

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2025.33.2.061>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

예상하지 못한 급격한 시정의 변화가 이륙하는 헬리콥터 조종사에게 미치는 영향: 놀람과 놀라움

김문성*, 이승렬**, 김신우***, 이형철***

The Impact of Unexpected and Sudden Changes in Visibility on Helicopter Pilot Taking Off: Startle and Surprise

MunSeong Kim*, SeungYeal Lee**, ShinWoo Kim***, Hyung-Chul O. Li***

ABSTRACT

Startle stimuli produce emotional, physiological responses and involuntary behavioral responses in humans, and cognitive responses that direct human attention to the stimuli. Surprise is a cognitive-emotional response to the unexpected, and similarly to startle, it produces physiological responses, behavioral responses that flinch, and cognitive responses that draw attention and stop behavior. Startle stimuli impair even routine information processing, and in aviation, startle and surprise responses affect task performance interruption, pilot decision-making, and execution. This study was conducted on active helicopter pilots in a virtual reality environment during takeoff and verified whether unexpected and sudden changes in visibility during the hovering phase, which requires considerable attention, evokes pilots' startle and surprise responses. Heart rate, heart rate variability, anxiety, subjective emotional value, and physical responses were measured, and the results showed that startle and surprise responses were induced. This suggests that unexpected and sudden changes in visibility during the hovering phase of takeoff can cause startle and surprise in helicopter pilots, which can have a negative effect on the subsequent takeoff phase.

Key Words :Unexpected(예상하지 못한), Low Visibility(저시정), Hovering Flight(제자리 비행), Take Off(이륙), Startle(놀람), Surprise(놀라움), Helicopter Accident(헬리콥터 사고)

Received: 09. May. 2025, Revised: 20. May. 2025,
Accepted: 27. May. 2025

* 소방청(중앙119구조본부), 광운대학교 심리학 박사

** 국토교통부(항공철도사고조사위원회), 세종대학교 항공우주
공학 박사과정

*** 광운대학교 산업심리학과 정교수

These authors contributed equally to this work

공동연락처자 E-mail : shinwoo.kim@kw.ac.kr,

주소 : 서울특별시 노원구 광운로 20 (월계동 447-1) 광운
대학교 화도관 526호

공동연락처자 E-mail : hyung@kw.ac.kr

주소 : 서울특별시 노원구 광운로 20 (월계동 447-1) 광운
대학교 화도관 628호

1. 서 론

오랜 기간 동안 누적된 항공기 사고의 데이터는 인적 요인(human factor)이 70~80%의 높은 비중으로 사고에 기여하고 있음을 일관되게 보여주고 있다(Wiegman & Schapelle, 2003). 최근에는 조종사의 비효율적이고 부적절한 결정이 사고를 초래한 몇 가지 사례가 보고되었는데, 예상하지 못한 사건으로 인한 조종사의 놀람(startle)과 놀라움(surprise)의 반응이 사고에 기여한 것으로 확인되었다(Martin, Murray, Ba-

tes, & Lee, 2015),

예를 들어, Colgan Air Flight 3407의 조종사는 계기비행 방식으로 착륙하는 과정에서 실속(stall) 상황을 맞게 되었다. 조종사는 예상하지 못한 비행기의 진동과 충격음에 의하여 당황하였고, 정확한 판단에 의한 조작보다 본능적인 신체 반사에 의하여 조종간을 뒤로 당겨 사고를 초래하였다고 보고되었다(Spangler & Park, 2010).

1994년부터 2013년까지 미국의 항공안전보고시스템(ASRS)¹⁾의 자료에 따르면 놀람에 관한 보고서는 134건, 놀라움에 관한 보고서는 902건이었다. 놀람과 관련된 보고서 중에서 37%는 강력한 자극에 의하여 진행 중인 작업이 중단되거나, 방어 반응을 유발하는 큰 소음이 있었으며, 대부분의 사고는 예상하지 못한 사건의 발생 또는 기대한 사건의 부재들을 포함하고 있었다(Rivera, Talone, Boesser, Jentsch, & Yeh, 2014).

조종사가 놀라운 것으로 간주하는 사건이나 상황에 대한 요소들을 분석하기 위해 Kochan, Breiter, and Jentsch(2004)는 1997년부터 2002년까지 미국의 교통안전위원회(NTSB)²⁾, 항공안전보고시스템, 항공안전 데이터분석센터(NASDAC)³⁾ 데이터베이스의 사건 및 사고 보고서를 사용하였다. “surprise(놀라운)” 또는 “unexpected(예상하지 않은)”이라는 용어가 포함된 보고서를 분석하여 5개로 범주화하였다. 자동화, 시스템 등의 항공기 상태 변화, 비행 중 다른 사람들의 예상하지 못한 행동 또는 지시, 난기류, 착빙, 저시정 등으로 인한 환경 변화, 운항하는 과정에서 출현하는 다른 항공기, NOTAMs 등 총 5개로 구분하였으며, 예상하지 못하거나 놀라운 것으로 간주되기 위해서는 특별하거나 새롭지 않아도 된다고 결론지었다.

이러한 보고서들은 놀람이나 놀라움 반응을 유발하는 요소에 대한 연구들을 이끌었다. 청각 자극(Berlinger & Harris, 1999; Martin, Murray, Bates, & Lee, 2016), 화재(Martin et al., 2016), 엔진 고장(Casner, Geven, & Williams, 2013; Kinney & O’Hare., 2020), 실속(Casner et al., 2013), 저고도 윈드 시어(wind shear) 또는 난기류(Casner et al., 2013; Kinney et al., 2020), 자동화 시스템 오류

(Berlinger et al., 1999) 등의 요소에 관한 연구가 있었다.

대부분의 연구들은 잘 알려진 놀람 자극이나 놀라움의 상황을 독립변인으로 조작하고, 이에 따른 조종사의 놀람 및 놀라움 반응을 종속변인으로 측정한 연구이다. 그러나, 저시정 조건의 조우를 독립변인으로 조작한 연구는 거의 없다. 또한, 일정한 계기비행 기상상태에서 비행기를 사용하여 비교적 안정적인 순항단계(cruise phase)나 접근단계(approach phase)에서 자극이나 상황을 모사한 연구였다.

그러나, 놀람과 놀라움 반응은 비교적 안정적인 단계보다 일반적으로 높은 주의력이 요구되는 이착륙 단계에서 더 큰 영향을 줄 수 있다. 특히, 장애물 제한 표면 구역이 설정되어 있어 이착륙 장소뿐만 아니라 비행 경로까지 보장되는 헬리패드에서 헬리콥터를 조종하는 조종사에게 더 큰 영향을 미칠 수 있다(Fig. 1).

일반적으로 헬리패드에서 이륙하는 헬리콥터는 제자리 비행 단계를 거치게 되며, 이때 조종반응, 시스템, 동력 등의 이상이 없을 경우에만 다음 단계를 수행하게 된다. 제자리 비행에서는 지각 시스템의 80%를 차지하는 시각 정보를 주로 사용한다(Previc & Erco-line, 2004). 이때 중심시각(focal vision)으로 망막에 맺히는 시각 단서의 상의 크기와 모양의 변화를 지각하고, 비행계기를 판독한다. 또한, 주변시각(ambient vision)으로 시각장(visual field)에 분포하는 시각 단서들의 움직임 의미를 의미하는 광학 흐름(optical flow)을 지각하여 헬리콥터의 움직임을 알아차리고 반응한다.

만약 이륙하는 과정인 제자리 비행에서 예상하지 못한 저시정 조건을 조우한다면, 놀라움 반응이 일어날 수 있으며(Kochan et al., 2004), 제자리 비행과 이어지는 이륙 조작에 악영향을 미칠 수 있다. 또한, 예상



Fig. 1. Various situations for takeoff from runways and helipads(Xplane11 captured, added)

1) Aviation Safety Reporting System.

2) National Transportation Safety Board.

3) National Aviation Safety Data Analysis Center.

하지 못한 저시정 조건의 조우는 Rivera et al.(2014) 이 제시한 예상하지 못한 사건의 발생과 기대한 시각 단서를 획득하지 못하게 하는 사건, 두 가지 사건이 동시에 발생하는 조건이며, 게다가 저시정 조건은 조종사의 불안을 증가시키므로(Kim, M., Kim, S., & Li, 2023a; 2023b) 이어지는 이륙 과정에도 지속적으로 악영향을 증가시킬 수 있다.

특히, 해상의 헬리패드에서 이륙하는 조건은 지상에 비해서 주변의 시각 단서들이 많지 않으므로 기상 상태를 쉽게 지각하기 어렵다. 따라서, 저시정 조건을 조우하더라도 기상 상태가 변화되었다는 것을 즉시 알아차리기 어렵다. 더군다나, 야간은 주간에 비해서 시각 단서의 획득이 더 어려우므로, 이 역시 기상 상태의 변화를 즉시 알아차리기 어렵게 한다. 그러므로, 이런 조건들에서는 놀라움이 더 쉽게 유발되고 조종사에게 더 심각한 영향을 줄 수 있다.

야간에 해상에서 함정 또는 섬의 헬리패드를 향해 비행하는 상황은 빛이 거의 없는 어두운 환경에서 밝은 빛이 제공되는 함정 또는 헬리패드를 향해 비행하고, 먼 거리에서부터 식별되는 조명을 향해 비행하는 유리한 조건이다. 그러나, 조명의 효과가 있는 조건에서 많은 시각 단서들을 활용한 착륙 과정과 착륙 후 환자 탑승 등을 위해 대기하는 시간들은 조종사로 하여금 밝은 빛에 적응되는 완전한 명순응을 하게 만든다.

이어지는 이륙 과정은 명순응 상태에서 이륙하여 조명의 효과가 사라지는 어둠 속으로 비행하는 불리한 조건이다. 어둠 속에서 시각 단서를 획득하기 위해서는 충분한 암순응이 되어야 하나, 암순응을 하기 위한 시간, 환경 등의 조건들은 주어지기 어렵다.

제자리에서 상승하고 증속하는 과정에서, 광원보다 높아지고 멀어지는 헬리콥터의 위치, 충분하지 않은 주변 시각 단서들의 분포, 조종사에게 확보되는 제한된 시야 범위 등으로 인하여 그나마 지각되고 있던 소수의 시각 단서들은 상실되고, 새로운 시각 단서들도 역시 획득할 수 없다. 더군다나, 무월광 조건인 경우에는 획득하기가 더 어려워진다. 이로 인해 시각 단서들을 지각하기 어려운 저시정 조건에 조우되었다는 것을 깨닫게 되고 놀라움이 유발되게 된다.

또, 접근하면서 조명을 향해 비행했던 경험, 조명을 활용하여 착륙한 경험의 기억과 밝은 빛에 노출되어 있는 현재의 상황은 시계비행 기상상태가 지속되고 있음을 인식하게 만든다. 또한, 이륙하는 과정에서 곧 맞

Table 1. Helicopter accident at night at sea

일자	시간	장소	비행 단계	결과
2011. 2. 23. 제주월물 (09:56)	21:00경	제주 서부 100km 선박	이륙	사망 5명
2015. 3. 13. 월물(11:21)	20:37경	가거도	접근 이륙	사망 4명
2019. 10. 31. 월물(19:47)	23:26경	독도	이륙	사망 7명
2022. 4. 8. 제주월물 (00:49)	01:32경	마라도 남서 370km 선박	이륙	사망 7명 부상 1명

닥뜨리게 될 어둠은 현재의 밝은 빛에 의하여 숨겨져 있으므로 의식되기 어렵다. 이러한 조건들은 이어지는 이륙 과정에서 시각 단서가 갑자기 사라지는 저시정 조건을 예상하기 어렵게 만든다. 이러한 이유로 야간 해상에서 발생하는 헬리콥터 사고는 예상하지 못한 저시정 조건으로 인한 놀라움의 반응으로 유발된 사고일 가능성이 있으며 우리나라만 하더라도 3~4년 주기로 계속되고 있다(Table 1).

그러나, 예상하지 못한 저시정 조건이 조종사의 놀라움을 유발한다는 가설을 통제된 상황에서 경험적으로 검증한 연구는 거의 없다. 이로 인해 치명적인 사고에 대한 원인 분석과 그에 따른 대책을 세우기가 어려우며, 안타깝게도 사고는 주기적으로 계속 발생하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 예상하지 못한 급격한 시정의 변화가 이륙하는 과정에서 제자리 비행을 수행하는 조종사에게 미치는 영향을 검증하고자 한다.

II. 이론적 배경

2.1 놀람(Startle)⁴⁾

놀람은 일반적으로 강한 자극에 의해서 유발되며, 정서적 반응과 함께 투쟁-도피(fight-flight) 반응과 유사한 의도하지 않은 생리적 반사와 조건화된 행동적 반응을 일으킨다(Blumenthal, Cuthbert, Filion, Hackley, Lipp, & Van, 2005). 의도하지 않은 놀람 반사는 눈 깜빡임, 어깨 움크리기, 고개 숙이기 등의

4) "startle"은 Lee et., al(2021)의 연구에서 "깜짝 놀람"으로, "surprise"는 "놀람"으로 번역되어 사용되었다.

근육 수축을 동반하고, 불리한 상황에 대응하여 신체를 보호할 수 있게 하며(Grillon & Baas, 2003), 생리적, 정서적 반응과 함께 자극에 대하여 주의를 지향하는 인지적 반응도 동반한다.

놀람 반사는 청각, 시각, 촉각 자극으로 유도될 수 있으며, 자극과 반응 사이에는 약 100ms 정도의 짧은 지연이 발생하는 것으로 밝혀졌다(Carlsen, Chua, Inglis, Sanderson, & Franks, 2008). 반사의 지속시간은 고강도 반응인 경우 1.5초까지 지속되었고(Ekman, Friesen, & Simons, 1985), 고강도 자극은 생리적 반응 이외에도 간단한 운동의 수행을 약 0.1초에서 3초 동안 중단시켰으며(May & Rice, 1971), 추적 과제와 같은 복잡한 운동 작업에서는 크고 강한 자극 이후에 약 10초 동안이나 수행에 악영향을 미쳤다. 놀람 자극은 단순한 정보처리에도 손상을 주어 연속적인 뱀셈 같은 일상적인 과제에도 30초에서 60초 동안 악영향을 미쳤다(Vlasak, 1969). 따라서, 놀람 자극은 인지 처리를 방해하여 의사 결정 및 문제 해결에 필요한 정보처리 능력에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Rivera et al., 2014).

항공 분야에서의 놀람은 조종사의 기대에 어긋나고, 갑작스럽고 강렬한 사건에 노출됨으로써 유발되는 제어할 수 없는 자동적인 근육 반사, 심박수 상승, 혈압 등으로 정의된다(FAA, 2015). 예를 들어, 갑작스러운 레이저 조명 같은 시각 자극이 최종 접근 단계에서 착륙하는 조종사에게 놀람 반응을 일으켜 방향 감각을 잃어버리게 하는 사고를 초래하기도 하는 것으로 보고되었다(Nakagawara, Montgomery, Dillard, McLin, & Connor, 2004).

2.2 놀라움(Surprise)

놀라움은 환경에 대한 지각과 정신적 기대가 일치하지 않아 발생하는, 예상하지 못한 것에 대한 인지-정서적 반응이며(Meyer, Niepel, Rudolph, & Schützwohl, 1991), 상황에 대한 이해를 바꾸게 한다(Meyer, Reisenzein, & Schützwohl, 1997). 놀라움은 예상하지 못한 자극이 존재하거나, 기대한 자극이 예상과 다르게 존재하지 않아서 발생할 수 있으며, 놀람과 다르게 전두엽의 피질 네트워크를 활성화하고 더 높은 수준의 프로세스를 포함한다(Meindersma, Kloosterman, Engel, Wagenmakers, & Donner, 2018).

놀라움의 반응은 공포에 대한 놀람 반응과 유사하

다. 심박수 증가, 혈압 상승 같은 생리적 반응(Burki-Cohen, 2010; Rivera et al., 2014), 이해와 분석의 불능, 적절한 작동 기준의 기억 실패, 상황 인식 상실 등의 인지적 반응과 행동 중단(freezing) 등의 행동적 반응, 세 가지의 조합으로 이루어진다(Burki-Cohen, 2010).

항공 분야에서 놀라움은 사건에 대응하는 정신적 과정에 영향을 미칠 수 있고, 조종사의 기대에 어긋나는 예상하지 못한 사건(event)으로 정의되었다(FAA, 2015). 예를 들어, 2009년 6월 1일에 파리로 가는 에어 프랑스 447편이 자동비행장치를 사용하여 난기류 속에서 비행하는 도중에, 속도 감지 프로브(pitot tube)가 결빙되었다. 이로 인해 자동화 시스템이 자동비행장치를 해제하였고, 갑작스러운 자동비행장치의 해제는 조종사를 놀라게 하였다. 이후 기체는 실속 조건으로 진입하였고, 난기류 속에서 비행 중인 스트레스와 놀라움으로 인해 발생된 높은 스트레스가 조종사로 하여금 과속 조건이라고 잘못 판단하게 하였다고 보고되었다(et d'Analyses, 2012).

2.3 공포-강화(Fear-potentiated) 효과

공포 조건화 연구에서는 지각된 위협이나 존재하는 위협이 있을 때에 놀람을 경험하면 놀람에 대한 반응이 아주 심각해져서 일반적으로 공포-강화 놀람이 발생된다고 설명한다(Bradley, Moulder, & Lang, 2005). 공포-강화 놀람은 최고 수준의 스트레스 반응을 유발하여, 상당한 인지 장애를 주는 것으로 나타났다(Eysenck, Payne, & Derakshan, 2005). 여러 연구자들이 스트레스, 불안과 인지 사이의 관계를 탐구한 결과, 스트레스 요인의 영향이 일관되게 정보처리에 손상을 주는 것으로 나타났다(Bishop, 2009; Edland, 1989).

저시정 조건에서는 비행에 필요한 시각 단서, 회피해야 할 장애물, 지평선 등을 지각하기가 어렵다. 따라서, 외부의 시각 단서가 제한되는 저시정 조건(degraded visual environment)에서는 공간정위상실(spacial disorientation)이 발생할 가능성이 크며(FAA, 2021), 대부분의 조종사들은 저시정 조건을 위협적으로 지각하고 있다.

만약, 불안정한 제자리 비행 단계에서 저시정 조건을 조우한다면, 이 상황은 저시정 조건에 대한 지각된 위협이 있는 조건이고, 제자리 비행에 필요한 시각적 단서가 사라지게 되므로 이로 인한 제자리 비행의 어

려움과 이에 따른 충돌 위험이 존재하는 조건이다. 이런 저시정 조건의 조우를 예상하지 못했을 경우에는 놀라움이 유발되어 공포-강화 효과가 나타날 수 있다.

2.4 어둠-강화(Dark-enhanced) 효과

동물 연구에서 상황에 따라 정서적 반응을 유발하는 신경 매커니즘과 명시적인 자극을 조건화하는 매커니즘은 서로 다른 것으로 나타났다(Davis, 1998; Sullivan, Apergis, Bush, Johnson, Hou, & Ledoux, 2004). 밝은 상황을 회피하는 야행성 종(light-avoiding species)인 쥐의 경우에 밝은 빛이 불안 반응과 놀람 반응을 강화하였고(Walker & Davis, 1997), 주행성 종인 인간을 대상으로 한 실험에서도 어둠이 인간에게 놀람 반응을 촉진한다는 것을 발견하였다(Grillon, Pello-wski, Merikangas, & Davis, 1997).

상황에 영향을 받는 놀람 반응은 특정 호르몬(corticotropin-releasing hormone; CRH)에 의해서 조절되며, 이 호르몬(CRH)의 가용성이 놀람 반응에 영향을 준다. 인간의 경우 이 호르몬은 생체 시계에 의해 조절되어 아침에는 높은 수준, 저녁에는 낮은 수준으로 분비되고, 스트레스 등의 외부 요인에도 영향을 받을 수 있다(Arborelius, Owens, Plotsky, & Nemeroff, 1999). 만약, 어두운 조건에서 놀람 반응이 일어나면 놀람 반응을 조절하는 호르몬 분비의 감소로 인해, 야행성 종인 쥐의 밝음-강화 반응과 유사하게 주행성 종에게도 어둠-강화 반응이 나타날 수 있다(Walker et al., 1997).

2.5 놀람과 놀라움의 관계

과거에는 조종사들이 놀람과 놀라움을 같은 의미로 사용하여 예상하지 못한 상황을 설명하였다. 그러나, Rivera et al.(2014)은 놀람과 놀라움은 본질적으로 다르므로 각각 다른 개념으로 설명해야 한다고 주장하였다.

그렇지만, 항공 분야에서는 놀라움과 놀람의 반응이 동시에 발생할 수 있다. 다양한 환경에서 예상하지 못한 놀라움과 놀람을 발생시키는 사건들은 상황, 사건의 심각 정도, 처리하지 못할 경우에 진행되는 위협의 정도, 동일한 사건을 떠올릴 수 있는 기억의 가용성 등에 의해서 동시에 발생될 수 있다. 또, Burki-Cohen(2010)은 조종사의 예상에 따라서 동일한

사건이 놀람 반응이나 놀라움 반응을 유발할 수 있다고 지적하였고, 놀람과 놀라움이 상호 연관되어 있음을 시사하였다. Diarra, Marchitto, Bressolle, Baccino, and Draï-Zerbib(2023)도 항공 분야의 실제 상황에서는 놀라움과 놀람에 대한 반응이 동시에 발생한다고 보는 것이 타당하다고 주장하였다.

III. 실험

본 연구에서는 Burki-Cohen(2010)과 Diarra et al.(2023)의 주장처럼, 항공 분야의 실제 상황에서는 놀라움이나 놀람을 유발하는 상황이나 자극이 놀람과 놀라움의 반응(startle and surprise response; SSR)을 동시에 발생시킬 것으로 가정하였다. 또, SSR에서 공포-강화 효과와 어둠-강화 효과가 나타날 것으로 예상하였다. SSR로 나타나는 종속변인들은 Diarra et al.(2023)의 주장처럼 생리학적 측정으로 심박수와 심박변이도를 측정하였고, 주관적 평가로 감정가와 불안에 대하여 응답하게 하였다. 또, SSR로 인하여 의도하지 않은 조종간의 움직임은 신체 반응으로 측정하였다(Table 2).

3.1 실험 목적 및 설계

본 연구의 목적은 이륙 과정에서 반드시 수행되는 제자리 비행 단계에서, 주간과 야간 조건에서의 예상하지 못한 시정의 변화가 조종사의 SSR을 유발하는지를 검증하는 것이다. 저시정 조건의 조우는 예상하지 못한 사건의 발생과 기대한 시각 단서를 획득하지 못하게 하는 사건, 두 가지 사건이 동시에 발생하여 놀라움이 유발되는 조건이다. 고시정 조건에서 이륙하여 제자리 비행을 하는 도중에 예상하지 못한 저시정 조건을 조우한다면, 저시정 조건에 대한 지각된 위협과 주변 장애물과의 충돌 우려에 대한 존재하는 위협으로 인하여, SSR이 강화될 수 있는 공포-강화 조건이다. 또, 야간은 호르몬(CRH)의 감소로 SSR의 조절을 어렵게 하는

Table 2. Experimental design

비행 과제	연구설계	독립변인	자극 및 상황	종속변인
제자리 비행	2×2 혼합 요인 설계	집단간(주,야) 집단내(고,저)	어둠-강화 공포-강화	생리적 심리적 신체반응

어둠-강화 조건이므로, 야간 조건에서는 더 큰 SSR이 유발될 것으로 예상하였다. 제자리 비행 단계에서 예상하지 못한 저시정 조건을 조우한다면 SSR에 의해서 제자리 비행과 이어지는 이륙 과정에서 큰 영향을 받을 수 있다.

참가자들을 주간 집단과 야간 집단으로 구분하고, 각 집단 내에서 고시정 조건, 저시정 조건 순으로 실험하였다. 실험을 시작하기 전에 참가자의 기저선(baseline)을 측정하였다. 참가자의 왼쪽 전완에 암밴드를 착용하게 하여 심박수와 심박변이도를 측정하였고, 놀람과 놀라움에 대한 주관적 감정가를 11점 리커트 척도로, 불안 정도를 상태 불안 척도 설문지(STAI-X-1)로 응답하게 하였다. 각 조건의 실험이 종료된 다음에 비행 프로그램에서 제공되는 데이터 셋을 사용하여 SSR에 의한 조종간의 반응을 계산하였다.

3.2 실험 기구

3.2.1 비행기구

실험에 사용된 장비들과 시뮬레이션 프로그램은 Kim et al.(2023a, 2023b)의 실험에서 사용한 것과 동일한 것을 사용하였다. Laminar Research 사의 X-PLANE 11을 비행 시뮬레이션 프로그램으로 사용하였고, S-76 헬리콥터를 사용하였다. 가상 환경을 구현하기 위한 장비로는 오쿨러스 VR(virtual reality)사의 Oculus Rift S를 사용하였다. PC는 프로그램 구동에 필요한 권장 사양 이상으로 사용하였다. 24인치 모니터를 동시에 사용하여 실험하는 동안에는 참가자의 시야와 비행 데이터를 확인하고, 시뮬레이션 프로그램의 메뉴를 선택하였다. 조종간은 Logitech Flight G-940의 싸이클릭과 컬렉티브의 길이를 연장하여 헬리콥터 조종간과 유사하게 하였고, 싸이클릭에 있는 트림(trim) 버튼의 기능을 제거하여, SSR이 발생되면 의도하지 않은 신체의 반응이 손을 통해서 싸이클릭으로 전달되게 하였다. X-PLANE은 Control Pad라는 아이패드 응용프로그램이 동일한 무선 네트워크로 연결된 경우에는 컴퓨터의 키보드가 아닌 응용프로그램에서 항공기, 기상, 지도 등 여러 가지 설정을 할 수 있다. 본 실험에서는 주간과 야간 조건을 선택하기 위하여 시간 항목, 고시정과 저시정 조건을 만들기 위한 활주로 등화(RWY LIGHTS), 시정, 구름의 세부 항목들을 사용하였다(Fig 2). 실험 참가자들은 비행기구의 조종

반응과 영상 현실감에 대한 타당성을 인정하였다(Kim et al., 2003a).

3.2.2 생리학적 측정 기구

SCOSCHE 사의 RYTHM24를 사용하여 심박수(heart rate)와 심박변이도(heart rate variability)를 측정하였다. RYTHM24는 광혈류측정법인 PPG(photo-plethysmogram) 센서를 사용하여 비교적 침습적이지 않은 암밴드 형태로 상완, 전완 등에 착용이 가능하다. 스마트폰 등의 Elite HRV 응용프로그램과 블루투스로 연결하여 작동시킬 수 있으며 1분 이상 측정할 경우에만 심박수와 심박변이도가 측정되었다(Fig. 2).

심박변이도는 심박의 변화를 분석하는 것으로 시간 영역의 분석과 주파수 영역의 분석이 가능하다. 시간 영역 분석에서는 특정 시점에 높은 순간 심박(R 또는 N)을 사용하여 계산된다. R(N)과 R(N) 사이의 간격의 평균인 MEAN RR이 계산되고, RR 간격의 표준편차인 SDNN(Standard Deviation of NN interval)도 계산된다. 또, 인접한 RR 간격 간 차이에 대한 평균 제곱 합의 제곱근인 RMSSD(root mean square differences of successive difference)도 계산된다(Fig. 3).

시간 영역에서 HR은 일반적으로 1분당 심장 박동수로 나타내며(bpm) 값이 작을수록 안정상태이다. MEAN RR은 정상 심장 박동의 평균 간격이며, 값이



Fig. 2. Actual experimental scene

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N (RR_i - \text{mean}RR)^2 \right)}$$

$$RR_i = i^{\text{th}} \text{ RR interval, mean}RR = \text{mean of RR interval}$$

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N ((R_{i+2} - R_{i+1}) - (R_{i+1} - R_i))^2 \right)}$$

Fig. 3. SDNN and RMSSD

클수록 안정상태이다. RMSSD는 연속적인 RR 간격 차이가 값들의 편차로 일반적으로 단기적인 심박변이도의 변동을 나타내며, 부교감신경의 활동의 지표로 사용된다. 일반적으로 값이 클수록 생리적으로 건강하고 이완된 상태이다.

주파수 영역 분석에서는 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform) 등이 사용되어 측정된 심박의 주기를 저주파수, 고주파수 영역 등으로 분해된다. 분해된 주파수는 주파수 영역 전체의 강도(total power), 저주파수 대역의 강도(low frequency power; LF power), 고주파수 대역의 강도(high frequency power; HF power), 저주파수 대역과 고주파수 대역의 비율(LF/HF ratio) 등으로 계산되어 사용된다.

Castaldo, Melillo, Bracale, Caserta, Triassi, and Pecchia(2015)는 건강한 성인들을 대상으로 단기 심박변이도를 분석하여 급성 정신적 스트레스의 발생 여부를 평가하였다. 그 결과 급성 정신적 스트레스가 발생하는 경우에는 MEAN RR, RMSSD, HF 값은 감소하고, LF/HF는 증가하는 것으로 나타났다.

심박변이도의 분석은 주로 5분 정도의 짧은 단기(short term) 분석에서 사용되었으나, Castaldo, Montesinos, Melillo, James, and Pecchia(2019)는 수 초에서 1분 동안 발생하는 초단기(ultra short term) 분석을 사용하기 위하여 5분, 3분, 2분, 1분, 30초의 데이터에 대하여 윌콕슨 검정과 상관분석으로 일관성을 평가하였다. 추출한 5분과 1분의 MEAN RR, RMSSD, HF의 추세는 통계적으로 유의하였으나, 1분 이하의 LF 데이터는 분석하기 어려우며 2분 이상의 데이터가 필요한 것으로 결론지었다.

본 실험에서는 이륙하는 과정에서 예상하지 못한 급격한 시정의 변화를 맞게 되는 짧은 순간에 대한 측정이 필요하다. 따라서, 1분간 측정이 가능한 HR, RMSSD, MEAN RR, HF를 측정하여 심박변이도의 증가, 감소의 추세로 SSR에 의한 급성 스트레스가 유발되었다고 평가하였다(Table 3).

3.2.3 심리학적 측정 도구

놀람과 놀라움에 대한 주관적 감정가는 11점 리커트 척도로 설문하였고, 불안에 대해서는 상태-특성 불안 척도 설문지로 응답하게 하였다.

상태-특성 불안 척도 STAI(state-trait anxiety inventory)는 Spielberger(1970)에 의하여 개발된 자기 보

Table 3. Meaning and application of HRV

구분	의미	스트레스 반응	1분 측정
HR	1분당 심박수 작을수록 안정상태	증가	가능
RMSSD	연속적인 RR 간격 차이값의 편차 부교감신경의 활동 지표 클수록 안정상태	감소	가능
MEAN RR	정상 심장 박동의 평균 간격 클수록 안정상태	감소	가능
LF	0.04~0.15Hz 강도 주로 교감신경과 더 관련이 있음	-	불가능
LF/HF	LF와 HF의 비율 자율신경계의 균형을 나타냄	증가	불가능
HF	0.15~0.4Hz의 강도 부교감신경을 반영	감소	가능

고식 검사이다. 불안을 일시적인 정서 상태를 나타내는 상태 불안(state anxiety)과 비교적 안정적인 성격 특성을 나타내는 특성 불안(trait anxiety)으로 개념화하였다.

본 연구에서는 STAI의 원본 격인 X형을 Kim (1978)이 변안한 한글판 X형 중에서 상태 불안만을 측정하였다. 특정한 스트레스 상황에서 일시적으로 야기되는 상태 불안은 '지금 이 순간에 느끼는 상태'인 '나는 긴장되어 있다', '나는 마음이 편하다' 등의 20개의 문항으로 측정되며, 10개의 역문항이 포함되어 있다.

참가자는 Likert 4점 척도로 전혀 그렇지 않다(1점), 가끔 그렇다(2점), 자주 그렇다(3점), 대단히 그렇다(4점)로 보고하고, 역문항은 전환되어 계산된다. 총 점수는 20~80점으로 분포되며, 점수가 클수록 불안의 정도가 큰 것으로 평가된다.

3.2.4 신체 반응 측정 데이터

비행 데이터는 시뮬레이터에서 실행되는 동안 사용자의 선택에 따라서 화면에 표시할 수도 있고 동시에 텍스트 형식으로 저장할 수도 있다. 선택할 수 있는 데이터는 시간, 항공기의 위치, 조종간의 위치, 항공기에 작용되는 힘, 항공기 계기의 지시 값 등이 있다. 본 실험에서는 시간, 속도, 고도, 헤딩, 상승률, 자세계의 피치, 사이클릭의 기울어진 각도인 피치와 롤의 데이터를 최대 샘플링 비율인 약 0.025초 간격으로 저장하였다.

사이클릭은 물리적으로 피치 방향인 전후와 롤 방향인 좌우로 15 도씩 움직일 수 있다. 15 도는 비행 데

이터에서 1로 기록되어 전방 15 도는 -1, 후방 15도는 +1, 좌측 15 도는 -1, 우측 15 도는 1로 기록된다 (Fig. 2). 0.025초마다 기록된 사이클릭의 피치 방향 각도 차이와 롤 방향 각도 차이의 벡터합으로 각속도를 계산하고, 각속도의 차이로 각가속도를 계산하였다. 계산된 각가속도를 호도법을 적용하여 병진운동에 대한 가속도로 계산하였다. 사이클릭이 조종하는 과정에서 필수적으로 사용되므로, 조종간 중에서 사이클릭의 데이터만을 사용하였다.

3.3 참가자

000 항공대 등의 조종사 20명(남, 나이(M=52.30, SD=3.21))을 대상으로 통제된 장소에서 실험하였다. 현직 조종사들이므로 소지하고 있는 1종 항공신체검사 증명은 유효하였고, 참가자들은 운송용 또는 사업용 조종사, 계기비행 증명 자격, 1,000시간 이상의 기장 임무 경험을 가지고 있었다. 참가자들이 가지고 있는 현재까지의 비행경력으로 실비행시간은 평균 4,480시간 (SD=1424.08), 모의비행시간은 평균 250시간(SD=139.01)이며 계기비행시간은 평균 279시간(SD=176.87) 이었다. 경험한 시뮬레이터의 종류는 평균 4.95개 (SD=1.96)였다. 실험을 모두 종료한 다음에는 참가자에게 10,000원의 참가비를 지급하였다.

3.4 연습절차

참가자에게 간단한 인구통계학적 정보, 비행에 관한 자격, 경험 등을 설문한 다음에 실험 목적과 절차를 설명하였다. 실험 목적은 시정의 변화를 예상하지 못하게 제자리 비행 간 조종사 작업부하에 대한 측정이라고 설명하였고, 실험 과제는 약 1~2분 동안 제자리 비행을 하는 것이라고 설명하였다. 참가자의 기저선 측정으로 주관적 감정가와 상태 불안에 대하여 응답하게 하였고, 심박수와 심박변이도는 암밴드를 착용하고 약 5분 동안 안정을 취하게 한 다음에 스마트폰의 응용프로그램의 preview 화면을 관찰하여 심박의 변화가 안정되었을 때에 1회만 측정하였다.

참가자들을 좌석에 앉게 하여 페달, 사이클릭, 컬렉티브의 위치를 자신에게 필요한 변위에 맞도록 배치하도록 하고, HMD(head mounted display)를 착용하게 하였다. 그리고, 현실감을 증가시키기 위해서 프로그램에서 구동되는 헬기의 효과음을 HMD의 내장 스피커로 들리게 하였다.

다음에는 HMD를 착용한 상태에서 참가자들이 요구하는 계기판과의 거리, 높이 등이 맞도록 실험자가 키보드로 묘사되는 조종석의 위치를 조절하고, 각종 계기들을 참가자들에게 설명하였다. 연습 조건은 주간의 양호한 기상 조건으로 시정은 10Km, 구름은 없는 상태로 설정하여 약 10분 동안 제자리 비행을 수행하게 하였다(Fig. 4). 제자리 비행의 기준으로 고도는 20 ± 5 ft, 편류는 현재 지점에서 ± 5 ft, 방위각은 현재 헤딩의 $\pm 10^\circ$ 를 제시하였다. 연습을 종료한 다음에는 HMD를 해제시키고, 실험자가 시뮬레이션 프로그램을 재설정하는 동안 휴식을 취하게 하였다.

3.5 실험절차

참가자들을 실험 장소의 일몰 시간을 기준으로 주간 집단과 야간 집단으로 나누고, 시뮬레이션 프로그램도 시간 조건에 맞는 주간과 야간으로 설정하였다. 묘사되는 실험 장소는 연습 장소와 다르게 설정하였고, 각 집단별로 기상에 대하여 고시정 조건과 저시정 조건으로 나누었으며, 시정의 변화를 예상하지 못하게 고시정, 저시정 조건의 순서로 실험하였다.

고시정 조건에서는 양호한 기상으로 설정하고, 지정한 시간을 기록한 다음에 비행 과제를 수행하게 하였다. 제자리에서 수직으로 이륙한 다음에 연습 절차에서 제시한 제자리 비행의 기준 이내에서 1~2분 동안 비행 과제를 수행하게 하였고 안정되기 시작한 시간을 기록하였다. 수행하는 동안 응용프로그램을 사용하여 심박변이도를 측정하였고, 측정이 완료되면 착륙하게 하였다. 착륙한 다음에는 HMD를 해제하고, 비행 과제를 수행하는 도중에 느꼈던 놀람과 놀라움에 대한 주관적 감정가와 불안에 대하여 응답하게 하였다. 그런 다음에 5분 정도 휴식을 취하게 하였고, 실험자는 비행 데이터를 저장하고 실험 조건을 재설정하였다(Fig. 5).

저시정 조건에서는 먼저 고시정 조건에서 시작하여



Fig. 4. Practice scenes from external and HMD view point(Xplane 11 captured)



Fig. 5. Experimental scene of day and high visibility condition from external view point(Xplane 11 captured)

제자리 비행을 하게 하였고, 제자리 비행이 안정되었다고 판단되었을 때에, 시간을 기록하고 아이패드의 응용 프로그램 CONTROL PAD로 저시정 조건을 만들었다. 저시정 조건의 시정은 160m로 설정하였고, 구름의 양은 하늘을 완전히 덮은 상태(overcast)로, 구름의 높이는 0ft로 설정하여, 참가자들이 시각 단서를 희미하게 식별할 수 있게 하였다. 또, 저시정 조건에서는 헬기장 주변을 표시하는 등화의 조도도 감소시켜 시정의 변화를 구현하였다. 야간에는 주로 현저하게 지각되는 등화와 등화에 의하여 빛을 반사하는 주변의 단서들을 사용하여 제자리 비행을 하게 되며 조도의 감소는 시정의 감소 또는 광원으로부터의 멀어졌다는 것을 의미한다(Fig. 6). 이후 절차는 고시정 조건과 동일하게 수행하였고, 실험이 종료된 다음에는 시정 변화에 대한 참가자의 인지 여부를 확인하였다.

3.6 실험결과

SPSS version 25를 사용하여 집단별로 구분된 주간, 야간의 시간 조건과 집단 내에서 시행된 고시정,



Fig. 6. HMD view point in visibility and time conditions(Xplane 11 captured)

저시정 조건별로 측정된 값을 사용하여 혼합 요인 변량분석(2×2 mixed factorial ANOVA)을 실시하였다. 분석에 사용된 HR, RMSSD, MEANRR, HF, 감정가, 불안 데이터는 고시정, 저시정 조건과 지시선과의 차이를 사용하였다. 조종간 반응은 고시정 조건에서는 약 30초 동안의 안정된 조작 중에서 가장 큰 가속도를 산출하여 조종간의 정상적인 반응의 최댓값으로 사용하였다. 저시정 조건에서는 실험자가 기록한 시간을 고려하여, 약 3초 기간 이내에 발생하는 조종간의 가장 큰 가속도를 산출하여 분석에 사용하였고, 정상 반응보다 큰 값을 SSR로 간주하였다. 3초 이후에 발생하는 더 큰 가속도는 잘못된 비행 제원을 수정하기 위한 조작으로 간주하였다. 사용된 모든 데이터는 |왜도| < 2.23, |첨도| < 6.54로 정규성 검정을 만족하였다(Kline, 2005).

시정 조건에서 고시정 조건의 HR(M=6.55, SD=11.82)보다 저시정의 HR(M=12.25, SD=13.86)이 5.70회 더 많았으며, 시정 조건에 따른 주 효과(F(1,18)=8.42, p<.01, η_p²=0.32)는 통계적으로 유의하였다. 시간 조건에서 주간의 HR(M=3.70, SD=6.20)보다 야간의 HR(M=15.10, SD=15.77)이 11.40회 더 많았으며, 시간 조건에 따른 주 효과(F(1,18)=5.43, p<.05, η_p²=0.23)는 통계적으로 유의하였다. 시정 조건과 시간 조건의 상호작용은 통계적으로 유의하지 않았다(F(1,18)=0.02, p=0.88, η_p²=0.00)(Fig. 7).

고시정 조건의 RMSSD(M=1.61, SD=18.01)보다 저시정의 RMSSD(M=-8.84, SD=18.38)가 10.45만큼 더 작았으며, 시정 조건에 따른 주 효과(F(1,18)=4.76, p<.05, η_p²=0.21)는 통계적으로 유의하였다. 주간의 RMSSD(M=2.71, SD=18.70)보다 야간의 RMSSD

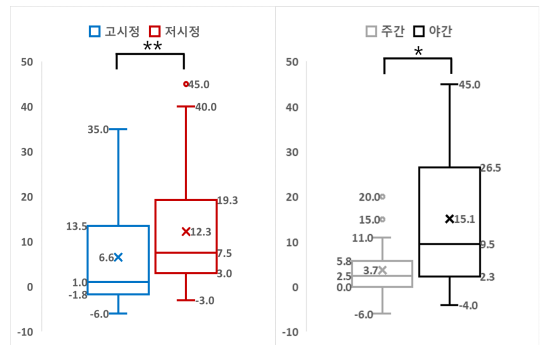


Fig. 7. HR results in visibility and time conditions

(M=-9.94, SD=16.90)가 12.65만큼 더 작았으며, 시간 조건에 따른 주 효과($F(1,18)=4.23, p=0.06, \eta_p^2=0.19$)는 통계적으로 유의하지 않았다. 시정 조건과 시간 조건의 상호작용은 통계적으로 유의하지 않았다 ($F(1,18)=0.18, p=0.67, \eta_p^2=0.01$)(Fig. 8).

고시정 조건의 MEAN RR(M=-66.54, SD=115.69)보다 저시정의 MEAN RR(M=-128.24, SD=125.24)이 61.70만큼 더 작았으며, 시정 조건에 따른 주 효과($F(1,18)=8.15, p<.05, \eta_p^2=0.31$)는 통계적으로 유의하였다. 주간의 MEAN RR(M=-45.08, SD=80.48)보다 야간의 MEAN RR(M=-149.70, SD=137.23)이 104.62만큼 더 작았으며, 시간 조건에 따른 주 효과($F(1,18)=5.50, p<.05, \eta_p^2=0.23$)는 통계적으로 유의하였다. 시정 조건과 시간 조건의 상호작용은 통계적으로 유의하지 않았다($F(1,18)=0.19, p=0.67, \eta_p^2=0.01$)(Fig. 9).

고시정 조건의 HF(M=81.36, SD=808.15)보다 저시정의 HF(M=-350.51, SD=427.73)가 431.87만큼 더 작았으며, 시정 조건에 따른 주 효과($F(1,18)=5.30, p<.05, \eta_p^2=0.23$)는 통계적으로 유의하였다. 주간의

HF(M=-46.38, SD=437.56)보다 야간의 HF(M=-222.76, SD=852.28)가 176.38만큼 더 적었으며, 시간 조건에 따른 주 효과($F(1,18)=0.62, p=0.44, \eta_p^2=0.03$)는 통계적으로 유의하지 않았다. 시정 조건과 시간 조건의 상호작용은 통계적으로 유의하지 않았다($F(1,18)=0.56, p=0.46, \eta_p^2=0.03$)(Fig. 10).

고시정 조건의 감정가(M=2.70, SD=1.87)보다 저시정의 감정가(M=6.75, SD=2.31)가 4.05만큼 더 많았으며, 시정 조건에 따른 주 효과($F(1,18)=51.93, p<.001, \eta_p^2=0.74$)는 통계적으로 유의하였다. 주간의 감정가(M=3.95, SD=3.10)보다 야간의 감정가(M=5.50, SD=2.56)가 1.55만큼 더 많았으며, 시간 조건에 따른 주 효과($F(1,18)=5.00, p<.05, \eta_p^2=0.22$)는 통계적으로 유의하였다. 시정 조건과 시간 조건의 상호작용은 통계적으로 유의하지 않았다($F(1,18)=0.20, p=0.66, \eta_p^2=0.01$)(Fig. 11).

고시정 조건의 불안 점수(M=12.60, SD=10.50)보다 저시정의 불안 점수(M=27.35, SD=13.29)가 14.75점만큼 더 많았으며, 시정 조건에 따른 주 효과($F(1,18)=45.79, p<.001, \eta_p^2=0.72$)는 통계적으로 유의하였다.

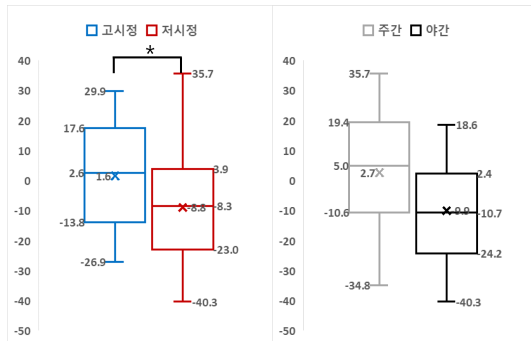


Fig. 8. RMSSD results in conditions

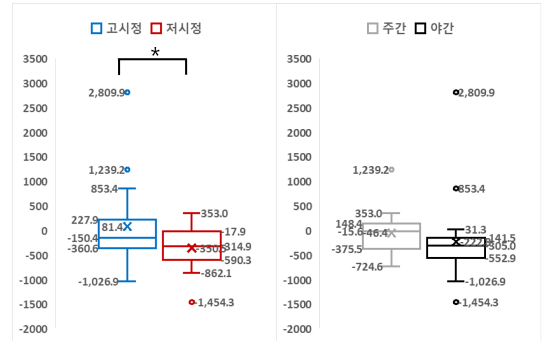


Fig. 10. HF results in conditions

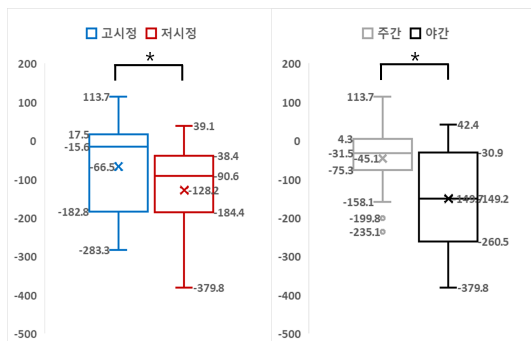


Fig. 9. MEAN RR results in conditions

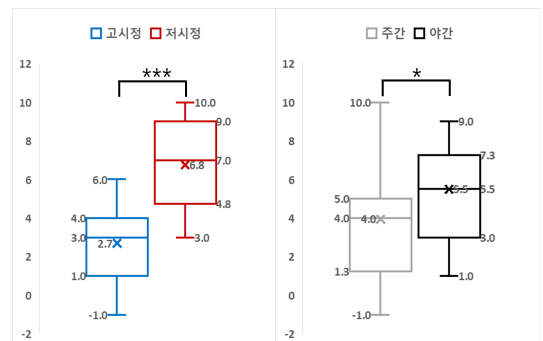


Fig. 11. Emotional valence results in conditions

주간 불안 점수(M=15.10, SD=13.37)보다 야간의 불안 점수(M=24.85, SD=13.79)가 9.75점 만큼 더 많았으며, 시간 조건에 따른 주 효과(F(1,18)=4.76, $p < .05$, $\eta_p^2 = 0.21$)는 통계적으로 유의하였다. 시정 조건과 시간 조건의 상호작용은 통계적으로 유의하지 않았다(F(1,18)=1.07, $p = 0.32$, $\eta_p^2 = 0.06$)(Fig. 12).

고시정 조건의 조종간 반응(M=11.03, SD=1.91)보다 저시정의 조종간 반응(M=13.36 SD=3.88)이 2.33 Cm/s²만큼 더 컸으며, 시정 조건에 따른 주 효과(F(1,18)=14.69, $p < .01$, $\eta_p^2 = 0.45$)는 통계적으로 유의하였다. 주간 조종간 반응(M=10.85 SD=2.23)보다 야간의 조종간 반응(M=13.54, SD=3.57)이 2.69Cm/s²만큼 더 컸으며, 시간 조건에 따른 주 효과(F(1,18)=6.62, $p < .05$, $\eta_p^2 = 0.27$)는 통계적으로 유의하였다. 시정 조건과 시간 조건의 상호작용은 통계적으로 유의하였다(F(1,18)=5.55, $p < .05$, $\eta_p^2 = 0.24$)(Fig. 13).

상호작용이 유의함에 따라 시정 조건과 시간 조건에 따라 단순 주 효과를 분석하였다. 주간 조건에서 고시정의 반응(M=10.40, SD=1.95)보다 저시정의 반응(M=11.30, SD=2.50)이 0.90Cm/s² 95% CI[-2.70

0.91]만큼 더 컸으나 통계적으로 유의하지 않았다($p = .31$). 야간 조건에서 고시정의 반응(M=11.66, SD=1.74)보다 저시정의 반응(M=15.41, SD=4.01)이 3.76Cm/s² 95% CI[-5.56 - 1.95]만큼 더 컸으며 통계적으로 유의하였다($p < .001$)(Fig. 14).

IV. 논 의

4.1 연구결과 요약

본 연구의 목적은 이륙하는 과정에서 반드시 수행되는 제자리 비행 단계에서, 주간과 야간 조건의 갑작스러운 시정의 변화가 조종사의 SSR을 유발하는지를 검증하는 것이다. 실험 결과 주간과 야간의 모든 저시정 조건에서 조종사의 SSR이 관찰되었다. 고시정 조건보다 저시정 조건에서 심박수가 더 증가하는 생리적 반응이 나타났고, 불안의 정도가 더 컸다. 이와 같은 결과는 예상하지 못한 급격한 시정의 변화가 일어난 상황이 조종사로 하여금 제자리 비행에 필요한 시각적 단서가 상실되었다는 것을 지각하게 하고, 제자리를 유지하기가 어려워지고, 이로 인해 주변에 묘사되는 장애물과 곧 충돌할 것이라는 것을 예상하게 하였다고 설명할 수 있다. 이로 인해 조종사들은 불안감을 느꼈다고 설명할 수 있으며 기존의 연구와도 일치한다(Kim et al., 2023a, 2023b).

더군다나, 주간 조건의 실험에서 모든 조종사들이 저시정으로 변경된 것을 즉시 알아차리고 제자리 비행이 어렵다는 것을 깨달았으며, 많은 조종사들이 주변의 장애물과 충돌하면 추락하는지를 실험자에게 물어보았다. 또, 이 상황은 전방으로 진행하게 되면 바다로 진

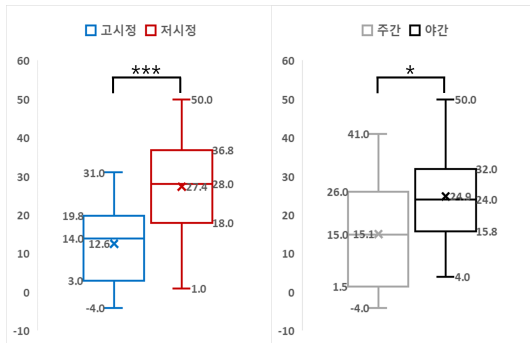


Fig. 12. Anxiety points results in conditions

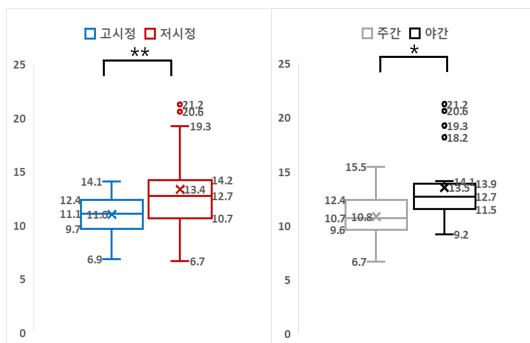


Fig. 13. Flight control responses in conditions

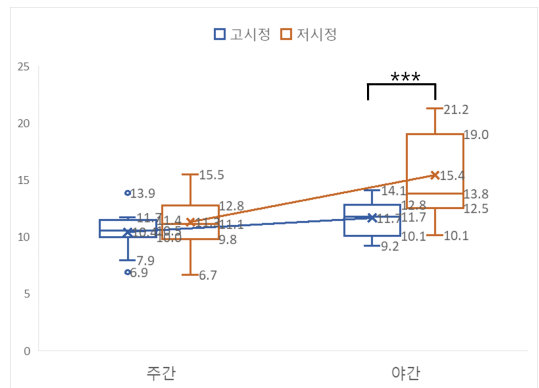


Fig. 14. Flight control response interaction in conditions

Table 4. Results of startle and surprise response

구분	생리적 반응				심리적 반응		신체 반응
	HR ↑	RMSSD ↓	MEAN RR ↓	HF ↓	놀람과 놀라움 ↑	불안 ↑	
주간	○	○	○	○	○	○	○
야간	○	○→△	○	○→△	○	○	○

*야간의 RMSSD, HF: 무기력에 의한 SSR의 완화.

입하게 되어 그나마 희미하게 식별되는 시각 단서가 사라지게 되고, 반대 방향인 후방으로 이동하려고 하면 테일로터를 경계하는 승무원이 없으므로 존재할 수 있는 장애물과의 충돌이 우려되는 상황이다. 이로 인해 일부 조종사들은 실험의 중단을 요구하거나 상승하여 이륙하게 해 달라고 요구하였다. 따라서, 저시정 조건에 대한 지각된 위협과 제자리 비행이 어려운 조건에서 존재하는 장애물과의 충돌에 대한 위협으로 공포-강화 효과가 나타났다고 설명할 수 있다.

또, 저시정 조건에서 RMSSD, MEAN RR, HF의 감소가 더 컸고, 주관적으로 느끼는 놀라움과 놀람에 대한 감정가의 증가도 더 컸다. 이는 불안한 조건으로의 예상하지 못한 급격한 변화가 조종사의 SSR을 유발하여 급성 스트레스를 발생시켰고, 이에 따른 생리적인 반응으로 RMSSD, MEAN RR, HF를 더 감소시켰다고 설명할 수 있다.

고시정 조건의 가장 큰 조종간 반응보다 저시정 조건에서 순간적으로 나타나는 조종간 반응이 더 컸다. 이는 고시정 조건에서 안정된 조종을 할 때의 가장 빠른 조작보다 저시정 조건에서 순간적으로 더 빠른 급격한 조작을 했다는 의미이다. 이는 저시정 조건으로의 순간적인 변화가 SSR을 유발하였고 이에 따른 비자발적인 근육수축 또는 움찔하는 신체의 반응이 조종간을 통해 나타났다고 설명할 수 있다.

주간 조건보다 야간 조건에서 심박수가 더 증가하였고, 감정가와 불안 점수가 더 높았다. RMSSD, MEAN RR, HF는 더 감소하였고, 조종간 반응도 더 컸다. 이는 주간보다 야간에 놀라움과 놀람이 강화되는 어둠-강화 효과라고 설명할 수 있다. 그러나, RMSSD와 HF의 감소는 통계적으로 유의하지 않았다. RMSSD와 HF가 주간 조건과 야간 조건 사이에서 유의한 차이가 나

지 않은 것은 무기력과 관련이 있을 수 있다(Parikh, A., & Patel, H., 2014). 또한 Kang(2020)의 연구에서도 공간정위상실에 빠져 정신적 스트레스가 유발된 조종사의 RMSSD와 HF가 오히려 상승한 결과는 무기력과 관련되었다고 결론지었다.

주간 조건에 비해 야간 조건은 제자리 비행을 수행하기 위한 시각 단서가 상대적으로 부족한 조건이다. 따라서, 야간 조건의 조종사들은 저시정 조건에서 사전에 시행한 주간 연습 조건보다 더 어렵다는 것을 직감하였을 것이다. 실험자가 지시한 비행 제원을 아무리 노력하여도 유지할 수 없다는 것을 예상하였고, 과제를 수행하면서 점점 더 어쩔 수 없다는 현실을 깨달았고 무기력감을 느꼈을 것이다. 또, 제자리 비행을 수행하는 과정에서 2명을 제외한 대부분의 조종사들은 실험자가 저시정 조건으로 처치했을 때 조도의 감소를 즉시 알아차리지 못하고, 자신의 수행 부족으로 인하여 시각 단서와의 거리가 더 멀어졌다고 인식하였다. 대부분의 조종사가 헬리패드에서 점점 멀어졌고 실험자의 종료 지시만을 기다렸다. 또한, 실험을 종료한 다음에 야간 조건에 참가한 많은 조종사들은 최선을 다하였으나 제자리 비행을 제대로 하기 어려웠다고 보고하였고, 실험 장비의 특성 때문에 어쩔 수 없었다고 미안해 하는 조종사들도 있었다. 이런 무기력감이 시간이 지날수록 RMSSD와 HF를 상승시켜, RMSSD와 HF의 감소가 통계적으로 유의하지 않았을 수 있다.

하지만 저시정 조건으로 처치하는 순간을 나타내는 조종간 반응의 결과는 주간 조건보다 야간 조건에서 더 컸으며 통계적으로 유의하였다. 또한 주간 조건의 고시정과 저시정 조건의 조종간 반응의 차이보다 야간 조건의 반응의 차이가 더 컸으므로, 주간보다는 야간 조건에서 놀라움과 놀람에 대한 더 큰 신체의 반응이 조종간으로 나타났음을 의미한다.

이와 같은 결과들은 예상하지 못한 저시정 조건의 조우로 인해 놀람과 놀라움의 공포-강화가 유발되어 생리적, 심리적, 신체의 반응이 일어났다고 설명할 수 있다. 또, 주간보다 야간에 더 큰 놀람과 놀라움이 유발되는 어둠-강화 효과가 발생하였다고 설명할 수 있다. 다만, 야간 조건에서 놀람과 놀라움의 생리적, 심리적 반응, 그리고, 큰 크기의 신체 반응이 일어났으나, 생리적 반응의 일부인 RMSSD와 HF는 저시정 조건으로 처치하는 순간에는 유효하였으나, 시간이 지날수록 무기력의 영향으로 효과가 완화되었다고 설명할 수 있다.

(Table 4).

4.2 연구의 의의 및 제한점

본 연구에서는 이륙하는 과정인 제자리 비행 단계에서 예상하지 못한 저시정 조건의 조우가 조종사의 놀람 및 놀라움 반응을 유발하는지를 검증하였다. 지금까지의 연구들은 청각 자극, 화재, 엔진 고장, 실속, 저고도 윈드 시어(wind shear), 자동화 시스템 오류 등을 사용하여 조종사의 놀람이나 놀라움 반응을 측정하였다(Berlinger et al., 1999; Casner et al., 2013; Martin et al., 2016). 그러나, 잘 알려진 요소들을 놀람 및 놀라움의 자극이나 상황으로 사용하여 조종사의 반응을 측정하는 연구이며, 저시정 조건의 조우를 사용한 연구는 없었다.

저시정 조건에 관한 연구로는 의도하지 않은 계기비행 기상 상태(inadvertent instrument meteorological conditions)를 만들어 실험한 연구가 있다. Crognale and Krebs(2011)는 헬리콥터 조종사를 대상으로 하여 양호한 기상 상태에서 5개의 속도와 4개의 고도 조건으로 나누어 안정된 등속 수평비행을 하게 하였다. 비행을 하게 하면서 3분의 시간 동안 시정을 서서히 악화시켜 의도하지 않은 계기비행 기상 상태를 만들었다. 종속변인으로 조종간과 헬리콥터의 피치, 롤 등의 움직임 빈도와 에러율을 측정하였다. 양호한 기상 상태와 비교하였고, 단순한 워크로드의 증가로만 평가하였다. 그런데, 실험에서의 저시정 조건은 기상을 3분 동안 서서히 악화시키는 것으로, 곧 저시정 조건에서 비행하게 될 것이라는 것을 충분히 예상할 수 있는 시간이다. 따라서, 저시정 조건을 놀람 및 놀라움을 유발하는 원인으로 설명하지 못하였다.

본 연구는 예상하지 못한 저시정 조건의 조우가 놀람과 놀라움을 유발한다는 것을 구체적으로 검증한 연구이다. 특히, 실험에서 주로 사용되던 순항단계나 접근단계가 아닌 일반적으로 높은 주의력이 요구되는 이륙 과정에서 놀람과 놀라움의 반응을 검증한 연구이며, 현실에서 주기적으로 발생되고 있는 사고에 대한 연구이다.

예상하지 못한 저시정 조건의 조우는 조종사에게 놀람 및 놀라움 반응을 일으켰고, 특히, 주간보다 야간 조건에서 더 큰 영향을 주었다. 이와 같은 결과는 주기적으로 야간 해상에서 이륙하는 과정에서 발생하는 헬리콥터 사고의 원인은, 예상하지 못한 저시정 조건의 조우로 인한 조종사의 놀람 및 놀라움의 반응 때문일

수도 있다는 것을 시사한다.

더군다나, 실험중 고시정 조건과 저시정 조건의 사이에는 약 5분의 시간 동안 밝은 조명에서 대기하는 시간이 있었으며, 이 시간도 역시 현실과 유사하다. 이 5분의 시간은 헬리콥터가 함정 또는 섬에 착륙한 다음에 환자를 탑승시키고 이륙하기 전까지의 시간과 거의 같다. 착륙 후 약 5분의 시간 동안에는 조명에 의하여 충분한 명순응이 이루어지고, 이러한 과정은 착륙하기 전 조명을 향해 시계비행 방식으로 비행했던 경험의 기억을 지속하게 만든다.

따라서, 이어지는 이륙 과정에서 광원의 효과가 사라진다는 것과 야간에 시각 단서를 식별하기 위한 암순응이 부족하다는 사실을 떠올리기가 어렵다. 이로 인해 시각 단서가 상실되는 상황을 예상하기 어렵게 만들어 놀람과 놀라움이 더 쉽게 유발된다.

특히, 현실에서도 실험 결과와 같이 놀람과 놀라움의 반응으로 움찔하거나 의도하지 않은 신체의 반응이 조종간을 움직일 수 있다. 따라서, 비교적 안정적으로 유지되던 힘의 균형은, 의도하지 않은 조종간 움직임에 의해 흐트러져서 편류나 고도 강하 등이 일어날 수 있다.

그러나, 이런 미세한 헬리콥터의 움직임은 시각적으로 지각되기 어렵다. 저시정 조건으로 인하여 많은 시각 단서들은 사라지게 되고, 주변시각으로 시각장에서 지각되던 시각 단서들의 광학 흐름을 지각할 수 없다. 또, 망막에 맺힌 참고점의 모양과 크기의 변화를 지각하여, 움직임을 지각하게 하던 시각 참고점도 갑자기 사라지게 되므로 헬리콥터의 편류나 고도 강하 등을 알아차리기 어렵다.

만약, 제자리에서 상승하는 단계에서 예상하지 못한 저시정 조건을 조우한다면, 놀람과 놀라움이 유발되고, 이에 대한 반응으로 조종사 수행의 중단(May & Rice, 1971; Burki-Cohen, 2010)이나 정보처리의 손상(Vlasak, 1969; Burki-Cohen, 2010)이 아주 짧은 시간이라도 발생할 수 있다. 그러나, 시각적으로 쉽게 알아차릴 수 있던 헬리콥터의 변화를 조종사는 저시정 조건으로 인하여 지각할 수 없으므로, 순간적으로 편류되어 장애물과 충돌하거나 고도가 강하되어 사고가 일어날 수 있다.

또한, 제자리에서 상승하는 단계를 거쳐서 지속적으로 이륙 과정을 수행할 수 있더라도 이때는 이미 놀람과 놀라움에 의한 급성 스트레스가 유발된 상태이다. 이 상태에서 계속되는 저시정 조건은 조종사의 불안을 유발하고(Kim et al., 2023a, 2023b), 이로 인해 발생하는 스트레스는 놀람과 놀라움에 의해 유발된 급성

스트레스의 악영향을 더 악화시킨다.

스트레스는 비행에 필요한 조종사의 정보처리에 많은 영향을 준다. 스트레스는 단서 샘플링을 제한하고 시각 영역을 좁히며(Bacon, 1974), 작업 기억의 용량을 감소시킨다(Baddeley, 1972). 또한, 스트레스는 분석 기술을 직관적 판단으로 전환하게 하여 편향에 대하여 취약하게 만들므로(Kowalski-Trakofler, Vaught, & Scharf, 2003), 착륙했을 당시의 시계비행 방식을 쉽게 떠 올리게 한다. 또, 일시적으로 시각된 시각 단서만으로 여전히 시계비행 상태라고 편향되게 인식하게 하여, 저시정 조건에서 필요한 계기비행 방식으로의 전환을 방해한다. 이로 인해 외부 시각 단서를 계속 찾게 되나, 시계비행 방식에 반드시 필요한 시각 단서를 찾을 수 없다는 것과 저시정 조건에서 비행한다는 것에 대한 불안과 스트레스가 다시 증가되는 악순환에 빠지게 되어, 사고로도 이어질 수 있다.

이와 같은 연구는 야간 해상에서 이륙하는 과정에서 발생하는 사고들은 조종사의 단순한 과실이 아님을 시사한다. 예상하지 못한 저시정 조건의 조우는 조종사의 놀람 및 놀라움 반응을 유발하고, 비행에 필요한 조종사의 정보처리, 의사결정과 수행에 직접적으로 영향을 주어 사고로 이어지게 할 수 있다는 것을 의미하며, 이를 대비할 수 있는 현실적인 대책이 필요하다.

또, 이런 구체적인 조건의 실험 연구는 보고서에만 존재하고 있던 요소들을 검증하여, 사고 조사를 조금 더 과학적으로 설명하고, 원인 분석과 이에 따른 예방 대책 수립에도 기여할 수 있다. 따라서, 새로운 요소나 사고 원인일 수 있는 조건들에 대한 구체적인 실험 연구도 중요함을 시사한다.

본 연구에서는 이미 타당도가 검증된 가상현실의 장비를 사용하였고, 전문성이 높은 참가자들을 대상으로 하여 실험하였다. 실험에서 예상하지 못한 저시정 조건의 조우는 놀람과 놀라움을 유발함을 증명하였다. 만약 현실의 이륙 과정에서 예상하지 못한 저시정 조건을 조우한다면, 더 큰 악영향을 줄 수 있다. 또한, 전문성이 있는 조종사들보다 전문성이 부족한 조종사들은 저시정 조건에서 수행의 저하가 더 크게 나타나므로(Crognale et al., 2011) 더 큰 어려움을 겪을 수 있다.

실험은 늦은 오후의 시간과 저녁 시간대에 실시하였다. 따라서 시간 차이에 따른 가용한 호르몬(CRH)의 차이가 크지 않아 어둠-강화 효과가 크지 않았을 수 있다. 만약, 호르몬이 더 감소되는 늦은 밤이나 새벽에

놀람 및 놀라움의 반응이 일어난다면 어둠-강화 효과가 더 크게 나타나게 된다.

또, 실험에서는 생리학적 측정을 위하여 1분 동안의 데이터를 사용하였다. 이로 인해 순간적으로 유발된 놀람 및 놀라움의 반응이 시간이 지남에 따라서 완화되었을 수 있다. 만약, 현실에서 놀람과 놀라움의 반응이 순간적으로 일어난다면 이때는 조종사에게 더 큰 악영향을 미칠 수 있다.

실험에서는 놀람 및 놀라움의 반응을 측정하기 위하여 참가자로 하여금 이륙 과정 중의 하나인 제자리 비행을 수행하게 하면서, 실험자가 조도의 감소 등을 처치하여 저시정 조건을 구현하였다. 따라서, 상승 조작 등으로 인한 조종간의 움직임 배제하고, 놀람과 놀라움의 신체 반응으로만 설명될 수 있는 조종간의 움직임까지 정확하게 측정할 수 있었다. 그러나, 현실에서는 제자리 비행을 하는 도중에 갑작스럽게 기상 조건이 바뀌는 경우는 거의 없으며, 주간 조건에서는 더욱 그렇다. 그러나, 이륙하는 과정인 제자리에서 이륙 결심 고도(takeoff decision point)까지 높게 상승하거나, 증속 및 상승 조작을 하여 안정적인 수평비행 단계로 진입하는 과정에서는 저시정 조건에 조우할 수 있다. 특히, 광원으로부터 멀어지게 되는 야간 조건에서는 가능성이 더 높다.

본 연구에서는 항공 분야에서 놀람이나 놀라움을 주는 자극이나 상황이 놀람과 놀라움 반응을 동반할 것으로 가정하였다. 그리고, 실험에서 놀라움을 일으킨다고 여겨지는 저시정 조건에서, 지금까지 놀람 반응을 강화시킨다고 알려져 있는 공포-강화 효과와 어둠-강화 효과가 나타났다. 그러나, 놀라움을 일으키는 상황이 놀람 반응을 동반하여 공포-강화와 어둠-강화 효과가 나타났는지, 놀라움을 일으키는 상황만으로도 공포-강화 효과와 어둠-강화 효과를 유발하는지를 본 실험만으로는 검증하기 어렵다. 놀라움 상황이 공포-강화 효과와 어둠-강화 효과를 유발시키는 인체 시스템의 메커니즘에 대해서도 추가적인 연구가 필요하다.

V. 후 기

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. Beringer, D. B., and Harris, Jr, H. C., "Automation in general aviation: Two studies of pilot responses to autopilot malfunctions", *The International Journal of Aviation Psychology*, 9(2), 1999, pp.155-174.
5. Bishop, S. J., "Trait anxiety and impoverished prefrontal control of attention", *Nature Neuroscience*, 12, 2009, pp.92-98.
6. Blumenthal, T. D., Cuthbert, B. N., Filion, D. L., Hackley, S., Lipp, O. V., and Van Boxtel, A., "Committee report: Guidelines for human startle eyeblink electromyographic studies", *Psychophysiology* 42(1), 2005, pp.1-15.
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, Judith. "Technical challenges of upset recovery training: Simulating the element of surprise", *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*, 2010, pp.8008.
9. Carlsen, A. N., Chua, R., Inglis, J. T., Sanderson, D. J., and Franks, I. M., "Motor preparation in an anticipation-timing task", *Experimental Brain Research*, 190(4), 2008, pp.453-461.
10. Casner, S. M., Geven, R. W., and Williams, K. T., "The effectiveness of airline pilot training for abnormal events", *Human Factors*, 55(3), 2013, pp.477-485.
11. 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.
12. 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.
13. Crognale, M. A., and Krebs, W. K., "Performance of helicopter pilots during inadvertent flight into instrument meteorological conditions", *The International Journal of Aviation Psychology*, 21(3), 2011, pp.235-253.
14. Davis, M., "Are different parts of the extended amygdala involved in fear versus anxiety?", *Biological Psychiatry*, 44(12), 1998, pp.1239-1247.
15. 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, 1059476.
16. Edland, A., "On cognitive processes under time stress: A selective review of the literature on time stress and related stress", *Reports from the Department of Psychology, Stockholm: University of Stockholm, Sweden*, 1989, Supplement series no. 68.
17. Ekman, P., Friesen, W. V., and Simons, R.

- C., "Is the startle reaction an emotion?", *Journal of Personality and Social Psychology*, 49(5), 1985, pp.1416-1426.
18. et d'Analyses, Bureau d'Enquêtes, "Final report on the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro - Paris", BEA, Paris, 2012.
 19. Eysenck, M. W., Payne, S., and Derakshan, N., "Trait anxiety, visuospatial processing, and working memory", *Cognition and Emotion*, 19, 2005, pp.1214 - 1228.
 20. Federal Aviation Administration, "Airplane Flying Handbook: FAA-H-8083-3C", Aviation Supplies & Academics(ASA), 2021.
 21. Federal Aviation Administration, "Stall Prevention and Recovery Training(FAAAC: 120-109A)", Washington, U.S. Department of Transportation, 2015, p.3.
 22. Grillon, C., and Baas, J. "A review of the modulation of the startle reflex by affective states and its application in psychiatry", *Clinical Neurophysiology*, 114(9), 2003, pp. 1557-1579.
 23. 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.
 24. Kang, Y. H., "Analysis on pilot's experiences and effects of voice procedure under spatial disorientation", M. S. Thesis, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea. 2020.
 25. Kim, J. T., "The relationship between Trait - Anxiety and sociality: Focusing on Spielberger's STAI", M. S. Thesis, Korea University, Seoul, Republic of Korea, 1978.
 26. Kim, M., Kim, S., & Li, H. O., "Effect of weather, flight, and time conditions on anxiety and time perception of helicopter pilots in flight", *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 26(1), 2023a, pp.65-78.
 27. 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), 2023b, pp.29-40.
 28. 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.
 29. Kline, T. J., "Psychological Testing: A Practical Approach to Design and Evaluation", Sage publications, 2005.
 30. Kochan, J. A., Breiter, E. G., and Jentsch, F., "Surprise and unexpectedness in flying: Database reviews and analyses", *The Human Factors and Ergonomics Society 48th Annual Meeting*, Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, CA, 200, pp.335-339.
 31. Kowalski-Trakofler, K. M., Vaught, C., & Scharf, T., "Judgment and decision making under stress: an overview for emergency managers", *International Journal of Emergency Management*, 1(3), 2003, pp. 278-289.
 32. Lee, S., Lee, K., and Park, W., "A study on the helicopter pilot's psychological and physiological influences by 'surprise and startle effect': Comparison by pilot certificate (private and commercial)", *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 29(4), 2021, pp.28-36.
 33. 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*, 2016.
 34. Martin, W. L., Murray, P. S., Bates, P. R.,

- and Lee, P. S. Y., "Fear-potentiated startle: A review from an aviation perspective". *International Journal of Aviation Psychology*, 25, 2015, pp.97-107.
35. May, D. N., and Rice, C. G., "Effects of startle due to pistol shots on control precision performance", *Journal of Sound and Vibration*, 15(2), 1971, pp.197-202.
36. Meindersma, T., Kloosterman, N. A., Engel, A. K., Wagenmakers, E.-J., and Donner, T. H., "Surprise about sensory event timing drives cortical transients in the beta frequency band", *Journal of Neuroscience*, 38, 2018, p.7600 - 7610.
37. Meyer, W.-U., Niepel, M., Rudolph, U., & Schützwohl, A., "An experimental analysis of surprise", *Cognition & Emotion*, 5(4), 1991, pp.295-311.
38. Meyer, W.-U., Reisenzein, R., and Schützwohl, A., "Toward a process analysis of emotions: the case of surprise", *Motiv. Emot.* 21, 1997, pp.251-274.
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, Washington, DC, 2004.
40. Parikh, A., and Patel, H., "Drowsy driving detection based on RR cycle of ECG", *International Journal of Innovative and Emerging*, 2014.
41. Previc, F. H., and Ercoline, W. R., "Spatial disorientation in aviation: Historical background, concepts, and terminology", American Institute of Aeronautics and Astronautics, Lexington, MA, 2004, pp.1 - 36.
42. Rivera, J., Talone, A. B., Boesser, C. T., Jentsch, F., and Yeh, M., "Startle and surprise on the flight deck: Similarities, differences, and prevalence", *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58, 2014, pp.1047 - 1051.
43. Spangler, C., and Park, A., "Loss of control on approach colgan air, Inc., Operating as Continental Connection Flight 3407 Bombardier DHC-8-400, N200WQ Clarence Center, New York February 12, 2009", *ACM SIGGRAPH 2010 Dailies*, 2010, pp.1-1.
44. Spielberger, C. D., "Manual for the State-Trait Anxiety Inventory(self-evaluation questionnaire). (No Title)", 1970.
45. Sullivan, G. M., Apergis, J., Bush, D. E. A., Johnson, L. R., Hou, M. J. E. L., and Ledoux, J. E., "Lesions in the bed nucleus of the stria terminalis disrupt corticosterone and freezing responses elicited by a contextual but not by a specific cue-conditioned fear stimulus". *Neuroscience*, 128 (1), 2004, pp. 7-14.
46. Vlasak, M., "Effect of startle stimuli on performance", *Aerospace Medicine*, 40(2), 1969, pp.124-128.
47. Walker, D. L., and Davis, M., "Double dissociation between the involvement of the bed nucleus of the stria terminalis and the central nucleus of the amygdala in startle increases produced by conditioned versus unconditioned fear", *Journal of Neuroscience*, 17(23), 1997, pp.9375-9383.
48. Wiegman, D. and Schapelle, S., "A human error approach to aircraft accident analysis: The Human Factors Analysis and Classification System", Ashgate, Aldershot, UK, 2003.