

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2024.32.4.139>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

헬리콥터 비인지적 공간정위상실 탐지 및 경고 시스템 설계 방안

임세훈*, 조영진**

A Design Approach for the System to Detect and to Warn the Unrecognized Spatial Disorientation

Sae-Hoon Lim*, Young-Jin Cho**

ABSTRACT

Recently, Spatial Disorientation (SD) has emerged as a critical safety concern in helicopter operations, with unrecognized Type I SD posing a significant risk due to its high fatality rate. Although various methods have been proposed to detect and prevent SD, most approaches focus on recognized forms (Type II, Type III) and rely primarily on subjective, physiological, or conventional statistical analyses. This study introduces a novel system designed to detect and warn against unrecognized Type I SD by integrating flight simulation, subjective pilot assessments, and machine learning-based flight data analysis. Utilizing a helicopter flight simulator to generate realistic flight scenarios, high-quality performance data were collected and labeled through both pilot feedback and expert instructor validation. The system promptly alerts the pilot with visual LED signals, enabling rapid corrective action before critical flight deviations occur. This integrated approach demonstrates the feasibility of robust, real-time Type I SD detection and highlights the potential of advanced analytics to improve overall flight safety and operational reliability.

Key Words : Spatial Disorientation(공간정위상실), Unrecognized Type I SD(비인지적 공간정위상실), Helicopter Simulation(헬리콥터 시뮬레이터), Machine Learning(머신러닝), Real-time Warning System(실시간 경고시스템)

1. 서 론

공간정위상실(spatial disorientation, SD)은 많은 조종사들이 비행 중 겪고 있는 문제로 특히 헬리콥터는 이로 인한 사고가 지속적으로 발생하고 있다.

SD는 지평면을 기준으로 항공기의 자세, 고도, 움직임에 대한 잘못된 착각으로 정의할 수 있으며, 중력 수직선(gravity vertical line)에 대한 조종사의 잘못된 인식이나 항공기 자세를 정확히 파악하지 못하는 상태를 말한다(Gillingham, 1966).

인간은 기본적으로 시각기관, 전정기관, 고유수용기관을 통해 다양한 정보를 뇌가 분석하여 올바른 위치와 평형을 유지할 수 있다. 그러나 이 중 한가지 기관이 잘못된 정보나 부적절할 경우, 뇌에서는 감각의 충돌을 경험하게 되고, 이러한 충돌이 SD의 원인이 될 수 있다(Lee and Ahn, 2006).

Received: 06. Dec. 2024, Revised: 16. Dec. 2024,
Accepted: 19. Dec. 2024

* 한서대학교 헬리콥터조종학과 교수

** 한서대학교 헬리콥터조종학과 교수(학과장)

연락처 E-mail : speedshock@hanseo.ac.kr

연락처 주소 : 충청남도 태안군 남면 곰섬로 236-49 한서대학교 태안비행장 본관 2층

SD는 주로 시각기관과 전정기관의 요인으로 인해 발생되는데, 인간은 대부분의 정보를 시각에 의존하고 있어 공간적 방향 감각 및 주변 환경의 인식에 있어서 시각기관은 결정적인 역할을 한다. 따라서 수평착각(false horizon illusion), 시각자가운동(visual autokinesis), 상대운동착각(relative-motion illusion) 등과 같이 시각 자극은 쉽게 잘못된 자세를 초래할 수 있으며, 특히 가시 거리가 좋지 않은 저시정 상태에서 많이 발생되어 사고로 이어질 수 있다(Ayie et al., 2020).

SD는 세 가지 유형으로 나뉜다.

첫째, 인지되지 않은 SD(unrecognized SD, Type I)는 조종사가 불편함을 느끼지 않으며, 항공기가 비정상적인 상태에 있다고 생각하지 않는다. 즉, 조종사는 SD를 경험하고 있으나, 이를 전혀 인식하지 못하는 상태이다. Type I SD는 조종사가 인식 자체를 못하고 있기 때문에 대부분은 치명적인 지상충돌(controlled flight into terrain, CFIT) 사고로 이어진다. Type I SD에 대한 연구는 인지적인 한계를 넘어서 발생하기 때문에 많은 연구가 부족하다.

둘째, 인지된 SD(recognized SD, Type II)는 조종사가 항공기의 자세, 위치, 움직임의 착오로 실제 항공기의 올바른 공간적 자세와 계기의 시각정보 간의 충돌을 경험하는 상태를 의미한다. 이 유형의 경우 조종사는 문제를 인식할 수 있다.

셋째, 무능력 SD(incapacitating SD, Type III)는 조종사가 자신의 오류를 인식하고 있지만, SD에 압도적으로 빠져 있는 상태로 인해 극도의 혼란을 느끼고 제대로 대처하지 못하는 상태를 의미한다.

이 세가지 SD의 유형은 서로 독립적이지는 않고 인식하는 정도에 따라서 연속적인 과정으로 나타난다.

지난 수십 년간 SD에 대한 연구가 진행되어 왔지만, 여전히 헬리콥터의 SD는 비행안전에 심각한 문제이다. 약 80% 이상의 대부분 헬리콥터 조종사들은 SD를 경험했다는 보고가 있고, 인지되지 않은 Type I SD는 SD 관련 사고의 85%를 차지한다(Vreeken, 2013). 국내의 경우에도 SD로 인한 사고는 2005년 이후 총 11건의 사고가 발생하고 있는데, 자동비행장치가 있음에도 불구하고 추락한 사례까지 있다.

많은 연구자들이 SD 발생원인과 대책에 대해 연구하여 훈련프로그램 등을 개발하였지만, 사후적인 방법이 대부분이고 여전히 해결해야 할 문제가 남아 있다. SD의 주요 원인 중 하나는 SD를 객관적으로 측정할 수 있

는 검증된 방법이 없다는 점이다. 특히, 기존 연구의 대부분은 Type II, Type III와 같이 인지된 SD에 집중되어 있으며, 사망사고가 가장 높은 비율을 차지하는 인지되지 않은 Type I SD에 대한 연구는 부족하다(Hao et al., 2022). 따라서 인지되지 않은 SD를 감지할 수 있는 효과적인 방법을 개발하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 기존의 SD를 탐지하거나 사전에 경고할 수 있는 방법들에 대해 고찰해 보고, 이를 종합하여 인지되지 않은 Type I SD를 효과적으로 탐지하고 경고할 수 있는 시스템의 설계 방안에 대해 제시하고자 한다. 이 방법을 통해 헬리콥터의 사고 주요 원인인 SD를 근본적으로 해결할 수 있을 것이라고 기대한다.

II. 본 론

2.1 공간정위상실의 이론적 고찰

조종사가 항공기의 자세나 공간적 위치를 잘못 판단하면 이를 SD라고 하며, 동시에 착각(illusion)을 경험했다고도 표현한다. 1986년에 SD의 개념이 등장하면서 다양한 문헌과 미연방항공청(FAA)에서는 이 용어를 널리 사용하고 있고(Administration, 2009), 심리학에서 착각(illusion)은 시각적 감각의 자극을 잘못 해석하는 현상으로 정의된다.

비행 중에 착각(illusion)은 보편적으로 발생한다. 예를 들어, 고도가 증가함에 따라 속도를 느끼는 감각이 감소되거나 가속 중에 항공기 기수가 올라간 것처럼 느껴지는 착각(illusion)은 모든 비행에서 흔히 발생한다 반면, SD는 상대적으로 드문 사건으로 단순히 자극이 잘못된 판단이라는 개념에서 발전해 지평면에 대한 상대적인 항공기의 자세, 위치 움직임 등에 대한 판단에 장애가 발생한 것으로 정리되었다.

그런데 SD에 대한 대부분 조사는 조종사들이 비행 중에 경험한 착각(illusion)의 발생률에 초점을 맞춰왔다(Sipes and Lessard, 2000). 한 연구에서는 조종사 100명을 대상으로 최근에 겪은 SD 경험과 그것이 비행 안전에 미친 영향을 조사했는데, 비행안전에 위협했다고 판단된 5건 중 4건은 자신이 어떤 착각을 겪었는지 설명하지 못했다. 또 다른 연구에서는 SD 훈련을 받은 조종사들이 그렇지 않은 조종사들보다 SD를 더 많이 경험했다고 보고했다. 그러나 이것은 SD 훈련이 SD의 발생률을 증가시킨 것이 아니라, 조종사들이 착각(illusion)을 인지하고, 이를 SD로 잘못 해석한 결과

일 가능성이 높다(Holmes et al., 2003).

SD와 착각(illusion)은 서로 관련이 있지만 동일한 현상이 아니다. 착각은 비행 중 쉽게 발생하는 감각적 오류이며, 이를 명확하게 인지하는 조종사들은 이를 충분히 극복할 수 있다. 그러나 SD는 이러한 착각(illusion)을 인식하지 못하거나 인식하더라도 감각과의 불일치를 해결하지 못한 결과로 발생한다. 따라서 이러한 차이를 이해하고 두 용어를 혼용해서는 안 된다.

2.2 기존의 SD 탐지 방법

현재까지 SD를 탐지하기 위해 다양한 평가 방법이 사용되어 왔다. 이러한 방법은 크게 주관적 설문조사, 행동 반응 탐지, 생리학적 데이터 분석, 비행데이터 분석의 네가지 접근방법으로 나눌 수 있다.

2.2.1 주관적 설문조사

주관적 설문지를 이용한 SD 평가는 SD 연구 초기부터 사용된 방식 중 하나이다. 주관적 설문조사 및 인터뷰는 조종사가 경험한 SD와 관련된 주관적인 상태를 기록하는 방식으로 조종사의 개인적인 경험과 인식을 중심으로 데이터를 수집한다. 기존의 연구들은 SD 증상에 관하여 묻거나, 당시의 환경, 조종사 신체상태, 당시의 느낌, 발생 과정 등에 관한 내용을 주로 다루어 왔다.

그런데 SD의 증상은 멀미(motion sickness)와 시물레이터 멀미(simulator sickness)와 유사하기 때문에 많은 연구자들은 SD를 MSQ(motion sickness questionnaire)나 SSQ(simulator sickness questionnaire)로 평가하는 것이 합리적이라는 의견이 많다(Owen et al., 1998).

그러나 설문조사 방법은 사후적으로 SD를 기록하는데 유용하지만, 비행 중 실시간으로 SD를 탐지하는 데는 적합하지 않을 수 있고, 주관적 요소가 크게 작용할 수 있다. 아울러, 인지되지 않은 Type I SD를 확인하는 데는 한계가 있다.

2.2.2 행동 반응 탐지

조종사의 안구 운동, 조종사 자세 흔들림, 비행 성과(flight performance) 등을 분석하여 SD 발생 여부를 객관적으로 평가하는 방식이다. SD가 발생할 때 조종사의 눈 움직임은 특정 방향으로 이동하거나, 시각적 자극에 초점을 맞추지 못할 수 있고 비정상적인 패턴

을 보일 수 있다. 또한 SD가 발생하면 조종사는 본인의 의지와 상관없이 몸이 기울어지는 현상을 보이게 되는데, 이러한 상황에서 자세 흔들림 반응을 보일 수 있다. 그런데 이와 같은 비정상적인 행동 반응은 공간적 자세와 계기의 시각정보 간의 충돌을 경험하는 상태를 의미하기 때문에 조종사가 본인의 행동 반응을 인식하지 못하는 경우라 하더라도 인지된 Type I, II SD로 분류하는 것이 타당하다.

한편, 여러 연구에 따르면 SD가 발생할 때 조종사의 인지 능력과 비행 성과(flight performance)가 크게 감소한다고 한다(Ledegang and Groen, 2018). SD가 발생하면 조종사의 선택적 주의력 지연, 시각 스캐닝, 인지적 과정 등에게 영향을 주기 때문에 최종적으로는 의도치 않은 항공기의 자세 변화를 유발하게 된다. 따라서 인지되지 않은 Type I SD인 경우에도 불안정한 항공기의 자세나 비행 성과(flight performance)에 영향을 준다는 것은 매우 명백한 사실이다.

2.2.3 생리학적 데이터

생리학적인 데이터는 심전도(ECG), 심박수(HR), 혈압(BP), 호흡수 및 일회 호흡량(respiratory rate, tidal volume) 등이 있는데, 조종사가 SD에 들어가게 되면 불안한 감정으로 인한 생리학적인 증상에 영향을 미치게 된다. 따라서 인지되지 않은 Type I SD를 확인하는 데는 한계가 있다.

한편, 뇌파 측정(EEG)을 통해 조종사가 Type I SD를 경험할 때 나타나는 뇌의 인지영역의 연결성에 있어서 위상적 변화를 조사하였다. 그 결과, 인지되지 않은 SD는 뇌 인지 기능에 부정적인 영향을 미친다는 것을 발견하였다(Li et al., 2015). 그러나 이 연구에서는 뇌파로 사람의 인지 기능을 완전히 분석하기에는 한계가 있다고 인정하고 있고, 실제 항공 환경에서 활용이 가능하고 정확한 뇌파측정을 위한 기술적 문제가 여전히 남아 있다.

2.2.4 비행데이터 분석

비행데이터를 활용하여 조종사의 성능이나 비행 성과(flight performance)를 측정할 수 있다는 것은 이미 알려진 사실이고, SD에 들어간 조종사의 성능이 급격히 저하된다는 점이 여러 연구에서 확인되었다. Crognale(M.A.)은 저시정 상태에서 조종사의 에러율(error rate)을 지표로 성능 저하를 확인하였으나, 항

공기 고도 및 속도 차이에 따른 분석에서는 유의미한 결과를 얻지 못했으며, 비행 단계별 성능 검증의 필요성을 제기하였다(Crognale and Krebs, 2011). 다른 연구에서는 QAR(quick access recorder) 데이터를 활용해 블랙홀 착각(black hole illusion) 중에 초기 접근단계의 강하율이 비정상적으로 증가되는 것을 확인하였다(Huang et al., 2023).

그러나 기존의 비행데이터 분석 방법은 주로 통계적 접근에 기반하여 비행 매개변수 간의 관계를 분석하거나 이상치를 감지하는 방식으로 이루어졌으나, 데이터의 복잡성과 다차원성, 매개변수 간의 비선형적 상호작용을 충분히 반영하지 못하는 한계가 있었다. 예를 들어, SD 감지를 위한 기존 알고리즘은 항공기의 heading, glide path, bank 등 단일 변수에 의존하거나 조종사의 입력 데이터(조종 장치 변위값)를 포함하지 않아 실제 조종사의 행동을 반영하기 어렵고, 통계적 분석 방법은 매개변수 간의 복잡한 연관성을 정확히 해석하지 못해 결과의 신뢰도가 낮았다.

최근에는 비행 데이터를 기반으로 한 비행착각 감지 알고리즘 개발이 진행되고 있으며, 항공기의 heading, glide path, bank 등 다양한 매개변수를 활용한 알고리즘이 제안되었다. 그러나 이러한 알고리즘은 조종사의 입력 데이터를 포함하지 않거나, 통계적 분석 방법에 기반하여 매개변수 간의 복잡한 관계를 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다.

최근 머신러닝 및 딥러닝 기반 분석 기법은 대규모 비행 데이터셋에서 비선형적이고 복잡한 패턴을 학습할 수 있는 강점을 가지고 있다. Foucher(2020)는 랜덤포레스트(정확도 0.82), LSTM(정확도 0.84), Transformer Encoder(정확도 0.77)와 같은 딥러닝 모델을 활용하여 전정기관 자극에 의한 모든 유형의 SD를 탐지하는 연구를 수행하였다(Hao et al., 2020). 연구 결과, 전통적인 비행데이터 분석 방법보다 SD 탐지를 위한 높은 정확도를 보이고 있고, 인공지능 기반 방법의 잠재적인 적용 가능성을 시사하고 있으나, 실제 비행 시나리오를 적용한 환경은 아니었다.

2.3 비인지적 SD 탐지 및 경고 시스템 설계 방안 제안

2.3.1 Type I SD 탐지

Table 1과 같이 기존 연구들은 SD 감지를 위해 주관적 설문지, 행동반응, 생리학적 데이터 분석, 통계적

Table 1. Type I SD detection method

Existing SD detection methods	Type I	Type II	Type III
Subjective surveys	△ (Subjective, simulator sickness)	○	○
Behavioral response detection	△ (Flight performance)	○	○
Physiological data	×	○	○
Flight data analysis	△ (Artificial intelligence)	○	○

방법론에 의존하는 경우가 많았으나, 이러한 한가지 접근법은 비인지적 Type I SD를 탐지하는데 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 기존의 SD 탐지 방법을 바탕으로 인지되지 않은 Type I SD를 탐지하기 위한 새로운 설계방법으로 주관적 설문조사, 행동반응 탐지, 비행데이터 분석을 통합하는 방안을 제안한다.

구체적으로 실제 시나리오 기반의 비행환경을 정교하게 재현할 수 있는 시뮬레이터를 활용하여 비행성능(flight performance) 데이터를 확보하고, 이를 주관적 설문조사를 통해 데이터를 레이블링한다. 이후에 비행데이터 분석은 전통적인 통계방법이 아닌, 이진 분류(binary classification)에 특화된 랜덤 포레스트 모델을 중심으로 SD 감지 알고리즘을 설계함으로써 SD 감지 시스템을 구축하는 것이다.

본 연구에서 LSTM(long short-term memory)이나 Transformer와 같은 시계열 딥러닝 모델 대신, 랜덤 포레스트 모델을 주된 기반 모델로 채택한 이유는 다음과 같다. 딥러닝 기반 시계열 모델은 시계열 의존성 추출에 강점이 있지만, 초기 단계에서 충분한 데이터 및 모델 해석성을 확보하기 어렵고, 과적합(overfitting) 및 데이터 규모 문제를 야기할 수 있다.

반면, 랜덤 포레스트는 비교적 적은 수의 고품질 데이터로도 안정적인 분류 성능을 확보할 수 있으며, 변수 중요도(feature importance) 산출을 통해 어떤 비행 매개변수가 SD 감지에 핵심적으로 기여하는지 파악하기 용이하다.

또한, 둘째, 랜덤 포레스트 모델은 학습 및 추론 속도가 상대적으로 빠르고 파라미터 튜닝이 용이하며, 노이즈나 이상치에 비교적 안정적 특성을 지닌다. 실 비

행 환경에서 발생할 수 있는 다양한 예외적 상황을 처리하는 데 유리하며, 실시간 연산 가능성 측면에서도 장점을 가진다. 이러한 특성들은 항공기 운용 현장에 적용 가능한 실시간 SD 감지 및 경고 시스템 개발에 매우 적합하다.

2.3.2 학습 데이터 확보 및 생성

SD 탐지 및 경고 시스템의 핵심은 비행 시나리오 기반의 헬리콥터 시뮬레이터를 통하여 정확한 학습 데이터를 먼저 확보하는 것이다.

Type I SD 발생 시 조종사는 자신이 실제로 어떤 기동을 하고 있는지 정확히 인식하지 못해 항공기 조종간의 입력이 지연되거나 부정확해질 수 있다. 결과적으로 항공기의 속도, 고도 등의 제원이나 기수(pitch), 뱅크(bank)와 같은 항공기 자세가 비정상적 패턴을 나타낼 수 있다. 이러한 데이터는 비행성능(flight performance)과 연관된 비행 매개변수로 볼 수 있는데, 이와 같이 비정상적 패턴을 감지할 수 있는 데이터는 크게 조종장치 입력, 자세, 제원으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 헬리콥터 시뮬레이터를 활용하여 모두 9개의 데이터를 확보하여 적용하였다(Table 2).

2.3.3 Type I SD 레이블링

먼저, 실험 참가자(조종사 또는 조종 훈련생)와 교관 조종사가 동시에 참여하여 비행 과정을 면밀히 관찰하고, 비행 종료 후 각 비행 구간마다 SD 발생 여부, 당시 주관적 느낌, 임무 수행 수준 등에 대한 인터뷰를

수행한다. 1차적으로 실험 참가자는 시뮬레이터 멀미(simulator sickness) 설문조사를 통하여 SD 여부를 분류하고, 참가자가 SD를 인지하지 못한 경우에는 교관 조종사가 2차적으로 비행 조작반응, 비행 매개변수 조정, 균형된 항공기 통제(3타 일치 여부)를 기준으로 SD 발생을 식별하여 분류한다.

Fig. 1과 같이 SD 레이블링 과정을 거쳐 머신러닝 모델의 학습 및 검증에 활용할 수 있는 고품질 데이터셋으로 획득할 수 있고, 이를 활용하여 최종적으로 SD 발생 여부를 자동으로 분류할 수 있는 머신러닝 모델을 구축한다.

2.3.4 경고 시스템의 설계 및 구현

본 연구에서는 랜덤 포레스트 모델을 기반으로 Type I SD 발생 여부를 탐지하고, 이를 헬리콥터 시뮬레이터 환경에서 실시간으로 경고하는 시스템을 설계하였다. 시뮬레이터는 실제 비행 조건을 동일하게 재현할 수 있는 소프트웨어(Prepar3D)와 6축 모션장치가 장착된 하드웨어를 통합한 형태로 구성하였으며, 다양한 기상 조건(저시정, 야간 환경 등)과 비행 단계(이

Table 2. Flight parameters related to flight performance

Control inputs	<ul style="list-style-type: none"> • Power : collective displacement • Lateral cyclic movement(x): cyclic lateral displacement • Fore/aft cyclic movement(y): cyclic fore/aft displacement • Pedal movement(rx): pedal displacement
Aircraft attitude	<ul style="list-style-type: none"> • Pitch: aircraft nose angle • Bank: aircraft bank angle
Aircraft specifications	<ul style="list-style-type: none"> • Heading: aircraft direction • Speed: aircraft velocity • VS(FPM): vertical speed (rate of climb or descent)

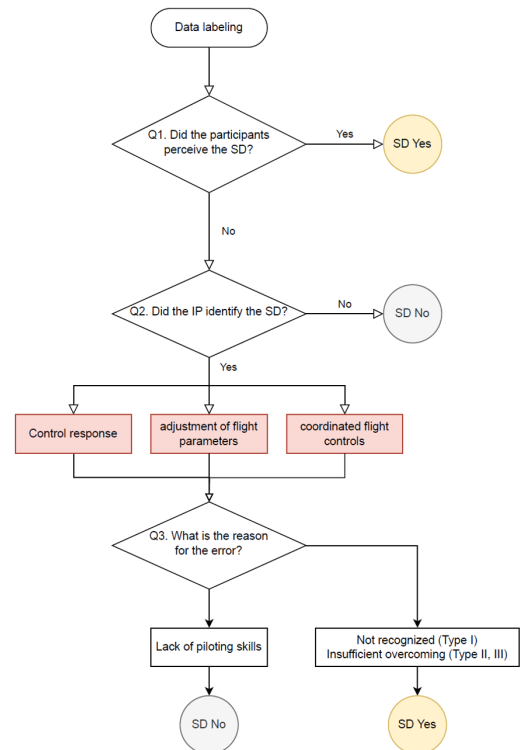


Fig. 1. SD detection labeling

록, 순항, 접근, 착륙)를 재현할 수 있도록 Fig. 2와 같이 구축하였다.

시뮬레이터 환경에서 수집된 비행데이터를 바탕으로, 랜덤 포레스트 모델을 통해 SD 발생 여부를 실시간으로 판별하는 알고리즘을 개발하고, 이를 실제 경고 장치(하드웨어)와 연동하여 조종사에게 즉각적인 피드백을 제공할 수 있는 시스템을 구현하였다. 사전 실험 결과, 랜덤 포레스트 모델은 약 0.953의 정확도(accuracy)를 나타내어 SD 발생 예측에서 높은 분류 성능을 보였다.

실시간 시뮬레이터 연동 및 데이터 처리 과정은 다음과 같다.

Fig. 3과 같이 SimConnect 라이브러리를 사용하여 항공기의 실시간 데이터를 수집하고, 이를 기반으로 시뮬레이터와 Python 애플리케이션 간 연동 시스템을 구축하였다. 수집되는 데이터는 항공기의 고도, 속도, heading, 뱅크각, 피치각, 조종입력, 기상 정보, 가시거리 등으로 구성되며, 이러한 데이터는 소켓 통신(주기: 30Hz)을 통해 Python 기반 애플리케이션으로 실시간 전송된다. 전송된 데이터는 이상치 제거와 변수 스케일링 과정을 거쳐 전처리되며, 이를 통해 랜덤 포레스트 모델이 이해하고 학습할 수 있도록 데이터를 수치화된 형태로 표현한 벡터로 변환된다.

랜덤 포레스트 모델은 실시간으로 입력되는 특징 벡터를 기반으로 SD 발생 여부를 분류한다. 모델은 학습



Fig. 2. 6-DOF motion simulator

```
data = self.sock.recv(1024).decode('utf-8')
parts = data.strip().split(',')
features = np.array([float(x) for x in parts[2:]]).reshape(1, -1)

prediction = self.model.predict(combined_features)
self.previous_result = prediction.reshape(1, -1) # 다음 프레임용

if prediction[0] == 1:
    self.arduino.write(b'1') # 위험 상황 감지
else:
    self.arduino.write(b'0') # 정상 상황
```

Fig. 3. Prediction and warning control code

데이터셋에서 검증된 85% 이상의 정확도를 보였으며, 각 프레임에서 특징 벡터를 입력 받아 0(정상) 또는 1(SD 발생)로 결과를 출력한다. 분류 결과는 즉각적으로 경고 장치로 전달되어 조종사에게 실시간 감각적 피드백을 제공한다. Fig. 4와 같이 경고 장치는 시각적 불빛으로 조종사에게 경고해 주도록 구현하였고, 이 LED 버튼을 누를 경우, 경고는 해제되도록 설계하였다. 그러나 계속 SD 상황에 들어가 있는 경우 버튼을 눌러도 빨간 경고등은 계속 점등되도록 하였다.

III. 논 의

본 연구에서는 시뮬레이터 환경과 랜덤 포레스트 모델을 활용하여 인지되지 않은 Type I SD를 실시간으로 탐지하고, 조종사에게 경고하는 시스템을 제안하고 구현하였다. 이러한 접근은 기존에 Type I SD를 탐지는 매우 어렵다는 입장에서 머신러닝을 활용하면 복잡한 비선형적 패턴까지 분석하므로 안정적으로 SD 발생을 탐지할 수 있음을 시사한다.

그러나 이와 같은 결과에도 불구하고, 몇 가지 한계점이 존재한다. 첫째, 본 연구에서 구축한 모델과 경고 시스템은 헬리콥터 시뮬레이터 환경과 데이터셋에 최적화되어 있어 일반화 모델을 확보하기 위해서는 추가적인 검증과 데이터 축적이 필요하다.

둘째, 본 연구에서 제안한 시스템은 LED 버튼으로 단순한 경고 장치 중심으로 구현되었지만, 향후 시스템의 기능을 확장하여 SD이 발생한 주요 비행 매개변수 값을 조종사에게 실시간으로 제시할 수 있도록 개선할 필요가 있다.

마지막으로 실제로 이 장치를 활용할 경우, 조종사가 SD에 반응하여 교정하는데 걸리는 시간과 같이 실효성을 다각도로 검증하여 실제 항공 환경에서도 활용할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것이다.

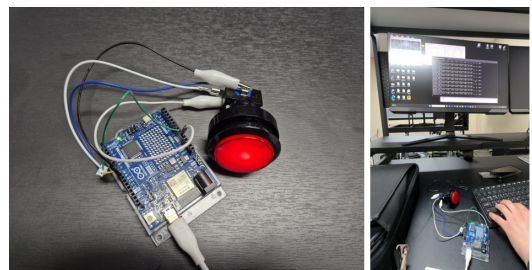


Fig. 4. Visual warning device

IV. 결 론

본 연구에서는 과거의 SD 탐지를 위한 다양한 방법에 대해 고찰하고, 인지되지 않은 Type I SD를 효과적으로 탐지하고 경고하기 위한 시스템 설계 방안을 제안하였다. 기존 연구에서는 SD 탐지에 있어 주관적 설문조사, 행동 반응 분석, 생리학적 신호 측정, 전통적인 비행데이터 통계분석 등 다양한 접근방법이 시도되었으나, Type I SD 탐지에는 한계가 있었다.

주관적 설문조사 방법은 사후적이고 주관에 의존하기 때문에 Type I SD 탐지에는 한계가 있으나, 이를 2차적으로 교관과 교차 검증하는 방법으로 개선하고 데이터 레이블링 방식으로 적용한다면 신뢰성 있는 학습용 데이터셋을 구축하는데 활용될 수 있다.

생리학적 신호 중 뇌파측정은 Type I SD 탐지에 일부 유의미하나 완전한 분석에는 한계가 있고, 기술적인 문제로 현장에 적용하기가 매우 어려울 것으로 판단된다.

행동 반응 신호 중 비행 성과(flight performance)와 연계된 데이터는 Type I SD 탐지에 유의미하다. 그 이유는 조종사가 SD를 인지하지 못할 경우, 지연된 반응으로 인해 불안정한 자세나 비정상적인 항적이 초래되기 때문이다.

마지막으로 비행데이터 분석은 전통적인 통계방법에서 벗어나 랜덤 포레스트와 같은 모델을 활용한다면 SD와 연관된 비정상적인 패턴을 분류할 수 있을 것이다.

따라서 이를 종합하여 본 연구에서는 헬리콥터 시뮬레이터에서 다양한 비행 매개변수를 수집하고, SD 발생 여부를 교관과 교차 검증하는 방법으로 레이블링한 뒤 이를 토대로 랜덤 포레스트 모델을 학습시켰다. 실시간 경고 장치의 설계는 SimConnect 라이브러리를 활용해 시뮬레이터로부터 실시간 비행데이터를 수집하고, 이를 Python 애플리케이션에서 전처리 및 분류한 이후에 LED 경고장치로 즉각 피드백을 전달하는 연동 과정까지 구현할 수 있었다.

본 연구를 통해 Type I SD 실시간 탐지 및 경고 시스템 실제 항공기에 적용된다면 조종사들이 인지조차 하지 못하는 SD 상황을 미리 경고하여 대응할 수 있고, 공간정위상실 사고 중 가장 많이 발생하고 있는 Type I 유형에 대한 사고예방에 기여할 것으로 기대된다.

Acknowledgments

본 과제(결과물)는 2024년도 교육부의 재원으로 한

국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다(2021RIS-004).

References

1. Ayiei, et al., "Visual flight into instrument meteorological condition: A post accident analysis", *Safety*, 6(2), 2020, pp.19.
2. Crognale, M. A., and William K. K., "Performance of helicopter pilots during inadvertent flight into instrument meteorological conditions", *The International Journal of Aviation Psychology*, 21(3), 2011, pp.235-53.
3. Gillingham, K. K., "A primer of vestibular function, spatial disorientation, and motion sickness", *Aeromedical Reviews*, 4, 1966, pp.1-80.
4. Hao, et al., "A classification method for unrecognized spatial disorientation based on perceptual process", *Ieee Access*, 8, 2020, pp.140654-60.
5. Holmes et al., "Survey of spatial disorientation in military pilots and navigators", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 74(9), 2003, pp.957-65.
6. Huang et al., "How the black hole illusion environment affects operational performance at different flight phases in aviation", *Applied Ergonomics*, 113, 2023, pp.104048.
7. Ledegang, W. D., and Eric, L. G., "Spatial disorientation influences on pilots' visual scanning and flight performance", *Aerospace Medicine and Human Performance*, 89(10), 2018, pp.873-82.
8. Lee, K. S., and Ahn, H. E., "A study on flight illusions and human factors: Focused on the status of ROKAF aircraft accidents", *Journal of the Korean Society for Aeronautical Science and Flight Operations Conference Proceedings*, 2006, pp.53-60.
9. Li et al., "EEG functional network properties related to visually induced unrecognized spatial disorientation", *Bio-Medical Materials and Engineering*, 26(s1), 2015, pp.S1115-24.
10. Owen et al., "Relationship between postural

- control and motion sickness in healthy subjects", *Brain Research Bulletin*, 47(5), 1998, pp.471 - 74.
11. Sipes, W. E., and C. S. Lessard, "A spatial disorientation survey of experienced instructor pilots", *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 19(2), 2000, pp.35-42.
 12. Hao et al., "Detection of unrecognized spatial disorientation: A theoretical perspective", *Technology and Health Care*, 30(S1), 2022, pp.469-80.
 13. Vreeken, J., "Helicopter flight in a degraded visual environment", *National Aerospace Laboratory NLR*, 2013.
 14. Administration, Federal Aviation. "Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge", Skyhorse Publishing Inc., 2009.