

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2021.29.2.067>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

한국 운항승무원의 전문성이 장거리 비행 피로에 미치는 효과

이재윤*, 신용환*, 손영우**

The Effect of Korean Flight Crews' Expertise on Long-Haul Flight Fatigue

Jae Yoon Lee*, Yong Hwan Shin*, Young Woo Sohn**

ABSTRACT

Factors that cause fatigue, such as circadian rhythm abnormalities, have adverse effects on long-haul flights. Among many elements, the present study focused on the flight crew's expertise as a crucial factor that could influence their fatigue. The purpose of the study was to demonstrate whether long-haul flights cause fatigue and to examine whether this symptom differed between low- and high-experienced flight crews. A total of 62 Korean flight crews were informed to perform a five-minute psychomotor vigilance task twice each before and after the flight to measure objective fatigue level. Also, they were asked to indicate current flight experience to identify their expertise. Results revealed that fatigue was significantly increased after the flight compared to before the flight but this increase was significant for flight crews with low expertise not for flight crews with high expertise. Implications of our findings and limitations of the present study were discussed.

Key Words : Flight Crew(항공운항승무원), Fatigue(피로), Expertise(전문성), Long-Haul Flight(장거리 비행), Psychomotor Vigilance Task(인지행동 각성도 측정장치)

1. 서 론

피로는 최근 다양한 분야에서 큰 관심을 받고 있지만, 분야마다 피로를 다르게 정의하고 있음을 볼 수 있다. 예컨대, Davis와 Walsh(2010)는 피로를 신체 및 정신 에너지의 부족과 동기 부족이라 정의하고 있다. 항공 분야에서는 피로를 “수면 부족, 긴 시간동안의 각성상태, 일주기 리듬의 변동 또는 업무 과부하의 결과로 발생하는 정신적 혹은 신체적 수행 능력이 저

하된 생리적 상태”라 정의하고 있다(국제민간항공기구; International Civil Aviation Organization; 이하 ICAO; ICAO, 2011). 항공 분야는 40년이 넘는 기간 동안 항공 분야 종사자들의 피로 요인에 관심을 가져왔으며, 실제로 피로는 항공 운항승무원의 수행 저하에 지대한 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다(미국 연방항공청; Federal Aviation Administration; 이하 FAA; FAA, 2012).

다양한 기술의 발전과 국제화로 인해 최근 대다수 항공 분야는 24/7 근무 시스템을 채택하고 있으며, 이는 운항승무원의 피로를 더욱 가중시키고 있다. 그 결과, Cho(2002)의 연구에 따르면, 기체 결함, 날씨, 관제 오류 등의 이유보다 운항승무원의 인적 요인이 더 높은 사고 유발 요인이라고 하였다. 다양한 기존 문헌(e.g. Caldwell, Caldwell, and Darlington 2003; Davis, Johnson, Stepanek, and Forgarty, 2008)에

Received: 03. May. 2021, Revised: 10. May. 2021,
Accepted: 25. May. 2021

* 연세대학교 심리학과 박사과정

** 연세대학교 심리학과 교수

연락처 E-mail : ysohn@yonsei.ac.kr

연락처 주소 : 서울 서대문구 연세로 50 연세대학교

심리학과

서도 운항승무원의 피로는 그들의 24시간 주기 신체리듬(circadian phase)의 악화로 이어지고 이는 항공 사고로 이어질 수 있다고 주장하고 있다. 이렇듯, 운항승무원의 피로 관리에 관한 중요성은 지속해서 대두되고 있는데, 국내에서는 아직 이를 과학적인 방법으로 접근하여 진행한 연구가 부족한 편이다.

다양한 연구에서 운항승무원의 피로에 영향을 미치는 요인을 밝혀왔다. 대표적으로 비행거리, 비행 방향(Gander et al., 2013), 비행 중 휴식(Roach, Darwent, Sletten and Dawson, 2011), 비행 이착륙 시간(Paries and Wreathall, 2017) 등이 거론되고 있다. 이 중 비행거리와 비행 방향은 운항승무원의 피로 요인으로 지속적인 관심을 받고 있다. 특히 동쪽으로의 장거리 비행은 다른 비행보다도 운항승무원의 피로에 더 지대한 영향을 끼친다. 장거리 비행 시 운항승무원들은 여러 표준 시간대를 지나게 되고, 이는 신체 주기와 현지 시각이 일치하지 않게 만든다. 그 결과, 시차증(jet lag)을 강하게 겪게 되며, 이는 피로 수준에 부적인 영향을 미친다(Simmons, McGrane, and Wedmore, 2015). Fowler, Duffield와 Vaile(2015)의 연구에서도 시차증에 의한 여행 피로는 기분과 부적인 영향을 가지며, 신체 수행 능력을 저하한다고 하였다. 특히 동쪽으로의 비행할 때 이러한 현상은 더욱 두드러지게 나타난다. 동쪽으로 비행을 할 때 다른 방향의 비행과 가장 큰 차이점은 사람들의 24시간 주기의 단계(circadian phase)가 앞당겨진다는 것이다(Samuel, 2012). 이러한 생체리듬의 앞당겨짐은 비행 후 회복에 더 많은 소요를 하게끔 한다(Caldwell, 2005). 시차증으로 인한 운항승무원 피로 연구는 해외에 많은 연구가 이루어지고 있지만, 국내에서는 아직 이를 다룬 연구가 부족하다. 따라서, 본 연구에서는 미주 장거리 동쪽 비행을 하는 국내 운항승무원을 대상으로 그들의 비행 전, 후의 피로 수준을 객관적으로 측정하고자 하였다.

모든 운항승무원이 비행거리와 비행 방향에 동일하게 영향을 받지는 않을 것이다. 특정 직군에서 오랫동안 수행을 해오면 업무를 제약하는 조건에서도 최적의 수행과 효율성을 극대화할 수 있다(Masunaga and Horn, 2001). 이는 곧 해당 직군에서 전문성을 가졌다고 정의할 수 있다. 전문성을 가지고 있는 사람은 다양한 연구(e.g. Persky and Robinson, 2017)에서 그렇지 않은 초보 집단보다 높은 성과를 내는 것으로 알려졌다. 다양한 기술과 절차를 요구하는 항공 운항승무원에게도 전문성은 중요한 요인으로 여겨질 수 있을 것이다. Naeeri, Mandal과 Kang(2019)의 항공 관련 실험 상

항 연구에서 초보자 집단(경력 1년 미만)은 전문가 집단(경력 1년 이상)보다 수행 수준과 각성상태가 더 낮았음을 보였다. 이는 비행 관련 상황에서 전문가 집단이 오랜 경력을 바탕으로 초보자 집단보다 효율적으로 일을 처리했음을 볼 수 있다. 이를 바탕으로 실제 비행 상황에서도 전문가 집단은 초보자 집단보다 수월하게 비행을 수행할 것이며 이는 곧 그들의 피로 수준에도 영향을 미칠 것이라 예상할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 현장 연구 상황에서 장거리 동쪽 비행이 피로에 미치는 효과가 경력에 따른 차이를 보이는지 살펴보고자 하였다.

본 연구의 목적은 국내 운항승무원들의 장거리 동쪽 비행 후의 피로 수준을 객관적인 수준에서 검증하는 것이다. 더불어, 운항승무원들의 피로 수준이 전문성 수준에 따라 차이를 보이는지 살펴봄으로써 국내 항공 피로 관리 개선 방안을 위해 고려해야 할 실용적인 정보를 제공하고자 한다.

II. 이론적 고찰 및 연구 가설

2.1 운항승무원 피로의 부정적 영향

피로는 보편적으로 신체적 또는 심리적으로 소진된 상태라고 정의되고 있다(Mayo, 2004). 사람마다 피로를 경험하는 것은 주관적이기 때문에 피로의 세부 정의는 분야마다 다양하지만, 피로로 인한 신체적, 심리적 부담은 일의 효율을 낮추고, 주의 집중을 방해하며, 의사결정에 방해요인이 된다는 주장에서는 공통점을 보인다(Baker, Heiler, and Ferguson, 2003). ICAO에서는 피로를 수면 부족, 긴 시간 깨어있는 시간, 업무 부담 등으로 인해 운항승무원들이 주의 집중이나 안전 수행을 하기 어려워지는 신체적 상태라 정의하고 있고, 모든 항공 분야에서 이 정의를 따르고 있다(ICA0, 2016).

운항승무원의 피로는 보편적으로 세 정의로 나누어지며, 이는 각각 일시적 피로(transient fatigue), 누적 피로(cumulative fatigue), 그리고 생체 피로(circadian fatigue)이다(Satterfield and van Dongen, 2013). 일시적 피로는 급성 피로와 비슷하여 일정 시간의 휴식을 취하면 쉽게 풀리는 피로를 의미한다. 반면, 누적 피로는 과도한 비행 업무로 인해 발생하여 지속해서 누적되면 만성적 피로로 변질 위험이 있다. 또한, 누적 피로는 수행 감소와 비행 안전 위험과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 누적 피로에 영향을 미치는 대표적인 요인으로는 수면 부족, 일정하지 않은 비행

일정, 개인 신체/심리 상태 등이 있다(Caldwell, 2005; Williams et al., 2011). 다른 분야와는 달리 운항승무원의 경우 생체 피로를 겪기도 한다. 생체 피로는 개인의 생체리듬 주기가 지속해서 달라질 때 발생하며, 이를 발생시키는 요인으로는 지속적인 표준 시간대 이동으로 인해 발생하는 개인이 본래 거주하는 시간대와 비행 도착지 시간대의 적응 문제가 있다(Hobbs, Williamson, and van Dogen, 2010).

누적 피로와 생체 피로는 운항승무원의 피로 수준을 높여 단기적, 장기적으로 신체적, 인지적, 동기적 차원에서 모두 부적인 영향을 미친다. 단기적으로 높은 피로 수준은 심장 박동수, 혈액 순환, 활동력과 같은 신체적 기능 저하를 유발하며, 이는 의사결정과 수행에 부적인 영향을 미친다. 높은 피로 수준이 장기적으로 이어지게 되면 높은 혈압, 위궤양, 가슴 통증과 같은 신체 상태에 부적인 영향을 미치며, 심리적 우울감도 증가시킨다(Vogt and Leonhardt, 2005). 또한, 인지적 저하도 일으켜 집중력, 기억력, 주의력 감소를 유발하며, 궁극적으로 일 효율성 감소와 직무 수행에서 더 많은 오류를 유발하게 된다(Goldstein et al., 2010; McLellan, Caldwell, and Lieberman, 2016).

항공 분야의 피로 연구는 광범위한 영역에서 활발하게 진행되고 있으며, 연구 방법 역시도 다양하다. 이중 가장 과학적이며 객관적인 피로 측정 방법으로 인지행동 각성도 측정장치(psychomotor vigilance task; 이하 PVT)가 쓰이고 있다. PVT를 측정 검사로 사용하면 측정 시점에서의 인지 각성상태를 객관적으로 파악할 수 있으며, 낮은 인지 각성상태는 높은 피로 수준으로 정의할 수 있다. 예컨대, Gander et al.(2014)의 종단 연구에서 운항승무원의 비행 이착륙 시간에 따른 피로 수준을 비교하기 위해 델타 항공 운항승무원을 대상으로 비행 전과 강하 시점(top of descent) 두 시점에서 PVT를 시행하도록 하였다. 그 결과, 비행 도착 시간이 평소 신체 주기와 차이가 크게 나는 집단에서 그렇지 않은 집단보다 강하 시점에서의 PVT 수행 수준이 낮다는 결론을 도출하여 신체 주기 불균형이 피로에 미치는 영향을 객관적으로 입증하였다. 또한, 업무 부하에 따른 피로 수준 차이를 살펴보기 위해, 단거리 비행에서 운항승무원들에게 강하 시점에서 PVT를 수행하게 하였고, 주관적 업무 부하를 높게 보고하는 경우 PVT 수행 능력이 낮아짐을 통해 주관적인 업무 부하와 피로 수준 차이를 입증하였다(Arsintescu, Chachad, Gregory, Mulligan, and Flynn-Evans, 2020). 이렇듯, 각 비행 시점에서 PVT를 종단적으로 측정하면 다

양한 비행 요인에 따른 피로 수준 비교를 객관적으로 입증할 수 있다. 본 연구도 위의 측정법을 응용하여 국내 운항승무원의 피로 수준에 과학적인 방법으로 접근하고자 하였다.

2.2 장거리 동쪽 비행과 피로의 관계

비행거리와 비행 방향은 운항승무원의 객관적인 피로 수준에 영향을 미치는 주요한 요인이다. 인체의 일 주기는 대략 25시간으로 일반적인 24시간보다 1시간 더 많은 것으로 알려져 있다(Caldwell, 2005). 이러한 이유로 표준 시간대를 더 많이 지나게 되는 장거리 비행일수록 시차증으로 인한 피로에 더 큰 영향을 받는다. 또한, 같은 장거리 비행이라도 비행 방향에 따라 피로 수준이 다르므로 이를 혼합해서 고려해야 한다. 예컨대, 장거리 남쪽 또는 북쪽 비행의 경우, 장거리 비행일지라도 표준 시간대를 지나지 않기 때문에 반복적인 비행 경험을 통해 피로 수준 완화가 가능하다. 반면, 동쪽 또는 서쪽 비행의 경우, 표준 시간대를 지남에 따라 이착륙 장소의 시간대가 달라 이에 적응하지 못해 비행 후 느끼는 피로 수준이 높아진다(Moskvitch, 2016). 특히 동쪽 비행은 서쪽 비행과 달리 착륙 장소에서 인체의 일주기가 앞당겨져 시차증으로 인한 피로가 더 높은 것으로 알려졌다(Weitzman, Moline, Czeisler, and Zimmerman, 1982).

표준 시간대를 많이 지나는 비행일수록 운항승무원의 신체는 새로운 시간대에 적응해야 하며, 이는 지속적인 피로를 야기하고, 동기와 집중력 저하를 일으킨다(Simmons, McGrane, and Wedmore, 2015). Gander et al. (2014)의 현장 연구에서도 장거리 동쪽 비행을 한 운항승무원이 장거리 서쪽 비행을 한 운항승무원보다 생체 주기 불일치로 인한 피로 수준에 더 민감하다고 하였다. 이는 다른 산업 분야에서도 동일하게 나타나는 현상임을 알 수 있다(Song, Severini, and Allada, 2017). 이렇듯, 다양한 연구(e.g. Thun, Bjorvatn, Flo, Harris, and Pallesen, 2015)에서 비행거리와 비행 방향이 피로에 미치는 부적인 영향을 설명하고 있다. 본 연구는 국내 운항승무원의 장거리 동쪽 비행에 따른 비행 전, 비행 후의 피로 수준 차이를 입증하고자 한다. 이를 바탕으로 본 연구의 가설을 아래와 같이 설정하였다.

H-1. 장거리 동쪽 비행 시, 항공 운항승무원의 피로 수준은 비행 전보다 비행 후에 증가할 것이다.

2.3 전문성과 피로의 관계

다양한 기술의 발달로 비행 절차도 많은 자동화가 이루어지고 있다. 이에 따라, 비행의 전문성이 주목받기 시작하였다. Ericsson(2006)에 의하면 전문성을 특정 영역에서 오랜 경험을 통한 기술 또는 지식을 통해 경험이 부족한 사람보다 수행 수준이 뛰어난 정도라 정의하였다. 특정 영역의 전문가는 일을 처리하는 데 자동화가 내재되어 있어, 다양한 업무 제약 속에서도 최적의 수행을 할 수 있는 기술을 보유하고 있다(Masunaga and Horn, 2001). 이러한 전문성을 통해 본인에게 유리하지 않은 조건에서도 이를 통제하고 이해함으로써 효과적인 의사결정을 할 수 있고, 자신이 수행하고 있는 인지과정을 초보자보다 쉽게 관리하고 수행할 수 있다(Majumdar and Ochieng, 2002). 이는 곧 장거리 비행 시, 경험이 많은 운항승무원은 낮은 운항승무원보다 피로 요인에 효율적으로 대응하여, 피로 관리에 더 뛰어난 전략을 보여 줄 것이라 예상할 수 있다.

Knight, Horsley, and Eliot(2014)에 의하면 전문가 운항승무원이 초보자 운항승무원보다 뛰어난 수행 능력을 보여준다고 하였다. 또한, 다양한 비행 시뮬레이션에서 초보자 운항승무원이 전문가 운항승무원보다 상황 파악 능력에서 어려움을 나타냈다(Bellenkes et al., 1997). Naeeri, Mandal, and Kang(2019)의 실험 연구에서 운항승무원을 전문가 집단과 초보자 집단으로 나누어서 다양한 인지적 각성 수행을 비교해본 결과, 전문가 집단에서 시뮬레이션 이후 PVT 반응 시간과 실수 빈도가 초보자 집단보다 유의하게 낮음을 보였다. 이외 다양한 실험 상황 연구(e.g. Ho, Su, Li, Yu, and Braithwaite, 2016; Xiong, Want, Zhou, Liu, and Zhang, 2016)에서 특정 수행 이후 운항승무원의 인지적 각성 수준이 전문가 집단에서 초보자 집단보다 높았음을 입증하였다. 이는 비행 관련 수행 이후 피로 수준이 전문성에 의해 차이를 보임을 나타낸다. 실험 상황과 달리, 현장에서는 비행 시 더 많은 고려 요소가 존재한다. 특히 장거리 동쪽 비행의 경우 실험 상황에서 통제할 수 없는 주요한 요인(ex. 시차증)이 피로에 영향을 미친다. 그리하여 실제 비행 시 전문가 집단보다 초보자 집단에 더 많은 인지적 수행 능력이 요구될 것이며, 이는 곧 더 높은 피로 수준을 초래할 것이라 예상할 수 있다. 따라서, 위의 이론에 근거하여 구체적인 연구 가설을 아래와 같이 설정하였다.

H-2. 장거리 동쪽 비행 전, 후에 따른 피로 변화는

비행 경력에 따라 차이가 있을 것이다. 구체적으로, 비행 경력이 더 높은 집단은 낮은 집단보다 비행 후 피로 수준이 낮을 것이다.

III. 연구 방법

3.1 연구 절차

본 연구는 연세대학교 생명윤리위원회로부터 승인을 받은 후 진행하였다. 연구 시작 전, 모든 참가자에게 연구 동의서를 통해 승인을 받았으며, 자발적으로 참여한 참가자에만 연구를 진행하였다. 참가자들의 비행 일정은 각 항공사로부터 전달받았다.

참가에 동의한 운항승무원들에게는 비행 이틀 전에 연구에 필요한 장비(PVT, 인구통계학 설문지)를 전달하였으며, 전달 과정에서 PVT 사용법과 시행 시점(비행 직전, 비행 직후)에 관한 정보를 제공하였다. 장비 회수는 비행을 마치고 돌아온 이후에 이루어졌다.

3.2 연구 대상

본 연구는 장거리 비행과 동쪽 비행의 요인을 동시에 만족시키는 인천-LA(장거리 동쪽) 비행을 나가는 A와 B 항공 운항승무원을 대상으로 진행하였다. 두 항공사 모두 출발지는 인천 공항이며, 도착지는 로스앤젤레스(LA) 국제공항이다. A항공사의 미주 장거리 비행의 경우, 세 명의 운항승무원으로 편조를 이루어 출발하며, 3박 4일의 운항 일정으로 진행한다. 인천발 비행은 총 11시간 40분의 비행시간이 소요된다. 본 연구에는 총 33명의 운항승무원이 참여하였으며, 이들의 직급은 11명의 기장과 22명의 부기장으로 나누어진다. 참가자들의 평균 나이는 43.72(SD = 5.63)이며, 총 비행 경력은 평균 6,884.85(SD = 3,907.93)시간이다. 총 경력 중, 미주 장거리 동쪽 비행의 경력은 평균 1,870.00(SD = 1,163.16)시간이다. A항공사 운항승무원들의 자료는 6월 중순부터 7월 중순까지 수집을 진행하였다.

B 항공사의 미주 장거리 비행의 경우, 2 sets 편조로 2박 3일의 운항 일정을 소화하며, A항공사와 마찬가지로 인천발 비행시간은 11시간 40분으로 동일하다. 본 연구에는 총 29명의 운항승무원이 참여하였으며, 이들의 직급은 12명의 기장과 17의 부기장으로 구성되어 있다. 참가자들의 평균 나이는 42.00(SD = 6.02)이며, 총 비행 경력은 평균 7,103.37(SD = 3,978.04)

시간이다. 총 경력 중, 미주 장거리 비행의 경력은 평균 595.56($SD = 444.76$)시간이다. B항공사 운항승무원들의 자료는 7월 말부터 8월 말까지 수집을 진행하였다.

3.3 조사 도구

3.3.1 인구통계학적 설문

모든 참가자에게 연구를 진행하기에 앞서, 인구통계학적 변인이 포함된 설문지를 작성하도록 하였다. 본 설문지는 참가자의 나이를 주관식으로 작성할 수 있게 구성하였고, 연구 기간 직전까지의 총 비행시간 경력을 주관식 문항으로 포함하였다.

3.3.2 인지행동 각성도 측정장치(PVT)

본 연구에서는 참가자들의 객관적인 피로 수준을 파악하기 위해 PVT를 시행하도록 하였다. PVT는 5분 동안 실시되는 반복 작업으로 각자 전달받은 스마트폰에 애플리케이션으로 설치되어 있다. 본 연구에서 사용된 소프트웨어는 University of Washington에서 개발된 프로그램으로 기존 문헌(e.g. Kay et al., 2013)에서 타당성이 검증되었다. 해당 검사는 ICAO에서 피로 관련 연구를 위해 가장 널리 쓰이고 있는 방법으로 (ICAO, 2011), 다양한 항공 연구(e.g. Gander et al., 2013)에서 피로를 측정하기 위해 채택되고 있다.

모든 참가자는 PVT를 총 2회 실시한다. 첫 번째는 인천발 비행기에 탑승하기 전에 시행하고, 두 번째는 LA 도착 직후에 시행한다. PVT 시행은 3분, 5분, 10분으로 시행할 수 있지만, 기존 문헌(e.g. Balkin et al., 2004)에 근거하여 5분으로 진행하였다. 또한, 오염요인을 방지하기 위해 모든 참가자에게 동일한 스마트폰을 지급하여 같은 규격의 화면에서 검사를 시행할 수 있도록 하였다.

각 시행 시점에서 참가자들은 스마트폰에 설치된 PVT 소프트웨어를 실행시키며, 검사는 바로 시작된다. 시작 시, 화면에 흰색 배경의 빈 화면이 등장한다. 참가자들이 화면을 주시하고 있으면, 2초에서 10초 사이에 타일 무늬의 문양이 빠르게 나타났다가 사라진다. 타일 무늬가 나타날 때 최대한 빠르게 화면을 터치하며, 이 과정이 5분 동안 반복된다. 각 회차가 끝나면 반응 시간은 millisecond(ms)로 자동으로 소프트웨어에 저장된다. 반응 시간이 높은 경우, 인지적 수행 능력의 감소가 있음을 의미하며, 이는 곧 수행 시점에서의 피로

수준이 높다는 의미이다. 따라서, 본 연구에서는 각 회차의 반응 시간의 평균을 분석의 변인으로 사용하였다.

3.3.3 현 비행 기종 경력

본 연구에서 운항승무원의 전문성에 따른 차이를 분석하기 위해 현 비행 기종 경력을 분석 변인으로 사용하였다. 항공 운항은 비행거리(e.g. Powell, Spencer, Holland, Broadbent, and Petrie, 2007; Vejvoda et al., 2014), 비행시간(e.g. van Dongen and Dinges, 2000), 비행 방향(e.g. Simmons, McGrane, and Wedmore, 2015) 등에 따라 운항승무원들이 익혀야 할 전략과 절차가 다양하다. 이러한 점을 미루어 보아, 운항승무원의 전문성을 반영하기 위해서는 총 비행시간 경력보다는 미주 장거리 비행의 경력을 변인으로 사용하는 것이 더 유용하다. 따라서, 참가자들에게 현 비행 기종 경력을 기재하도록 하였고, 이를 평균을 기준으로 평균보다 높은 집단과 낮은 집단의 두 더미변수(0 = 낮은 집단, 1 = 높은 집단)로 생성하였다.

3.3.4 통제 변인

본 연구는 미주 장거리 동쪽 비행 운항승무원 모집을 위해 두 항공사의 자료를 수집하였다. 각 항공사의 특성이 다름을 고려하여, 항공사를 통제 변인으로 설정하였다. 이를 위해 항공사를 더미변수(0 = A 항공사, 1 = B 항공사)로 지정하여 분석에 사용하였다.

3.4 분석 방법

본 연구는 비행 전과 비행 후의 피로 차이와 이 피로 차이가 현 비행 기종 경력에 따라 다른지 검증하기 위해 반복측정 이원 배치 공분산 분석(two-way repeated measure ANCOVA)을 실시하였다. 본 연구의 자료 분석은 IBM SPSS 25.0을 사용하였다.

IV. 연구 결과

비행 전과 비행 후의 피로 수준 변화를 살펴보기 위해 반복측정 이원 배치 공분산 분석을 시행하였다. 그 결과, PVT 측정 시점(비행 전, 비행 후)에 따른 반응 시간의 주효과는 통계적으로 유의하였다. ($F(1, 55) = 29.01, p = .00$). 구체적으로, 비행 전($M = 412.12, SD = 10.91$) 반응 시간보다 비행 후($M = 509.49, SD = 22.49$) 반응 시간이 유의하게 증가했음을 볼 수 있

었다. 따라서, 장거리 비행 전, 후에 피로 수준에 차이가 있을 것이라는 H-1은 지지되었다.

동일한 분석으로 비행 전, 후에 따른 피로 수준의 차이가 현 비행 기종 경력에 따라 달라지는지 확인하였다. Fig. 1에서 나타나듯이 PVT 수행 시점과 현 비행 기종 경력 간 이원 상호작용 효과가 나타났다($F(1,55) = 10.43, p = .00$). 즉, 비행 전에는 경력이 낮은 집단($M = 407.55, SD = 16.22, N = 34$)과 경력이 높은 집단($M = 434.67, SD = 20.36, N = 24$)의 반응 시간이 유의하지 않았지만($F(1,55) = .84, p = .36$), 비행 후에는 경력이 낮은 집단($M = 589.33, SD = 33.53, N = 34$)이 경력이 높은 집단($M = 429.65, SD = 42.09, N = 24$)보다 반응 시간이 유의하게 높았다($F(1,55) = 6.79, p = .01$). 따라서, 장거리 동쪽 비행 전, 후에 따른 피로 변화는 현 기종 비행 경력에 따라 차이가 있을 것이라는 H-2 역시 지지되었다.

V. 결 론

본 연구는 장거리 동쪽 비행으로 인한 운항승무원의 비행 전, 후 피로의 차이를 살펴보았다. 또한, 비행 전, 후 피로 수준이 운항승무원의 경력에 따라 차이가 발생하는지 검증하였다. 본 연구 가설에 관한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구의 결과에서 운항승무원들의 장거리 동쪽 비행 전과 후의 피로 수준 차이가 유의하였다. 이는 기존 문헌(e.g. Vidulich and Tsang, 2019; Lamp, McCullough, Chen, Brown, and Belenky, 2019)에서 주장하는 장거리 동쪽 비행 피로 수준의 결과와 일치함을 보였다. 동쪽 비행 때, 운항승무원들은 시차

적응에 더 어려움을 느끼며, 이로 인해 생체리듬이 적응하는 데 어려움을 느낀다(Lemmer, Kern, Nold, and Lohrer, 2002). 비행 전보다 비행 후에 피로 수준이 높아진다는 본 연구의 결과는 비행 시에 발생하는 운항승무원의 피로를 입증하였다.

둘째, 장거리 동쪽 비행 후의 피로 수준은 운항승무원의 비행 경력에 따라 차이가 있다는 결과를 도출하였다. 구체적으로 비행 전에는 경력에 상관없이 피로 수준의 차이가 유의한 차이를 보이지 않았지만, 비행 후에는 경력이 높은 집단보다 낮은 그룹에서 피로 수준이 유의하게 높아졌다. Shiffrin and Schneider(1977)는 수많은 경험을 통한 절차의 능숙함은 수행을 함에 있어 인지적 노력을 줄이고, 통제적 처리가 필요한 의사결정에서 소요되는 에너지를 감소시킬 수 있다고 하였다. 본 연구의 결과, 역시 이와 일치하게 경험이 높은 집단에서 비행 후 피로 수준이 유의하게 낮게 나왔음을 볼 수 있었다. 특히 경력이 높은 집단의 경우, 비행 후 반응 시간이 비행 전 반응 시간보다 낮은 경향을 보였다. 이는 비행 중 피로에 영향을 미치는 다양한 요인들을 전문성이 높은 집단에서 효율적으로 행하였음을 짐작할 수 있다. 예컨대, Gander et al.(2013)의 현장 연구에서 운항승무원들에게 비행 중 수면을 취하도록 하면 비행 후 피로 수준이 유의하게 감소한다는 결과나, Rosekind et al.(1995)의 실험 연구에서 비행 중 휴식 집단의 운항승무원 수행 수준이 휴식을 취하지 않은 집단보다 높았다는 결과와 부합하다고 할 수 있다. 즉, 경험이 많은 사람은 비행 시 필요한 절차와 수행을 전문성 관련 기존 문헌(e.g. Alberdi, Sleeman, and Korpi, 2000)에서 주장하는 반복적인 훈련을 통해 획득하여 더 효율적으로 일을 처리했음을 알 수 있다. 이는 전문성이 높은 운항승무원에게는 동쪽 장거리 비행이 피로 수준에 유의한 영향을 미치지 않지만, 전문성이 낮은 집단에서는 유의한 영향을 미칠 것이라는 예상과 일치한다.

본 연구의 의의는 다음과 같다. 본 연구를 통해 한국 운항승무원의 장거리 동쪽 비행에 따른 피로 수준 증가를 입증하였다. 다양한 문헌(e.g. Cingi, Emre, and Muluk, 2018; Lamp, McCullough, Chen, Brown, and Belenky, 2019)에서 본 연구와 흡사한 방법으로 운항승무원의 피로 연구를 진행하였지만, 대부분 경우 참가자가 미국 또는 유럽권의 운항승무원으로 국한되어 있다. 한국과 서구권 국가는 지리적 특성, 문화적 특성 등의 차이로 인해 위의 결과들을 한국 운항승무원에게 일반화하기에는 한계점이 존재하였다. 국내에서

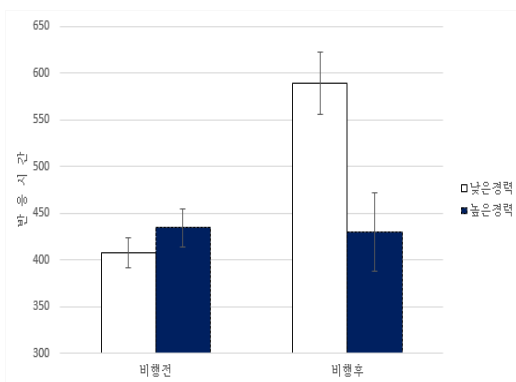


Fig. 1. PVT reaction times at pre- and post-flights for low- and high-experienced pilots

도 운항승무원을 대상으로 진행한 연구(Lee and Kim, 2018)가 있었지만, 대다수의 국내 연구는 설문 연구로 진행되어 객관적인 피로 수준을 측정하지는 못했다. 본 연구는 FAA, ICAO 등의 국가기관에서 피로 관리시스템을 연구하기 위해 권유한 연구 방법을 응용하여, 과학적인 방법으로 문제에 접근하였다. 또한, 횡단 연구가 아닌 종단 연구를 진행하여 객관적인 자료로 결과를 도출하였기에, 더욱 이론적인 함의가 있다.

본 연구는 위의 피로 수준이 모든 운항승무원에게 동일하게 일어나지 않음을 증명하였다. 경력에 따른 수행 능력의 차이에 대해서는 꾸준한 논쟁이 있다. 경력이 높은 경우, 오랜 경험을 토대로 피로 관리 능력이 뛰어나다고 주장하는 견해(Orasanu et al., 2012)가 있지만, Nesthus, Dattell과 Holcomb(2005)의 연구와 같이 경력이 높은 집단이 나이로 인해 피로 관리에 어려움을 겪는다는 결과도 있다. 본 연구에서는 Ericsson(2006)의 주장처럼 항공 영역에서의 경험이 전문성으로 이어져 비행 시 수행 수준을 초보자나 경험이 부족한 사람보다 능숙하게 진행하였음을 볼 수 있었다. 이는 곧 오래된 경력을 지닌 운항승무원이 비행 관련 피로 관리 수준이 더 뛰어난 것이라 할 수 있다. 국내 항공사에서 비행 편조를 구성할 시, 이와 같은 결과를 참고한다면 더욱 실용적인 비행 운항을 기획할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 한계점은 아래와 같다. 첫째, 본 연구 특정 직군을 대상으로 종단 연구를 진행하여, 참가자 모집 수가 적었다. Pett(1997) 또는 Salkind(2019)에 의하면 분석에 필요한 최소 집단 수를 30명이라고 하였다. 본 연구에서 경력이 낮은 집단의 경우 참가자 수가 24명으로 해당 기준에 적합하지 못했다. 운항승무원의 경우, 다른 직종과 달리 모집단의 수가 적고 특정 기간에 장거리 비행을 나가는 수는 항공사별로 한정되어 있다. Naeeri, Mandal과 Kang(2019)의 운항승무원의 전문성에 따른 수행 차이를 알아보는 시뮬레이션 실험에서도 여섯 명의 참가자만으로 유의한 결과를 도출하였고, Rosekind et al.(1994)의 비행 중 운항승무원의 휴식이 피로에 미치는 연구 역시 21명의 조종사를 대상으로 연구를 진행하였다. 따라서, 직종의 특수성을 고려하였을 때, 본 연구의 참가자 수는 유의한 결과를 도출하기 적합하다고 할 수 있다. 더불어, Warner(2008)의 주장과 같이 참가자 수가 20명이면 분석에 충분하다는 근거도 있어, 이에 따라 본 연구의 결과는 여전히 유의한다고 할 수 있다. 향후 연구에서 더 많은 참가자를 모집하여 다양한 분석을 진행해 본다면 더욱

유용한 결과를 도출할 수 있을 것이다.

둘째, 본 연구 분석에서 비행 중 피로 수준을 포함하지 못했다. Caldwell et al.(2009)에 따르면 비행 중 졸음이 운항승무원의 피로 수준에 긍정적인 영향을 미친다고 하였다. 또한, 비행 전, 비행 활주로에서의 휴식은 운항승무원의 각성상태 유지에 도움이 된다(Hildith, Arsintescu, Gregory, and Flynn-Evans, 2020). 본 연구에서도 비행 중에 PVT 수행을 요구하였지만, 비행 중 여러 이유로 인해 분석에 사용할 충분한 자료를 수집하지 못하였다. 하지만, 본 연구에서는 운항승무원에게 동일한 시점에서 객관적인 자료를 수집하였으며, 비행 직후 시점에서 PVT 수행을 요구하여 비행 시 피로를 여전히 반영할 수 있도록 하였다. 따라서, 본 연구의 결과는 비행 전, 후의 피로 수준을 일반화할 수 있는 최적의 결과를 도출하였다고 볼 수 있다. 향후 연구에서 비행 중 피로 수준을 충분히 수집할 수 있다면, 비행 전, 비행 중, 비행 후의 세 수준에서의 반복측정 분산 분석(repeated measures ANOVA)을 시행하여 더욱 자세한 결과를 도출할 수 있을 것이다.

셋째, 본 연구에 참여한 두 항공사의 특성이 달랐다. 예컨대, A 항공사의 경우, 세 명의 운항승무원이 비행하였고, B 항공사의 경우, 2 sets 편조로 운항을 하는 시스템이다. 또한, 각 항공사의 직책별 피로도 역시 다양할 수 있다. 다양한 기존 문헌(e.g. Caldwell, 2005)에서 비행 시 운항승무원의 배치와 컨디션의 중요성을 주장하였다. 본 연구에서는 동쪽 장거리 노선 비교를 위해 가장 중요하게 고려되어야 할 조건인 비행시간과 비행 방향을 동일한 조건으로 선정하기 위해 A 항공사와 B 항공사의 인천-LA 노선을 채택하였다. 본 연구는 앞서 언급한 다양한 항공사 특성이 결과에 영향을 미칠 것임을 고려해, 항공사를 더미변수로 변환하여 통제변인으로 설정한 반복측정 이원 배치 공분산 분석을 시행하였다. 따라서, 본 연구의 결과는 노선의 특성과 함께 항공사별 운항 특성이 함께 고려되었음을 볼 수 있다. 추후 연구에서 모든 조건이 동일한 노선을 채택하여 연구를 진행한다면 보다 정확한 결과를 도출할 수 있을 것이다.

마지막으로 본 연구는 피로에 영향을 주는 비행 요인 중 비행거리와 비행 방향에 집중하였다. 이 외에도 야간 비행(Goode, 2003), 업무 부하(Borghini, Astolfi, Vecchiato, Mattia, and Babiloni, 2014) 등 많은 요인에 관한 피로 연구가 해외에서 진행되고 있다. 추후 연구에서 본 연구의 방법을 참고하여 위의 요인이 국내 운항승무원의 피로에 영향을 미치는 정도를 살펴

본다면 피로 관리 접근에 유용한 지표를 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

References

1. Davis, M. P., and Walsh, D., "Mechanisms of fatigue", *Journal of Supportive Oncology*, 8(4), 2010, pp.164-174.
2. International Civil Aviation Organization, "Fatigue Risk Management Systems Manual for Regulators", ICAO Doc 9966, 2011, pp. 1-11.
3. Federal Aviation Administration, "Flight Crew Member Duty and Rest Requirements", Federal Aviation Administration, 2012, pp. 72970-72975.
4. Cho, E. Y., "Application and testing the PRECEDE model for health promotion of air crew", *Korean Journal of Aerospace and Environmental Medicine*, 12(3), 2002, pp. 151-170.
5. Caldwell, J. A., Caldwell, J. L., and Darlington, K. K., "Utility of dextroamphetamine for attenuating the impact of sleep deprivation in pilots", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 74(11), 2003, pp.1125-1134.
6. Davis, J. R., Johnson, R., Stepanek, J., and Forgarty J. A., "Fundamentals of Aerospace Medicine", Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2008, pp.142-205.
7. Gander, P. H., Signal, T. L., van den Berg, M. J., Mulrine, H. M., Jay, S. M., and Jim Mangie, C., "In-flight sleep, pilot fatigue and psychomotor vigilance task performance on ultra-long range versus long range flights", *Journal of Sleep Research*, 22(6), 2013, pp. 697-706.
8. Roach, G. D., Darwent, D., Sletten, T. L., and Dawson, D., "Long-haul pilots use in-flight napping as a countermeasure to fatigue", *Applied Ergonomics*, 42(2), 2011, pp. 214-218.
9. Pariès, J., and Wreathall, J., "Resilience Engineering in Practice: A Guidebook", CRC Press, UK, 2017, pp.71-76.
10. Simmons, E., McGrane, O., and Wedmore, I., "Jet lag modification", *Current Sports Medicine Reports*, 14(2), 2015, pp. 123-128.
11. Fowler, P., Duffield, R., and Vaile, J., "Effects of simulated domestic and international air travel on sleep, performance, and recovery for team sports", *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(3), 2015, pp.441-451.
12. Samuels, C. H., "Jet lag and travel fatigue: A comprehensive management plan for sport medicine physicians and high-performance support teams", *Clinical Journal of Sport Medicine*, 22(3), 2012, pp.268-273.
13. Caldwell, J. A., "Fatigue in aviation", *Travel Medicine and Infectious Disease*, 3(2), 2005, pp.85-96.
14. Masunaga, H., and Horn, J., "Expertise and age-related changes in components of intelligence", *Psychology and Aging*, 16(2), 2001, pp.293-311.
15. Persky, A. M., and Robinson, J. D., "Moving from novice to expertise and its implications for instruction", *American Journal of Pharmaceutical Education*, 81(9), 2017, pp.72-80.
16. Naeeri, S., Mandal, S., and Kang, Z., "Analyzing pilots' fatigue for prolonged flight missions: Multimodal analysis approach using vigilance test and eye tracking", *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, Nov, 2019, pp.111-115.
17. Mayo, E., "The Human Problems of an Industrial Civilization", Routledge, New York, 2004, pp.1-27.
18. Baker, A., Heiler, K., and Ferguson, S. A., "The impact of roster changes on absenteeism and incident frequency in an Australian coal mine", *Occupational and Environmental Medicine*, 60, 2003, pp. 43-49.

19. International Civil Aviation Organization, "Fatigue Risk Management Systems Manual for Regulators", ICAO Doc 9966, 2016, pp. 1-11.
20. Satterfield, B. C., and Van Dongen, H. P., "Occupational fatigue, underlying sleep and circadian mechanisms, and approaches to fatigue risk management", *Fatigue: Biomedicine, Health & Behavior*, 1(3), 2013, pp. 118-136.
21. Williamson, A., Lombardi, D. A., Folkard, S., Stutts, J., Courtney, T. K., and Connor, J. L., "The link between fatigue and safety", *Accident Analysis & Prevention*, 43(2), 2011, pp.498-515.
22. Hobbs, A., Williamson, A., and Van Dongen, H. P., "A circadian rhythm in skill-based errors in aviation maintenance", *Chronobiology International*, 27(6), 2010, pp.1304-1316.
23. Vogt, J., and Leonhardt, J., "Increasing safety by stress management", *Safety Science Monitor*, 9(1), 2005, pp.1-15.
24. Goldstein, E. R., Ziegenfuss, T., Kalman, D., Kreider, R., Campbell, B., Wilborn, C., ... and Wildman, R., "International society of sports nutrition position stand: Caffeine and performance", *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 7(1), 2010, pp.1-15.
25. McLellan, T. M., Caldwell, J. A., and Lieberman, H. R., "A review of caffeine's effects on cognitive, physical and occupational performance", *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 71, 2016, pp.294-312.
26. Gander, P. H., Mangie, J., van den Berg, M. J., Smith, A. A. T., Mulrine, H. M., and Signal, T. L., "Crew fatigue safety performance indicators for fatigue risk management systems", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 85(2), 2014, pp.139-147.
27. Arsintescu, L., Chachad, R., Gregory, K. B., Mulligan, J. B., and Flynn-Evans, E. E., "The relationship between workload, performance and fatigue in a short-haul airline", *Chronobiology International*, 37(10), 2020, pp. 1492-1494.
28. Moskvitch, K., "How airline pilots beat jet lag", Mar. 16, 2016, Retrieved 20 April 2021, from <https://www.bbc.com/future/article/20160314-how-airline-pilots-beat-jet-lag>
29. Weitzman, E. D., Moline, M. L., Czeisler, C. A., and Zimmerman, J. C., "Chronobiology of aging: Temperature, sleep-wake rhythms and entrainment", *Neurobiology of Aging*, 3(4), 1982, pp.299-309.
30. Gander, P. H., Mulrine, H. M., van den Berg, M. J., Smith, A. A. T., Signal, T. L., Wu, L. J., and Belenky, G., "Pilot fatigue: relationships with departure and arrival times, flight duration, and direction", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 85(8), 2014, pp.833-840.
31. Song, A., Severini, T., and Allada, R., "How jet lag impairs major league baseball performance", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(6), 2017, pp.1407-1412.
32. Thun, E., Bjorvatn, B., Flo, E., Harris, A., and Pallesen, S., "Sleep, circadian rhythms, and athletic performance", *Sleep Medicine Reviews*, 23, 2015, pp.1-9.
33. Ericsson, K. A., "The Influence of Experience and Deliberate Practice on the Development of Superior Expert Performance", *Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. Forthcoming, 2006, pp.685-705.
34. Majumdar, A., and Ochieng, W. Y., "Factors affecting air traffic controller workload: Multivariate analysis based on simulation modeling of controller workload", *Transportation Research Record*, 1788(1), 2002, pp.58-69.
35. Knight, B. A., Horsley, M., and Eliot, M., "Eye tracking and the learning system: An

- overview", *Current Trends in Eye Tracking Research*, 2014, pp.281-285.
36. Bellenkes, A. H., Wickens, C. D., and Kramer, A. F., "Visual scanning and pilot expertise: The role of attentional flexibility and mental model development", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 68(7), 1997, pp.569-579.
 37. Ho, H. F., Su, H. S., Li, W. C., Yu, C. S., and Braithwaite, G., "Pilots' latency of first fixation and dwell among regions of interest on the flight deck", In *International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*, Springer, Cham, Jul. 2016, pp. 389-396.
 38. Xiong, W., Wang, Y., Zhou, Q., Liu, Z., and Zhang, X., "The research of eye movement behavior of expert and novice in flight simulation of landing", In *International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*, Springer, Cham, Jul. 2016, pp.485-493.
 39. Kay, M., Rector, K., Consolvo, S., Greenstein, B., Wobbrock, J. O., Watson, N. F., and Kientz, J. A., "PVT-touch: Adapting a reaction time test for touchscreen devices", In *2013 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops*, IEEE, May, 2013, pp. 248-251.
 40. Balkin, T. J., Bliese, P. D., Belenky, G., Sing, H., Thorne, D. R., Thomas, M., ... and Wesensten, N. J., "Comparative utility of instruments for monitoring sleepiness related performance decrements in the operational environment", *Journal of Sleep Research*, 13(3), 2004, pp.219-227.
 41. Powell, D., Spencer, M. B., Holland, D., Broadbent, E., and Petrie, K. J., "Pilot fatigue in short-haul operations: Effects of number of sectors, duty length, and time of day", *Aviation, space, and environmental medicine*, 78(7), 2007, pp.698-701.
 42. Vejvoda, M., Elmenhorst, E. M., Pennig, S., Plath, G., Maass, H., Tritschler, K., ... and Aeschbach, D., "Significance of time awake for predicting pilots' fatigue on short-haul flights: Implications for flight duty time regulations", *Journal of Sleep Research*, 23(5), 2014, pp.564-567.
 43. van Dongen, H. P., and Dinges, D. F., "Circadian rhythms in fatigue, alertness, and performance", *Principles and Practice of Sleep Medicine*, 20, 2000, pp.391-399.
 44. Vidulich, M. A., and Tsang, P. S., "Improving Aviation Performance through Applying Engineering Psychology", CRC Press, New York, 2019, pp.25-52.
 45. Lamp, A., McCullough, D., Chen, J., Brown, R. E., and Belenky, G., "Pilot sleep in long-range and ultra-long-range commercial flights", *Aerospace Medicine and Human Performance*, 90(2), 2019, pp.109-115.
 46. Lemmer, B., Kern, R. I., Nold, G., and Lohrer, H., "Jet lag in athletes after eastward and westward time-zone transition", *Chronobiology International*, 19(4), 2002, pp.743-764.
 47. Shiffrin, R. M., and Schneider, W., "Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory", *Psychological Review*, 84(2), 1977, pp.127-190.
 48. Rosekind, M. R., Graeber, R. C., Dinges, D. F., Connel, L. J., Rountree, M. S., and Gillen, K., "Crew factors in flight operations IX: Effects of planned cockpit rest on crew performance and alertness in longhaul operations", *Technical Memorandum A-941 34*, Moffer Field, CA: NASA, 1995.
 49. Alberdi, E., Sleeman, D. H., and Korpi, M., "Accommodating surprise in taxonomic tasks: The role of expertise", *Cognitive Science*, 24(1), 2000, pp.53-91.
 50. Cingi, C., Emre, I. E., and Muluk, N. B., "Jet lag related sleep problems and their mana-

- gement: A review", *Travel Medicine and Infectious Disease*, 24, 2018, pp.59-64.
51. Lee, S., and Kim, J. K., "Factors contributing to the risk of airline pilot fatigue", *Journal of Air Transport Management*, 67, 2018, pp.197-207.
52. Orasanu, J., Parke, B., Kraft, N., Tada, Y., Hobbs, A., Anderson, B., ... and Dulchinos, V., "Evaluating the effectiveness of schedule changes for air traffic service (ATS) providers: Controller alertness and fatigue monitoring study (No. DOT/FAA/HFD-13/001)", US Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2012, pp. 1-66.
53. Nesthus, T. E., Dattel, A. R., and Holcomb, K., "Test-battery performance associated with age, shift schedule and quick-turn rotations for a sample of air traffic controllers", 76th Scientific Meeting of the Aerospace Medical Association, Kansas City, MO, May. 2005. pp.5-8.
54. Pett, M. A., "Nonparametric Statistics for Health Care Research: Statistics for Small Samples and Unusual Distributions", Sage Publication, London, 1997, pp.54-56.
55. Salkind, N. J., and Frey, B. B., "Statistics for People who (think they) Hate Statistics", Sage Publications, London, 2019, pp. 225-243.
56. Warner, R. M., "Applied Statistics: From Bivariate through Multivariate Techniques", Sage Publication, London, 2008, pp. 185-220.
57. Caldwell, J. A., Mallis, M. M., Caldwell, J. L., Paul, M. A., Miller, J. C., and Neri, D. F., "Fatigue countermeasures in aviation", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 80(1), 2009, pp.29-59.
58. Hilditch, C. J., Arsintescu, L., Gregory, K. B., and Flynn-Evans, E. E., "Mitigating fatigue on the flight deck: How is controlled rest used in practice?", *Chronobiology International*, 37(9), 2020, pp. 1483-1491.
59. Goode, J. H., "Are pilots at risk of accidents due to fatigue?", *Journal of Safety Research*, 34(3), 2003, pp.309-313.
60. Borghini, G., Astolfi, L., Vecchiato, G., Mattia, D., and Babiloni, F., "Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness", *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 44, 2014, pp.58-75.