

저시정 조건에서 회전익 항공기 조종사 에러 발생을 및 비행특성

Error Rate and Flight Characteristics of Rotary-Wing Aircraft Pilots Under Low Visibility Conditions

임 세 훈* · 조 영 진

한서대학교 헬리콥터조종학과

Se-Hoon Yim* · Young Jin Cho

Department of Helicopter Operation, Hanseo University, Chungcheongnam-do, 32158, Korea

[요 약]

민간항공사고의 대부분은 인적요인에 의해 발생하고 특히 회전익 항공기는 예상하지 못하거나 의도하지 않게 악기상으로 진입하는 IIMC (instrument meteorological conditions) 상황에서의 사고가 많이 발생하고 있다. 이 연구는 저시정 조건에서 회전익 항공기 조종사의 에러율을 다각적으로 분석하여 비행특성에 관한 통찰력을 얻고 IIMC 상황에서의 사고를 줄이기 위한 방안을 연구하였다. 저시정 조건에서 조종사의 에러 발생율을 모션이 장착된 비행 시뮬레이터를 활용하였으며 65명의 조종사가 실험에 참여하였다. 실험을 통해 획득한 비행 데이터로 비행시정 감소, 공간정위상실 유무, 조종사 자격 등 다양한 조건에 따라 에러 발생율을 비교 분석하였다. 분석결과 다양한 조건에서 비행특성에 대한 특이점을 발견할 수 있었고 조종사의 자격 등급, 계기비행 (IFR; instrument flight rules) 자격 유무, 비행단계별 에러 발생율에 유의미한 차이가 발생하였다. 이와 같은 연구의 결과는 조종사의 교육 및 훈련 프로그램을 개선하고 IIMC 상황에서 항공기 사고예방에 중요한 기여를 할 것으로 기대된다.

[Abstract]

The majority of civil aviation accidents are caused by human factors, and especially for rotary-wing aircraft, accidents often occur in situations where pilots unexpectedly or unintentionally enter into instrument meteorological conditions (IIMC). This research analyzed the error rates of rotary-wing aircraft pilots under low visibility conditions from various angles to gain insights into flight characteristics and to explore measures to reduce accidents in IIMC situations. The occurrence rate of errors by pilots under low visibility conditions was examined using a flight simulator equipped with motion, with 65 pilots participating in the experiment. Flight data obtained through the experiment were used to aggregate and analyze the number of errors under various conditions, such as reductions in flight visibility, the presence or absence of spatial disorientation, and the pilot's qualifications. The analysis revealed peculiarities in flight characteristics under various conditions, and significant differences were found in the rate of error occurrence according to the pilot's qualification level, possession of instrument flight rules (IFR) qualifications, and during different phases of flight. The results of this research are expected to contribute significantly to the prevention of aircraft accidents in IIMC situations by improving pilot education and training programs.

Key word : Pilot error, Pilot performance, Flight simulation training device, VFR into IFR, IIMC, Helicopter accidents.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2024.28.1.60>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 31 January 2024; Revised 26 February 2024

Accepted (Publication) 28 February 2024 (29 February 2024)

*Corresponding Author; Se-Hoon Yim

Tel: *** - **** - ****

E-mail: newjxfree@gmail.com

I. 서 론

1-1 연구의 배경

2008년부터 2012년까지 우리나라 회전익 항공기의 전체 사고율은 9.8건, 사망사고는 7.8건이다. 회전익 항공기 사고율에서 사망사고율이 76%를 차지하고 있는데 이 수치는 미국이나 호주에 비해 높은 수준이다 [1].

최근 사고는 대부분 구름, 안개, 무월광 야간비행 등으로 인하여 조종사의 시각 신호가 상실된 상태에서 발생한 사고이다. 조종사의 시각 정보가 제한될 경우 조종사는 비행상황을 실제와 다르게 인식하여 공간정위상실 (spatial disorientation)에 빠질 가능성이 크고 이로 인한 사고의 90%는 사망사고로 귀결되었다 [2]-[4].

실제로 80% 이상의 회전익 항공기 조종사가 최소 한 번 이상은 저시정 조건에서 항공기를 제어하는데 어려움을 겪었다고 보고되었고 [5] 국제헬리콥터협회(HAI)나 제작사에서도 안전회보와 간행물을 통해 IIMC(inadvertent entry into instrument meteorological conditions)를 중요한 안전 문제로 다룬다 [6].

IIMC는 조종사가 의도치 않게 저시정 조건으로 진입하는 것을 의미하며 이 때 조종사는 시계비행(VFR)에서 계기비행(IFR)으로 전환(VFR into IFR)해야 하는데 그 과정에서 위험성은 매우 크다고 할 수 있다. 회전익 항공기의 임무 특성상 응급구조, 산불진화 등과 같이 종종 기상 조건이 좋지 않은 상황에서도 비행을 강행하는 경우가 많고 조종사는 무리하게 임무를 완료하려는 완벽주의 경향이 강하다 [7]. 이러한 특성으로 인해 회전익 항공기 조종사는 시계비행(VFR) 중 부주의하게 IIMC로 진입한 사고에 특히 취약하다.

현재까지 가장 많이 인용되고 있는 데이터 분석 결과는 조종사가 IIMC에 진입한 후 평균적으로 178초 만에 치명적인 제어상실이 발생할 가능성이 매우 높다는 것이다 [8]. 특히 회전익 항공기는 시계비행(VFR)으로 대부분 임무를 수행하는데 이러한 데이터 분석결과가 시사하는 바는 비록 계기비행 훈련을 받은 조종사라도 갑자기 구름이나 안개 속에 진입하게 되면 안정적으로 항공기를 제어하기가 어렵고 사고도 높은 비율로 발생된다는 것이다 [9].

그 이유는 회전익 항공기는 항공역학적으로 고정익 항공기보다 안정성이 떨어질 뿐만 아니라 피로, 스트레스 등 많은 변수에 따라 조종사의 성능이 감소할 수 있기 때문이다. 아울러 IIMC에서 조종사가 공간정위상실에 빠지게 될 경우 불안정한 항공기 제어 상태나 비정상 자세가 나타날 수 있는데 이것으로 조종사의 성능이 급격히 떨어졌다는 것을 알 수 있다 [10].

이전 연구에서 조종사의 성능을 객관적으로 측정할 수 있는 지표로 에러율은 일반적으로 인정된다 [11]. Crognale, M. A는 조종사의 에러율을 분석하여 IIMC에서 조종사의 성능이 떨어지는 것을 확인하였다 [12]. 그러나 IIMC에서 회전익 항공기 조종사가 항공기 제어를 안전하게 유지할 수 있는 능력에 관한 세부적인 연구는 아직 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 IIMC에서 비행 시뮬레이션을 통해 비행 데이터를 수집하고 회전익 항공기 조종사의 에러율을 다양하게 분석하여 조종사의 비행특성을 파악하고자 한다. 이를 바탕으로 조종사의 에러율을 최소화하고 비행안전성을 향상시키기 위한 전략을 모색하였다.

II. 용어의 정의

2-1 저시정

항공분야에서 사용하는 가시거리 즉 시정(visibility)은 대기의 혼탁정도를 나타내는 기상요소로서 지면 근처에 놓인 적당한 크기의 검은 물체를 밝은 배경에서 관측했을 때 볼 수 있고 인식할 수 있는 최대 거리와 불빛이 없는 배경에서 1,000 칸텔라의 불빛을 볼 수 있고 식별할 수 있는 최대 거리 중 더 긴거리로 정의한다.

비행시정 (flight visibility)이라 함은 비행중인 항공기의 조종석에서 전방으로 바라보이는 시정을 말하는데 시계상의 양호한 기상상태는 항공안전법 시행규칙 별표 24에 따라 고도와 공역에 따라 그 기준이 다르다. 해발 900 m (3,000 ft) 또는 장애물 상공 300 m (1,000 ft) 중 높은 고도 이하에서 양호한 기상상태는 비행시정 5,000 m 이상을 의미한다. 예측할 수 없는 급격한 기상의 악화 등 부득이한 사유로 관할 항공교통관제기관으로부터 특별시계비행허가를 받은 경우는 비행시정을 1,500 m 이상 유지하며 관제권 안을 비행할 수 있지만 특별시계비행의 경우는 관제권 안에서의 비행만 한정한다 [13].

본 연구에서는 특별시계비행이 아닌 일반적인 정상 비행상황을 가정하여 실험하였으므로 저시정의 기준을 5,000 m 미만으로 정하였다.

2-2 공간정위상실

미연방항공청 (FAA; Federal Aviation Administration)은 공간정위상실에 대해 '시각, 전정, 평형기관 등의 물리적 감각에서 생기는 오류로 인해 조종사가 비행 상황을 실제와 다르게 인식하는 상태'로 정의하고 있다 [14].

공간정위상실은 크게 세 가지 유형으로 분류된다. Type I은 조종사 자신이 공간정위상실에 빠졌다는 것을 인식하지 못하는 경우이다. 이는 가장 많이 발생하는 유형으로 조종사가 문제를 인식하지 못해 적절한 수정 조치를 취하지 않을 수 있다. Type II는 조종사 스스로 공간정위상실 상태를 인식하지만 항공기의 안정된 자세를 유지하는데 어려움을 겪는 경우이다. Type III는 압도적으로 공간정위상실에 빠져서 조종 능력을 상실하는 경우이다 [15].

표 1과 같이 국내 회전익 항공기 사고는 대부분 시각 신호가 상실되어 공간정위상실에 빠지던 사례이며 조종사는 안정적인 항공기 통제에 어려움을 느끼고 심할 경우에는 항공기 제어가

불가능한 상태로 추락할 수 있다.

2-3 비정상 자세

ICAO Doc. 10011에서는 항공기 비정상 자세를 ‘정상적인 노선 비행이나 훈련에서 경험할 수 있는 파라 m를 초과하거나 의도치 않은 비정상적인 비행 상황’으로 정의하고 있다. 대형 항공기의 경우 비정상 자세는 항공기 상승각 25°, 강하각 10°, 선회각 45°를 초과하여 항공기의 속도가 정상적이지 않은 상태를 말한다 [16].

비정상 자세는 난기류, 계기 고장, 조종사 부주의, 조종 미숙, 공간정위상실 등의 원인으로 발생할 수 있으며 조종사는 적절한 회복조치를 통해 항공기의 자세를 안정시켜야 한다. 경험이 부족한 조종사는 적절한 회복 절차를 수행하지 못해 비행 실속(stall), 급격한 고도 손실, 항공기의 구조적 손상 등의 결과를 초래할 수 있다. 따라서 비정상 자세 회복 훈련을 통해 신속하고 안전하게 정상 비행 자세로 회복하는 능력을 키워야 한다.

2-4 에러 기준값 조작적 정의

고정의 항공기는 비정상 자세에 대한 정의가 명확하고 이를 회복하기 위한 훈련을 의무적으로 실시하고 있지만 회전익 항공기의 비정상 자세에 대한 기준은 명확하지 않다. 따라서 본 연구에서는 에러율을 분석하기 위해 먼저 정확한 에러 기준값에 대해 조작적 정의를 할 필요가 있다. 회전익 항공기가 IIMC 상황에 진입하게 되면 조종사는 계기비행(IFR)으로 전환을 하고 오직 계기만을 의존하여 비행하게 된다. 계기비행(IFR)은 특정 기준 내에서 항공기 자세나 제원을 유지할 수 있어야 하며 급격한 기동이 제한된다. 따라서 에러 기준값은 미연방항공청(FAA)의 계기비행 평가 자격이 있는 헬리콥터 안전 전문가를 통해 정의된 기준으로 정하였다 [12]. 이 기준에 따르면 조종사가 추락하거나 비행 매개변수를 초과하는 경우를 에러로 간주한다. 따라서 에러 기준값은 pitch $\pm 5^\circ$, bank $\pm 18^\circ$, heading $\pm 10^\circ$, 속도 ± 10 knots, 수직속도(VS) 분당 $\pm 1,000$ ft로 정하였다.

표 1. 국내 회전익 항공기 사고사례

Table 1. Domestic rotary wing aircraft accident cases.

No.	Date and Model	Cause of Accident
1	S92A2(08.7.19)	Entered clouds during landing
2	AS350B-2(11.5.5)	Crashed after entering clouds
3	AW-139(11.2.23)	Crashed during night flight
4	S76C (13.11.16)	Crashed due to fog
5	AS350N3(14.7.17)	right pedal in clouds
6	AS565(15.3.13)	during landing in sea fog
7	LYNX(16.10.26)	no-moonlight night flight
8	EC225(19.10.31)	no-moonlight night takeoff
9	S92(22.4.8)	no-moonlight night takeoff

에러 발생율은 단위 시간당 에러 기준값을 초과하는데 소요된 총 시간의 양을 의미하며 에러 발생율이 높다는 것은 조종사 성능이 떨어지는 것을 나타낸다.

III. 실험설계

3-1 시뮬레이터 장비

본 연구는 IIMC에서 조종사의 에러율을 분석하기 위하여 비행 시뮬레이터를 활용하였다. 시뮬레이터는 실험에 참가한 조종사들이 실제 비행환경과 똑같이 느낄 수 있도록 6축의 모션장치가 장착된 조종환경을 구축하였고 Lockheed Martin에서 개발한 교육용 Prepar 3D 프로그램을 사용하여 비행 시나리오를 설계하였다. 그림 1과 같이 교관석에서는 피실험자를 관찰하고 비행상태를 모니터링 할 수 있는데 이와 같은 모션 기반 시뮬레이터의 모든 비행데이터는 실시간으로 엑셀 파일로 저장되게 된다.

3-2 비행 시나리오

본 연구에서는 다양한 비행조건에 따라 조종사의 에러율을 비교분석하기 위하여 국지절차 비행 시나리오를 구성하였다. 항공기는 Bell-206 기종으로 조종사 1명만 탑승하여 인천공항에서 시계비행(VFR)으로 이륙시켰다.

실험에 참가한 조종사는 먼저 시뮬레이터에 익숙하게 적응하기 위하여 실험을 시작하기 전에 약 10분간의 친숙화 훈련을 자유롭게 실시하였고 교관 조종사는 항공교통관제(ATC)의 역할을 수행하였다. 교관 조종사는 피실험자가 비행 시 항공기의 표준 제원을 맞추도록 사전에 브리핑을 실시하였고 표준제원은 속도 80 knots, 수직속도 분당 ± 500 ft로 설정하였다.

구름은 BKN(운량 8/5~7/8) 이상으로 수평비행 고도보다 약 1,000 ft 높게 운고를 셋팅하고 만약 항공기가 구름속이나 차폐상태로 진입할 경우에는 중간강도의 난기류 조건을 동시에 구현시켰다. 이와 같이 비행환경을 설정한 이유는 실제 IIMC 상황의 비행환경과 유사하게 만들어 조종사의 에러 발생을 관찰하기 위해서였다. 실험 조건은 표 2와 같이 비행시정, 조종사 자격, 계기비행(IFR) 자격, 비행단계별로 구분하여 조종사의 에러율을 집계하였다.

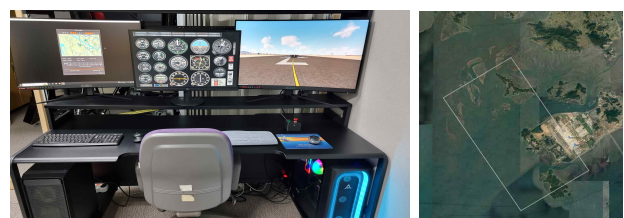


그림 1. 시뮬레이터 교관석

Fig. 1. Flight training device IOS.

먼저 비행시정은 초기 시정이 10 km 이상인 조건에서 시작하여 5 km로 낮추고 다시 감소시켜 완전히 차폐된 환경으로 모사하였다. 피실험자가 사전에 악기상 상태를 예상하여 적절한 대응을 하지 못하도록 기상은 예고없이 변경하였다.

조종사 자격은 솔로비행을 마친 학생조종사, 자가용조종사, 사업용조종사로 구분하였고 계기비행(IFR) 자격 유무에 따라 에러 발생율의 유의한 차이를 분석하고자 하였다. 마지막으로 비행 단계는 수평비행, 강하비행, 상승비행으로 조건을 구분하여 분석하였다.

표 2. 실험 조건

Table 2. Experimental conditions.

Category	Detail
Visibility	More than 10km / 5km / Obstructed
Pilot License	Student / Private / Commercial
IFR	Qualified / Not Qualified
Flight Phase	Climb / Cruise / Descent

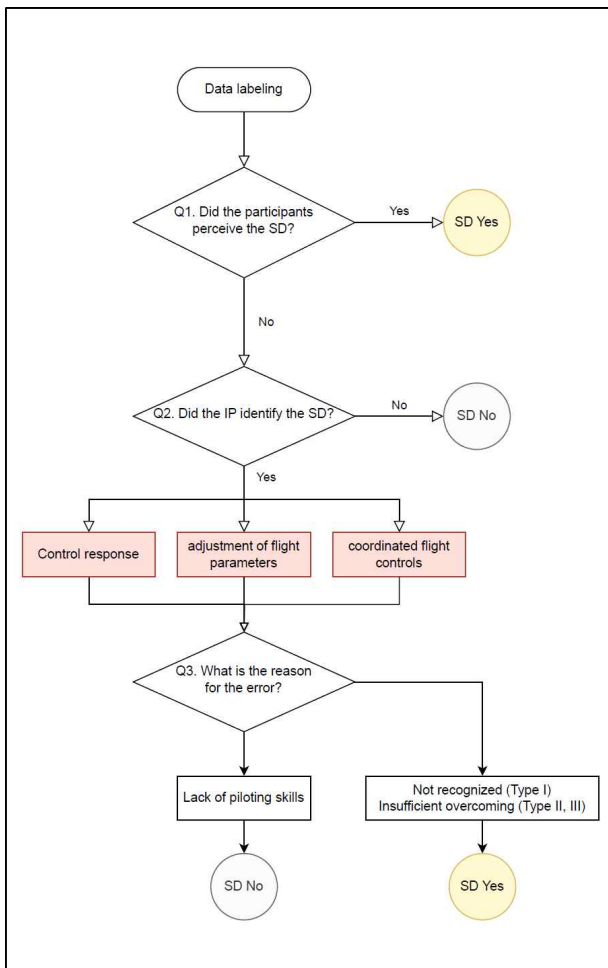


그림 2. 공간정위상실 분류 알고리즘

Fig. 2. SD (spatial disorientation) classification algorithm.

3-3 공간정위상실 데이터 분류

IIMC에서 조종사의 에러 발생율을 집계하고 추가로 공간정위상실에 들어간 경우와 아닌 경우를 정확히 분류하기 위해 그림 2와 같이 공간정위상실 분류 알고리즘을 설계하였다.

교관 조종사는 실험이 진행되는 동안 조종장치 반응여부, 제원 수정여부, 3타 일치(in trim) 조작을 관찰하였고 실험 후에는 실험 참가자와 교관 조종사 간의 인터뷰를 실시하였다. 이러한 과정을 통하여 실험 참가자가 공간정위상실을 느꼈을 경우 데이터는 ‘SD Yes’로 분류하였다. 만약 실험 참가자가 공간정위상실을 인식하지 못하였다더라도 교관 조종사가 공간정위상실이라고 판단될 경우에는 피실험자와 1대1 인터뷰를 통하여 당시 비행상황에 대한 깊은 논의를 하였고 교관 조종사는 공간정위상실 여부를 최종적으로 판단하게 된다.

IV. 연구결과

4-1 연구방법

본 연구는 IIMC에서 조종사의 에러율을 분석하기 위하여 비행 시뮬레이터를 활용하였고 총 65명의 조종사가 실험에 참가하였다. 실험을 통해 얻은 데이터는 표 3과 같이 시간, 항공기 자세, 항공기 제원 등 총 5가지 측정값을 획득하였다.

항공기 자세는 조종사 입력에 따라 변화되는 피치(pitch) 및 뱅크(bank)를 의미한다. 항공기 제원은 항공기 자세 변화에 따라서 변화되는 항공기의 방향(heading), 속도(speed), 수직속도(vertical speed) 값이다. 이러한 모든 데이터는 초당 5회씩 CSV 파일 형태로 저장된다.

저장된 데이터는 데이터 전처리 과정을 거쳐서 각 파라미터가 에러 기준값을 초과할 경우는 조종사의 에러가 발생된 것으로 집계하였다.

분석방법으로 비행시정 및 공간정위상실 유무에 따라 비행 파라미터 에러의 차이를 분석하기 위해 각각 크루스칼 월리스(Kruskal Wallace), 맨 휘트니 U (Mann-Whitney U) 검정을 실시하였다. 그리고 조종사 자격, 계기비행 자격 유무, 비행 단계별에 따른 조종사의 에러율을 분석하기 위해 포아송 회귀(Poisson regression) 분석을 실시하였다. 포아송 회귀는 카운트 데이터에 적합한 방법으로 에러 발생 횟수 데이터는 이러한 특성을 가지고 있으므로 데이터의 특성을 더 잘 반영할 수 있다.

표 3. 측정값

Table 3. Measures.

Category	Measurement
Time	Time(T)
Aircraft Attitude	Pitch, Bank
Specifications	Heading, Speed, VS(vertical speed)

4-2 분석 결과

세 가지 독립된 비행시정 조건에 따라 조종사의 에러 발생을 차이를 분석한 결과 표 4와 같이 pitch, bank, speed, Vs는 0.05의 유의 수준에서 통계적으로 유의미하지 않았으며 이는 세 조건 간의 중앙값에 유의미한 차이가 없음을 의미한다. Heading 비행 데이터의 크루스칼 왈리스 통계량은 9.82로 나타났으며 이에 대한 p-값은 0.007로 계산되었다. 이는 비행시정이 감소됨에 따라 조종사의 heading 에러 발생이 통계적으로 유의미한 차이가 있다는 것을 의미한다.

공간정위상실 유무에 따라 조종사의 에러 발생을 차이를 분석한 결과는 표 5와 같이 heading과 Vs는 0.05의 유의 수준에서 통계적으로 유의미하지 않았으며 이는 두 조건 간의 중앙값에 유의미한 차이가 없음을 의미한다. 그러나 pitch, bank, speed 비행 데이터의 p-값은 유의미한 차이가 발생하였다.

이러한 결과가 시사하는 바는 다음과 같다. 비행시정이 감소되면 조종사는 계기비행(IFR)로 전환하고 항공기의 안정적인 자세 유지를 위해 pitch, bank를 최우선적으로 집중하게 된다. 그 이유는 모든 조종사는 pitch, bank를 먼저 안정화 시키도록 교육을 받고 있는데 항공기의 기본적인 비행 자세를 제어하는 것이 비행 안전성을 확보하는 데 있어 가장 중요하기 때문이다. 기본적인 안정성을 확보한 이후에 항공기의 정확한 경로나 고도를 유지할 수 있도록 조종하는 것이 비상 상황에 효과적으로 대응할 수 있게 만든다. 그런데 공간정위상실에 빠졌을 경우는 상황이 다르다. 조종사가 기본적인 비행 자세를 제어하고 싶어도 감각기관과의 충돌로 인해 적절한 조치를 취하지 못하는 상황이다. 따라서 공간정위상실에 빠졌을 경우에는 pitch, bank, speed의 에러 발생 가능성이 커지고 기본적인 안정성을 확보하지 못해 추락으로 연결될 수도 있는 것이다.

표 4. 비행시정별 크루스칼 왈리스 검정 결과
Table 4. Kruscal Wallace test results by visibility.

Category	n	Chi-square	p-value
Pitch	65	1.515	0.468
Bank	65	1.85	0.396
Heading	65	9.82	0.007
Speed	65	5.09	0.078
Vs	65	4.17	0.124

표 5. 공간정위상실 유무에 따른 맨-휘트니 U 검정 결과
Table 4. Mann-Whitney U test results by SD.

Category	n	Mann-Whitney U	p-value
Pitch	65	1542.0	0.003
Bank	65	1982.5	0.043
Heading	65	1768.0	0.080
Speed	65	1666.5	0.010
Vs	65	1830.5	0.075

다음으로 조종사의 자격 등급을 각각 학생조종사 (Certi=1), 자가용조종사 (Certi=2), 사업용조종사 (Certi=3)로 분류하여 에러율을 분석한 결과 표 6과 같다. 저시정 조건에서 조종사 자격은 에러 발생에 유의미한(유의확률<.001) 차이가 발생하였다. 학생조종사(Certi=1)의 회귀 계수는 0.426이고 Exp(B) 값은 1.530으로 추정되었으며 이는 사업용조종사에 비해 에러 발생이 약 53% 증가하는 것을 의미한다. 자가용 조종사(Certi=2)의 회귀 계수는 0.382, Exp(B)는 1.465로 사업용조종사에 비해 에러 발생이 약 46.5% 증가함을 의미한다. 따라서 조종사의 자격 등급은 에러 발생과 관련이 있으며 학생 조종사와 자가용 조종사의 에러 발생이 사업용 조종사에 비해 높은 경향이 있다.

계기비행(IFR) 자격 유무에 따른 에러 발생을 분석한 결과는 표 7과 같다. 계기비행(IFR) 자격을 보유하지 않은 조종사(IFR=0)의 경우 회귀 계수는 0.215이고, Exp(B) 값은 1.240으로 통계적으로 유의미한(유의확률 < .001) 차이가 발생하였다. 이는 저시정 조건에서 계기비행(IFR) 자격을 보유하지 않은 조종사는 자격을 보유한 조종사에 비해 상대적으로 에러 발생이 약 21% 증가함을 의미한다.

이러한 결과가 시사하는 바는 다음과 같다. 비행시간이 많고 숙련된 조종사는 예상했던 대로 에러 발생율이 적으며 IIMC에서 안정된 항공기 통제를 할 수 있다. 특히 회전의 항공기는 IIMC와 같은 비상 상황이 많이 발생되므로 조종사 계기비행에 관한 기본 훈련이나 자격보유를 의무화 시키는 것이 필요하다.

마지막으로 비행 단계를 각각 상승비행 (Stage=1), 강하비행 (Stage=2), 수평비행 (Stage=3)로 분류하여 에러율을 분석한 결과 표 8과 같다. 저시정 조건에서 비행 단계는 에러 발생에 유의미한(유의확률<.001) 차이가 발생하였다.

상승비행 (Stage=1)인 경우 회귀 계수는 0.405, Exp(B) 값은 1.500으로 추정되었으며 이는 수평비행에 비해 에러 발생이 약 50% 증가하는 것을 의미한다. 강하비행 (Stage=2)인 경우 회귀 계수는 0.349, Exp(B)는 1.417로 수평비행에 비해 약 41.7% 증가함을 의미한다. 이러한 결과는 상승비행 및 강하비행이 수평비행에 비해 높은 에러 발생 경향이 있음을 나타낸다. 수평비행과 강하비행 사이에는 수치적으로 큰 차이가 없으나 상승비행이 강하비행에 비해 에러 발생률이 다소 높은 경향을 보인다.

이러한 결과가 시사하는 바는 다음과 같다. 저시정 조건에서 항공기의 안정적인 자세 유지를 위해 조종사는 각 계기를 적절한 방법으로 스캐닝하게 된다. 그런데 상승비행이나 강하비행은 수평비행에 비해 주의를 기울여야 할 계기가 많고 특히, 이착륙 단계에서는 조종사가 처리해야 할 정보의 양은 많아진다. 따라서 수평비행에 비해 상승 및 강하비행에 조종사의 에러 발생은 증가할 수 있으며 상승비행 단계가 가장 취약한 것으로 판단된다. 최근 국내 회전의 항공기 사고사례에서도 이착륙 중에 IIMC에 들어갈 경우 치명적인 사고가 발생한 사례가 많다. 따라서 상승 및 강하 비행 단계에서 IIMC 상황 발생 시 신속하고 효과적인 대응을 하기 위해 별도의 교육훈련을 마련할 필요가 있다.

표 6. 조종사 자격별 포아송 회귀분석 결과

Table 6. Poisson regression analysis by certification.

Parameter Estimates										
Parameter	B	Std. Error	95% Wald CI		Hypothesis Test			Exp(B)	95% CI for Exp(B)	
			Lower	Upper	Wald Chi-Square	Degrees of Freedom	Probability		Lower	Upper
(Intercept)	6.055	.0092	6.037	6.073	437430.651	1	<.001	426.143	418.565	433.858
[Certi=1]	.426	.0122	.402	.449	1225.962	1	<.001	1.530	1.494	1.567
[Certi=2]	.382	.0144	.353	.410	703.377	1	<.001	1.465	1.424	1.507
[Certi=3]	0a	.	.	.	.	.	.	1	.	.
(Scale)	1b									

Dependent Variable : total error
Model : (Intercept), Certi

표 7. 계기비행자격 유무별 포아송 회귀분석 결과

Table 7. Poisson regression analysis by IFR.

Parameter Estimates										
Parameter	B	Std. Error	95% Wald CI		Hypothesis Test			Exp(B)	95% CI for Exp(B)	
			Lower	Upper	Wald Chi-Square	Degrees of Freedom	Probability		Lower	Upper
(Intercept)	6.145	.0112	6.123	6.167	299463.930	1	<.001	466.471	456.316	476.851
[IFR=0]	.215	.0127	.190	.240	285.782	1	<.001	1.240	1.210	1.272
[IFR=1]	0a	.	.	.	.	.	.	1	.	.
(Scale)	1b									

Dependent Variable : total error
Model : (Intercept), IFR

표 8. 비행단계별 포아송 회귀분석 결과

Table 8. Poisson regression analysis by flight stage.

Parameter Estimates										
Parameter	B	Std. Error	95% Wald CI		Hypothesis Test			Exp(B)	95% CI for Exp(B)	
			Lower	Upper	Wald Chi-Square	Degrees of Freedom	Probability		Lower	Upper
(Intercept)	4.943	.0105	4.923	4.964	222666.502	1	<.001	140.200	137.351	143.108
[stage=1]	.405	.0135	.379	.432	898.742	1	<.001	1.500	1.461	1.540
[stage=2]	.349	.0137	.322	.376	650.230	1	<.001	1.417	1.380	1.456
[stage=3]	0a	.	.	.	.	.	.	1	.	.
(Scale)	1b									

Dependent Variable : total error
Model : (Intercept), stage

III. 결론

민간항공사고의 대부분은 인적요인에 의해 발생하고 특히 회전익 항공기는 예상하지 못하거나 의도하지 않게 악기상으로 진입하는 IIMC 상황에서의 사고가 많이 발생하고 있다. IIMC는 비행시정이 나빠져 조종사의 시각적 참조가 감소됨에 따라 조종사의 성능이 떨어지고 에러가 증가할 수 있으며, 이는 공간정위상실로 이어질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 저시정 조건에서 회전익 항공기 조종사의 에러율과 비행특성을 분석하여 조종사가 안전하게 대응할 수 있는 방안을 마련하는 것을 목표로 하였다.

연구결과 비행시정이 감소함에 따라 여러 비행 매개변수 중 heading 에러의 유의미한 차이가 발생하였고 공간정위상실로 이어질 경우에는 pitch, bank, speed 에러의 유의미한 차이가 발생하였다. 실제로 2014년도 추락한 소방헬기 사고조사보고서에 따르면 원인 미상의 이유로 heading 서서히 돌아갔고 이후에 공간정위상실로 추락한 것으로 사고원인이 밝혀졌다. 저시정 조건에서 조종사의 에러가 증가할 수는 있지만 적절한 조치를 취하지 않을 경우 통제하기 어려운 상황으로 발전될 수 있는 것이다. 따라서 이러한 결과는 저시정 조건에서 조종사의 비행특성에 대한 통찰력을 제공하고 향후 공간정위상실을 감지하는 기술 개발에 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

저시정 조건에서 조종사 자격 등급과 계기비행(IFR) 자격 유무에 따른 분석결과 학생 조종사와 자가용 조종사는 사업용 조종사에 비해 에러 발생률이 더 높았고, 계기비행(IFR) 자격을 보유하지 않은 조종사는 에러 발생률이 상대적으로 높은 것으로 나타났는데 이는 조종사의 경험과 계기비행 훈련이 조종사의 에러율을 줄이는데 중요한 역할을 한다는 것을 시사한다. 고정익 항공기 자가용 조종사 자격취득시 미연방항공청(FAA)에서는 3시간의 기본 계기비행 자세 훈련을 받도록 의무화 되어 있으나 회전익 항공기 조종사는 관련된 의무규정이 마련되어 있지 않다. 따라서 IIMC 상황에서 회전익 항공기 사고를 줄이기 위해서는 관련 제도를 강화해야 한다.

또한 저시정 조건에서 회전익 항공기는 상승 및 강하비행 단계에서의 에러 발생률이 수평비행에 비해 높았으며 특히, 상승 비행 단계가 가장 취약한 것으로 분석되었다. 이는 특정 비행 단계에서 조종사의 집중력과 판단력이 더 중요하며 각 임무 특성에 맞는 훈련프로그램을 적용시켜 조종사들이 이러한 상황을 더 잘 인식하고 대응할 수 있도록 훈련하는 것이 필요하다. 따라서 조종사 교육과 훈련 프로그램은 저시정 조건에서의 비행 특성을 반영하여 설계되어야 하며 특히 상승 및 강하 단계에서 요구되는 조종 기술과 위험 상황 인식 능력을 강화하는 데 중점을 두어야 한다.

Acknowledgments

본 과제(결과물)는 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2021RIS-004)

References

- [1] T. J. Yu, C. Y. Kim, and S. H. Lim, "A Study on analysis of accident rate and the latent condition of accident for helicopters in Korea," *Journal of the Korean Society for Aeronautical Science and Flight Operation*, Vol. 22, No. 4, pp. 56-64, 2014.
- [2] R. L. Newman, and A. H. Rupert, "The magnitude of the spatial disorientation problem in transport airplanes," *Aerospace Medicine and Human Performance*, Vol. 91, No. 2, pp. 65-70, 2020.
- [3] J. Vreeken, Helicopter flight in a degraded visual environment, National Aerospace Laboratory, Amsterdam The Netherlands, NLR-TP-2013-559, 2013.
- [4] H. S. Tak, A study on the prevention of the rotary-wing aircraft pilot's spatial disorientation, M.S. dissertation, Kongju National University, Kongju, Korea, 2015.
- [5] M. Y. Tu, C. C. Cheng, Y. H. Hsin, W. W. Huang, F. L. Li, J. M. Hu, K. T. Chiang, and C. Y. Lai, "Analysis of in-flight spatial disorientation among military pilots in Taiwan," *Journal of Medical Sciences*, Vol. 41, No. 1, pp. 22-28, Feb. 2021.
- [6] USHST, Recommended practice: spatial disorientation induced by DVE, United States Helicopter Safety Team, H-SE 127A, 2020.
- [7] W. R. Knecht, and M. Lenz, Causes of general aviation weather-related, non-fatal incidents: Analysis using NASA aviation safety reporting system data, FAA, Washington DC, DOT/FAA/AM-10/13, 2010.
- [8] M. Smith (2022, June). "178 seconds," AOPA [Internet]. Available: <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2022/june/pilot/asi-tips-178-seconds>.
- [9] A. Ayiei, J. Murray, and G. Wild, "Visual flight into instrument meteorological condition: A post accident analysis," *Safety*, Vol. 6, No. 2, pp. 19, 2020.
- [10] M. A. Gallo, H. Alhallaf, S. Baran, I. Cremer, C. Finn, I. Maharaj, A. S. Ozyurek, A. E. Peker, B. Reese, and I. Tuncman, "Inadvertent VFR-into-IMC flights: A qualitative approach to describing GA pilots' first-hand experiences," *The Collegiate Aviation Review International*, Vol. 33, No. 2, 2015.
- [11] D. H. Kim, "The Study for status of an aviation safety management based on the performance of pilots," *Journal*

of the Ergonomics Society of Korea, Vol. 37, No. 3, pp. 273-281, 2018.

[12] M. A. Crognale, and W. K. Krebs, "Performance of helicopter pilots during inadvertent flight into instrument meteorological conditions," *The International Journal of Aviation Psychology*, Vol. 21, No. 3, pp. 235-253, 2011.

[13] MOLIT, Aviation Safety Act, 2024.

[14] FAA, FAA-H-8083-25B: Pilot's Handbook of Aeronautical

Knowledge, 2016.

[15] C. Hao, X. Fan, C. Dong, L. Qiao, X. Li, X. Li, L. Cheng, L. Guo, and R. Zhao, "A classification method for unrecognized spatial disorientation based on perceptual process," *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 140654-140660, 2020.

[16] ICAO, Doc 10011: Manual on Aeroplane Upset Prevention and Recovery Training, 2014.



임 세 훈 (Se-Hoon Yim)

2023년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 항공학부 부교수
 2007년 5월 ~ 2023년 2월 : 산림청 산림항공본부 팀장
 2000년 3월 ~ 2005년 6월 : 해군 조종사
 ※ 관심분야 : 항공안전, 인적요인, 운항품질, 항행안전시스템



조 영 진 (Young-Jin Cho)

2020년 2월 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 (이학박사)
 2014년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 항공학부 교수
 ※ 관심분야 : 헬리콥터 운항, 항공교통시스템, 항행안전시스템