지는 빠른 평가에서 주변의 장애물과의 충돌 위험을 느끼게 하여 더 강화된 놀람 반응을 일으켜 스트레스를 증가시킨다. 또한, 빠른 평가 이후 예상하지 못한 저시정 조건의 조우로 인하여 활성 프레임의 조건과 다르다는 놀라움을 일으키고 이는 느린 평가를 하게 한다. 느린 평가에서 시계비행 방식의 조건이 아님을 깨닫게 하여 스트레스를 증가시킨다.

놀람과 놀라움에 의해 증가된 스트레스는 자극 주도 주의력의 증가와 하향 처리 주의력의 손상, 생리적 각성 또는 수행의 경직 등을 일으켜 지각 주기에 전반적인 영향을 미친다. 또, 스트레스는 분석기술을 직관적으로 판단하게 하여 느린 평가에 부정적인 영향을 주어 일시적으로 지각되는 시각 단서에 대하여 시계비행 기상 상태라는 확증편향을 갖게 하고, 착륙 전의 시계비행 기상 상태와 환자 탑승 등을 위하여 조명 효과 속에서 대기하면서 지각하였던 시각 단서들을 떠올리게 하여 잘못된 시계비행 방식의 프레임을 계속 적용하게 한다. 또, 스트레스는 고집의 효과로 리플레이밍에 영향을 주어 현재의 활성 프레임인 시계비행 방식을 지속하게 만든다.

계기비행 방식으로 리플레이밍을 하지 못했을 경우에는 현재 상황에 대하여 지각, 평가 및 행동을 안내할 프레임이 없기 때문에 예측적이고 능동적인 하향식 제어 대신에 반응적이고 순차적인 상향식 제어가 되어, 항공역학적 현상이 일어나는 중요한 순간에 충분히 대처하지 못할 수 있다. 또한, 계기비행 기상 상태이나 시계비행 방식의 활성 프레임은 현재 상황에 대한 파악력을 상실(lost grip)하게 하고, 반복되는 지각 주기에서 시각 단서의 부재를 계속 지각하게 하여 충돌 위험에 대한 공포와 스트레스를 계속 증가시켜 리플레이밍을 방해하는 악순환에 빠지게 한다.

반면 자기 교시는 지각 주기의 선택과 행동의 실행 단계에서 의도적으로 비행계기만을 지각하도록 유도한다. 따라서, 예상치 못한 시각 단서의 상실로 유발되는 놀람, 놀라움 및 스트레스의 증가를 완화시키며, 결과적으로 조종사가 시계비행 방식의 활성 프레임을 계기비행 방식으로 전환하는 것을 비교적 쉽게 만든다.

계기비행 방식의 활성 프레임에서 자기 교시는 지각 주기 내에서 안정적으로 비행계기를 지각하도록 유도

하여, 놀람과 놀라움의 유발 및 스트레스의 증가를 완화시킨다. 따라서, 스트레스로 인해 자극 주도 주의력이 강화되는 것을 방지하게 되며, 조종사는 균형된 주의 시스템을 통해 안정적인 정보처리와 비행을 지속할 수 있게 된다.

III. 결 론

본 연구는 야간 제자리 비행으로부터 이륙하는 과정에서 예상하지 못한 급격한 시정의 변화로 인해 유발되는 조종사의 놀람과 놀라움의 반응을 검증하였다. 또한, 이러한 상황에서 자기 교시가 자기 조절 과정을 거쳐서 조종사의 놀람과 놀라움의 반응을 완화시키고, 수행에 긍정적인 영향을 미치는 것을 검증하였다. 연구의 주요 결과를 바탕으로 도출된 결론은 다음과 같다.

첫째, 예상하지 못한 저시정 조건의 조우는 조종사의 심박수(HR)의 증가와 심박변이도(RMSSD, MEAN RR, HF)의 감소 등 급성 스트레스 반응을 수반한 놀람과 놀라움을 유발하였다. 이러한 반응은 자극 주도 시스템을 강화시켜 주의 시스템의 균형을 깨트렸고, 지속되는 저시정 조건은 주의 시스템의 불균형을 더 악화시켜, 비행에 필요한 조종사의 정보처리를 방해하여 수행을 저하시켰다.

둘째, 자기 교시는 이러한 놀람과 놀라움의 부정적인 영향을 완화시켰다. 자기 교시를 수행한 집단에서는 자기 조절 과정을 거쳐서 놀람과 놀라움의 반응이 생리학적, 심리학적으로 완화되었고, 이륙 과정의 수행 완료 소요 시간도 단축되었다. 이는 자기 교시가 목표 지향적 행동을 유도하여 놀람과 놀라움으로 유발된 급성 스트레스와 지속적으로 이어지는 저시정 조건의 스트레스 상황에서도, 주의 시스템의 균형을 회복시켜, 비교적 안정적인 수행을 가능하게 하였음을 시사한다.

셋째, Landman et al.(2017)의 모델로 조종사가 이륙하는 과정을 사후적으로 분석하였다. 시계비행 방식의 활성 프레임을 계기비행 방식으로 리플레이밍을 하지 못했을 때에는, 지각 주기에서 저시정 조건이 지속적인 위협으로 작용하게 되어, 스트레스를 증가시키고 리플레이밍을 방해한다. 이로 인해, 시계비행 방식의 활성 프레임이 저시정 조건을 반복하여 지각하게 만들고, 스트레스를 증가시키는 악순환이 지속된다. 반면에, 자기 교시의 목표 지향적 행동은 지각 주기의 저시정 자극을 차단하여, 계기비행 방식으로의 리플레이

밍을 비교적 쉽게 만들어, 저시정 조건에 부합하는 활성 프레임으로 안정적인 비행을 할 수 있게 만드는 것으로 추론해 볼 수 있다.

종합하면, 본 연구는 예상하지 못한 급격한 시정의 변화로 놀람과 놀라움이 유발되는 이륙 과정에서, 이로 인한 부정적인 영향을 자기 교시가 완화시키고 조종사의 수행에 긍정적인 영향을 미치는 것을 검증하였다. 특히, 이 조건은 과거 야간 무월광의 해상에서 주기적으로 발생하였던 실제 헬리콥터 사고 조건과 유사하며, 자기 교시가 조종사의 수행도를 높여 사고 발생 가능성을 감소시키는 실질적인 대책이 될 수 있음을 시사한다. 따라서, 이러한 조건뿐만 아니라, 스트레스 등으로 주의 시스템의 불균형이 예상되는 비정상 상황의 대응 훈련에서는, 조종사의 조종 기술의 숙달뿐만 아니라 자기 교시와 같은 자기 조절 훈련도 반드시 병행되어야 할 것이다.

실험에서는 참가자의 자기 교시 수행 여부를 확인하기 위하여 외현적 자기 안내 단계를 수행하도록 하였다. 만약 자기 교시가 훈련되어 있다면 상황에 따라서 말에 의한 지시를 전혀 하지 않는 내적 자기 안내를 통해 목표 지향적 행동을 지속할 수도 있으며, 엔진 고장 등의 비상상황인 경우에는 항공기의 조종을 최우선으로 해야 하므로 외현적 자기 안내 단계를 수행할 수도 있다.

또, 참가자들이 내부의 비행계기와 외부의 시각 단서들을 획득하는 과정에서 목표 지향 시스템에 의해 작동되는 중심시각의 사용 여부를 확인할 수 없었다. 또한, 놀람과 놀라움이 유발되는 조건에서 자극 주도 시스템이 강화되어 중심시각의 사용이 방해되는지의 여부와 자기 교시 조건에서 자기 교시와 일치되는 중심시각의 사용 여부도 확인할 수 없었다.

비행하는 과정에서 조종사들의 주의 시스템의 작동, 놀람과 놀라움의 반응에 따른 주의 시스템의 불균형, 자기 교시의 수행으로 인한 주의 시스템의 균형 회복, 계기비행 방식으로서의 리플레이밍시간 단축 등 주의 시스템의 구체적인 작동에 관한 연구는 추후의 연구과제로 이어지기를 기대한다.

Acknowledgment

본 논문은 저자 김문성의 박사학위 논문의 내용 중 일부분을 발전 적용하였고, 2024년도 광운대학교 연구년 지원을 받아 연구되었습니다

References

1. Arborelius, L., Owens, M. J., Plotsky, P. M., and Nemeroff, C. B., "The role of corticotropin-releasing factor in depression and anxiety disorders", *The Journal of Endocrinology*, 160(1), 1999, pp.1-12.
2. Bacon, S. J., "Arousal and the range of cue utilization", *Journal of Experimental Psychology*, 102(1), 1974, pp.81-87.
3. Baddeley, A. D., "Selective attention and performance in dangerous environments", *British Journal of Psychology*, 63(4), 1972, pp.537-546.
4. Bishop, S. J., "Trait anxiety and impoverished prefrontal control of attention", *Nature Neuroscience*, 12, 2009, pp.92-98.
5. Bounyong, S., Yoshida, R., and Yoshioka, M., "Epistemic emotion detection by video-based and heart rate variability features for online learning", *2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, IEEE, 2023, pp.1-2.
6. Bradley, M. M., "Natural selective attention: Orienting and emotion", *Psychophysiology*, 46, 2009, pp.1-11.
7. Bradley, M. M., Moulder, B., and Lang, P. J., "When good things go bad: The reflex physiology of defense", *Psychological Science*, 16(6), 2005, pp.468-473.
8. Burki-Cohen, J., "Technical challenges of upset recovery training: Simulating the element of surprise", *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*, 2010, AIAA 2010-8008.
9. Castaldo, R., Melillo, P., Bracale, U., Caserta, M., Triassi, M., and Pecchia, L., "Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: A systematic review with meta-analysis", *Biomedical Signal Processing and Control*, 18, 2015, pp.370-377.

10. Castaldo, R., Montesinos, L., Melillo, P., James, C., and Pecchia, L., "Ultra-short term HRV features as surrogates of short term HRV: A case study on mental stress detection in real life", *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 19, 2019, pp.1-13.
11. Chen, J., Landman, A., Derumigny, A., Stroosma, O., van Paassen, M. M., and Mulder, M., "Preliminary multilevel confirmatory factor analysis of the startle and surprise inventories using simulated flight scenarios", *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2025, Article 15553434251401784.
12. Corbetta, M., and Shulman, G. L., "Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain", *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 2002, pp.201-215.
13. Diarra, M., Marchitto, M., Bressolle, M. C., Baccino, T., and Draï-Zerbib, V., "A narrative review of the interconnection between pilot acute stress, startle, and surprise effects in the aviation context: Contribution of physiological measurements", *Frontiers in Neuroergonomics*, 4, 2023, Article 1059476.
14. Dismukes, R. K., Goldsmith, T. E., and Kochan, J. A., "Effects of acute stress on aircrew performance: Literature review and analysis of operational aspects", *NASA/TM-2015-218930*, NASA, 2015.
15. Elite HRV, "App v3.12 update", Elite HRV, 2017, Available from: <https://elitehrv.com/app-v3-12-update>
16. Endsley, M. R., "Toward a theory of situation awareness in dynamic systems", *Human Factors*, 37(1), 1995, pp.32-64.
17. Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., and Calvo, M. G., "Anxiety and cognitive performance: Attentional control theory", *Emotion*, 7, 2007, pp.336-353.
18. Eysenck, M. W., Payne, S., and Derakshan, N., "Trait anxiety, visuospatial processing, and working memory", *Cognition and Emotion*, 19, 2005, pp.1214-1228.
19. Federal Aviation Administration, "Human Factors", *FAA AMT Handbook Addendum, Chapter 14*, U.S. Department of Transportation, 2011, pp.21-23.
20. Federal Aviation Administration, "Stall Prevention and Recovery Training (FAA AC 120-109A)", U.S. Department of Transportation, 2015.
21. Federal Aviation Administration, "Helicopter Flying Handbook (FAA-H-8083-21B)", U.S. Department of Transportation, 2019.
22. Field, J. N., Boland, E. J., Van Rooij, J. M., Mohrmann, J. F. W., and Smeltink, J. W., "Startle effect management", Report No. NLR-CR-2018-242, European Aviation Safety Agency, 2018.
23. Flin, R., Salas, E., Strub, M., and Martin, L., "Decision Making Under Stress: Emerging Themes and Applications", Ashgate, 1997.
24. GlobeNewswire, "Valencell partners with contract manufacturer Samsin to accelerate licensees' time to market", *GlobeNewswire*, 2012, Available from: <https://www.globenewswire.com/news-release/2012/10/12/1255898/0/en/valencell-partners-with-contract-manufacturer-samsin-to-accelerate-licensees-time-to-market.html>
25. Grillon, C., Pellowski, M., Merikangas, K. R., and Davis, M., "Darkness facilitates the acoustic startle reflex in humans", *Biological Psychiatry*, 42(6), 1997, pp.453-460.
26. Güntürkün, R., "The effect of human factors in aviation accidents", *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES)*, 11(10), 2023, pp.394-399.
27. Kim, J. T., "The relationship between trait-anxiety and sociality: Focusing on Spielberger's STAI", M.S. Thesis, Korea University, Seoul, 1978.

28. Kim, M., Kim, S., and Li, H. O., "Effects of meteorological conditions and self-instruction on anxiety and performance of helicopter pilots in flight", *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 26(4), 2023, pp.29-40.
29. Kim, M., Lee, S., Kim, S., and Li, H. O., "The impact of unexpected and sudden changes in visibility on helicopter pilot taking off: Startle and surprise", *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 33(2), 2025, pp.61-77.
30. Kinney, L., and O'Hare, D., "Responding to an unexpected in-flight event: Physiological arousal, information processing, and performance", *Human Factors*, 62(5), 2020, pp.737-750.
31. Kline, T. J., "Psychological Testing: A Practical Approach to Design and Evaluation", Sage Publications, 2005.
32. Kochan, J. A., Breiter, E. G., and Jentsch, F., "Surprise and unexpectedness in flying: Database reviews and analyses", *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 48th Annual Meeting*, 2004, pp. 335-339.
33. Landman, A., Groen, E. L., Van Paassen, M. M., Bronkhorst, A. W., and Mulder, M., "Dealing with unexpected events on the flight deck: A conceptual model of startle and surprise", *Human Factors*, 59(8), 2017, pp.1161-1172.
34. Landman, A., van Middelaar, S. H., Groen, E. L., van Paassen, M. M., Bronkhorst, A. W., and Mulder, M., "The effectiveness of a mnemonic-type startle and surprise management procedure for pilots", *The International Journal of Aerospace Psychology*, 30(3-4), 2020, pp.104-118.
35. Lynn, R., "Attention, Arousal and the Orientation Reaction", Pergamon Press, 1966.
36. Martin, W. L., "Developing startle and surprise training interventions for airline training programs", PACDEFF 2016, Melbourne, Australia, 2017, Available from: <http://pacdeff.com/wp-content/uploads/2017/08/PACDEFF-FC-Forum-Presentation-on-Startle.pdf>
37. Martin, W. L., Murray, P. S., Bates, P. R., and Lee, P. S., "A flight simulator study of the impairment effects of startle on pilots during unexpected critical events", *Aviation Psychology and Applied Human Factors*, 6(1), 2016, pp.24-32.
38. Meichenbaum, D., "A Cognitive-Behavior Modification Approach to Assessment", *Cognitive-Behavior Modification: An Integrative Approach*, Springer, 1977, pp.229-259.
39. Nakagawara, V. B., Montgomery, R. W., Dillard, A. E., McLin, L. N., and Connor, C. W., "The effects of laser illumination on operational and visual performance of pilots during final approach", Report No. DOT/FAA/AM-04/9, Federal Aviation Administration, 2004.
40. Piras, M., Landman, A., van Paassen, M. M., Stroosma, O., Groen, E., and Mulder, M., "Easy as ABC: A mnemonic procedure for managing startle and surprise", 22nd International Symposium on Aviation Psychology, 2023, p.39.
41. Spielberger, C. D., "Manual for the State-Trait Anxiety Inventory (self-evaluation questionnaire)", Consulting Psychologists Press, 1970.
42. Unni, S., Gowda, S. S., and Smeaton, A. F., "An Investigation into Keystroke Dynamics and Heart Rate Variability as Indicators of Stress", *International Conference on Multimedia Modeling*, Springer, 2022, pp.379-391.
43. Vlaskamp, D., Landman, A., van Rooij, J., and Blundell, J., "Recovery from startle and

- surprise: A survey of airline pilots' operational experience using a startle and surprise management method", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 107, 2025a, Article 103733.
44. Vlaskamp, D., Pollitt, A., Blundell, J., Landman, A., Groen, E. L., van Paassen, M. R., et al., "Startle and surprise in helicopter operations: Reported prevalence and application of mitigation strategies", *Cognition, Technology & Work*, 27(3), 2025b, pp.579-590.