Original Article

https://doi.org/10.12985/ksaa.2020.28.4.021
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

국내 헬리콥터 조종사 인적오류 사고 분류 및 분석

유태정*, 권영국**, 송병흠***

Classification and Analysis of Human Error Accidents of Helicopter Pilots in Korea

TaeJung Yu*, YoungGuk Kwon**, Byeong-Heum Song***

ABSTRACT

There are two to three helicopter accidents every year in Korea, representing 5.7 deaths per 100,000 flights. In this study, an analysis was conducted on helicopter accidents that occurred in Korea from 2005 to 2017. The accident analysis was based on the aircraft accident and incident report published by the Aircraft and Railway Accident Investigation Board. This Research analyzed the characteristics of accidents occurring in Korea caused by human error by pilots. Accident analysis was done by classifying the organization, flight mission, aircraft class, flight stage, accident cause, etc. Pilot's huan error was classified as Skill-based error, decision error and perceptual error in accordance with the HFACS taxonomy. The accidents caused by pilot's human error were classified into five categories: powerlines collision , loss of control, fuel exhaustion, unstable approach to reservoir , and elimination of tail rotor.

Key Words : Helicopter Accident Analysis(헬리콥터 사고분석), Helicopter Pilot Error(헬리콥터 조종사 오류), Human Error Accidents(인적오류 사고), HFACS(인적요인 사고분류체계)

Ⅰ. 서 론

1970년대에 항공기 안전이 안정화 수준으로 발전된 이후로 지금까지 항공 사고의 원인 중 70~80%는 인적요인에 의해 발생되고 있다(Ma, R. and Yuan, X.-G., 2011). 미국 NTSB에서 제공된 1995~2008년 사이에 발생된 30,243건의 항공기 사고 및 준사고의 자료를 분석한 결과, 조종사의 인적 오류가 여러 다른 기인 요인들과 결합되었을 때 준사고보다는 추락(crash)되는 경우가 더 많이 발생되었다(Feng, X., Li, J., 2010).

국내에서 1996년부터 2016년까지 20년간 발생한 헬리콥터 사망사고는 57건으로 연평균 2.85건이 발생되었다(유태정 외, 2017). 또한 2008년~2013년까지 발생한 국내 헬리콥터 사고율은 민간에서는 10만 시간당 15.2건이 발생되었으며, 이중 사망사고는 10.7건이 발생하였다. 비민간에서는 10만 시간당 5.7건으로 나타났으며, 이중 사망사고는 5.7건이었다(유태정 외, 2014).

Lee(2012)의 보고에 따르면 2006년~2010년까지 5년간 미국 민간헬기 사고율은 10만 시간당 4.6건이며, 사망사고는 0.8건이었다. 국내와 비교해 보면 약 5배 이상 국내에서 사고가 더 발생되고 있다. Reason

Received: 14. Oct. 2020, Revised: 30. Nov. 2020, Accepted: 30. Nov. 2020
* 한국방송공사 기장, 이학박사
** 서울과학기술대학교 안전공학과 교수
*** 한국항공대학교 항공운항학과 교수
연락저자 E-mail : bhsong@kau.ac.kr
연락저자 주소 : 경기도 고양시 덕양구 화전동 항공대길 100

(1990)은 스위스 치즈 모델을 통해 항공기 사고는 사고의 잠재적 조건을 막지 못하면 불안전한 행동을 유발하고 최종적으로 사고가 발생된다고 하였다. 또한 Shappell and Wiegmann(2000)은 Reason의 스위스 치즈모델을 기반으로 인적요인 분석 및 분류 체계(HFACS; Human Factors Analysis and Classification System)를 개발하였다. 미국 해군/해병대에서는 1997년부터 HFACS를 적용하여 운용하고 있으며, HFACS는 민간 항공을 포함하여 다양한 고위험 환경에서 인적 오류를 분류하고 조사하는데, 신뢰성 있는 조사방법으로 이용되고 있다(Shappell and Wiegmann, 2000; Wiegmann and Shappell, 2001, 2003). 또한, HFACS는 항공뿐만 아니라, 도로(Iden and Shappell, 2006), 응급 의료 수송(Boquet et al., 2004), 철도(HFACS-RR, Reinach and Viale, 2006), 해양(HFACS-MA, Celik and Er, 2007), 건강 관리(Milligan, 2007), 외과수술(El Bardissi et al., 2007), 정비(HFACS-ME, Krulak, 2004), 항공교통관제(HFACS-ATC, Scarborough and Pounds, 2001)등에서 활용되고 있다.

Weigmann and Shapell(2001)의 HFACS 분석 결과에 따르면 분석 항목에 있어서 평가자 간 일치도를 분석한 결과, 0.71의 코헨 카파(Cohen's kappa)를 가지고 있어 수용 가능한 층간 신뢰도를 나타냈다. Gaur(2005)는 인도의 민간항공사고보고서에 대한 HFACS 분석 결과, 86%의 일치도를 나타낸 것으로 보고하였다. Liu et al.(2013)은 민간 회전익 사고 83건에 대해 각 HFACS 하위 범주 내에서 층간 신뢰도를 조사했으며, 하위 범주는 0.62부터 1.00까지의 코헨 카파 계수를 나타냈으며, 18개의 HFACS 하위 범주 중 6개는 코헨의 카파가 1.00이었다.

본 연구에서는 국내 헬리콥터 사고 중 발생된 조종사의 인적 오류에 의해 발생된 사고를 유형별로 분류하고 HFACS를 기반으로 사고 유형별 인적 오류의 특성을 분석하였다. 국내 헬리콥터 사고에 있어서 조종사 오류에 의한 사고의 유형과 인적오류 특성을 도출함으로써 향후 헬리콥터 비행 안전 개선책을 모색하고자 한다.

II. 이론적 배경

2.1 헬리콥터 사고 분류

2.1.1 비행단계 분류

헬리콥터 비행단계 분류는 ICAO에서 항공 사고 및 준사고의 자료를 분석하고 저장하는 데 사용하고 있는 ECCAIRS(European Coordination Centre for Accidents and Incident Reporting Systems)로[1] 보고 체계 분류 방법을 적용하였다.
이에 따라 헬리콥터의 비행 단계는 정지, 지상 활주, 이륙, 순항, 기동, 접근, 착륙 등 7단계로 구분하며, 세부 분류는 Table 1과 같다.

2.1.2 사고 이벤트 유형 분류

본 연구에서 분류한 항공기 사고 이벤트 유형 분류는 ICAO Common Taxonomy Team(2013)[2]의 분류 기준에 따라 수행하였다. 항공기 사고 이벤트 유형은 비행 중 및 항공기, 지상운항, 기타, 비항공기, 이륙 및 착륙, 기상 등으로 분류하며, 세부 분류 항목은 Table 2와 같다.

2.2 인간행동 및 인적오류 분류

2.2.1 인간행동 분류

2.2.1.1 SRK 모델

SRK[3] 모델은 정보처리절차를 구현하는 가장 잘 알려져 있는 접근법으로서 정보 처리 활동은 서로 다른 수준에서 이루어진다고 보고 있다(Rasmussen et al., 1994). SRK 모델은 정보처리 수준을 기술(skill) 기반 수준, 규칙(rule) 기반 수준, 지식(knowledge) 기반 수준으로 분류한다. SRK 수준별 과제 수행 과정을 살펴보면, Table 3과 같이 기술기반 수준은 활성화 후 자동적으로 실행을 하게 되며, 규칙기반 수준에서는 관찰(observation), 식별(identification), 계획(planning)의 과정 후 실행을 하게 된다. 지식기반 수준에서는 활성화, 관찰, 식별, 해석(interpretation), 평가(evaluation), 계획, 실행의 과정을 거치게 된다(Maurizio, 2012).

1) ECCAIRS Aviation 1.3.0.12(VL for AttrID 391-Event Phases, 2013).

2) Commercial Aviation Safety Team/Common Taxonomy Team(2013). Phase of Flight: Definitions and Usage Notes(Vol. 1.3).

3) SRK : Skill, Rule, Knowledge.

Table 1. Helicopter flight phase classification(ECCAIRS Aviation 1.3.0.12)

No	분류 명칭	
	비행단계	세부 분류
1	정지	엔진 미가동, 엔진 시동, 엔진 가동, 엔진 정지, 기타
2	지상활주	활주로로 이동, 이륙지점으로 이동, 활주로로부터 이동, 공중활주/제자리비행 활주, 기타
3	이륙	활주이륙, 수직이륙, 외부화물 수직 이륙, 이륙 중단, 초기 상승, 비행장주로 이륙, 이륙 중 비행 강하, 이륙 중 조종제어 손실 강하, 제자리비행에서 전진비행으로 전환, 기타
4	순항	순항고도 상승, 순항, 순항고도 변경, 정상 강하, 비상 강하, 비상 자동활공, 조종제어 손실 강하, 체공, 기타
5	기동	곡예비행, 저고도 비행, 외부화물 이송, 비상 강하, 조종제어 손실 강하, 자동활공 강하, 제자리비행, 기타
6	접근	전진비행에서 제자리비행으로 전환, 초기 접근, 중간 접근, 최종 접근, 장주(배풍, 베이스, 최종, 측풍), 실패접근 또는 복행, 접근 중 비상 강하, 접근 중 비상 자동 활공, 접근 중 조종제어 손실 강하, 접근 체공, 기타
7	착륙	전진비행에서 제자리비행으로 전환, 플레어, 수직 착륙, 활주 착륙, 자동 활공 착륙, 접지 후 착륙 포기, 비상착륙, 기타

Table 2. Aircraft accident event type(common taxonomy team, 2013)

구분	이벤트유형
비행 중	급기동, 공중충돌, 지형충돌, 연료 고갈, 활공기 견인 관련, 조종제어 손실-비행 중, 양력상실, 저고도비행, 항행오류-비행 중, 계기비행상태 조우
항공기	화재-직접, 동력장치 외 고장, 동력장치 고장
지상 운항*	비상탈출, 화재-간접, 장애물충돌-지상운항 중, 지상조업, 조종제어 손실-지상운항 중, 항행오류-지상운항 중, 활주로이탈, 활주로침범, 야생동물충돌
기타	조류, 객실안전사고, 외부화물, 보안관련, 기타
비 항공기**	항행서비스, 공항운영
이륙 및 착륙	비정상적 활주로충돌, 장애물충돌-이착륙 중, 활주로 미착·과착

* 지상 운항: 항공기 이착륙 전후 지상 운항 중 발생된 이벤트.

** 비 항공기: 항행 서비스와 공항 운영에 의해 발생된 이벤트.

Table 3. Information process by SRK level (Rasmussen et al., 1994)

분류수준	정보 처리 과정
기술기반	활성화, 실행
규칙기반	활성화, **관찰, 식별, 계획,** 실행
지식기반	활성화, 관찰, 식별, **해석, 평가,** 계획, 실행

2.2.1.2 인지 기준 모델(RMC[4])

인지기준모델은 작업환경과 운용자의 대응사이에 발생하는 정신적 작용에 초점을 맞춘다(Wickens, 1984). RMC 모델에서 정신 작용은 네 종류의 주요 인지 기능과 두 가지의 중요한 인지 프로세스에 기초한다. 네 가지 주요 인지기능은 지각(perception), 해석(interpretation), 계획 (planning), 실행(execution)이다. 이 네 가지 기능의 중요성 때문에 모델은 PIPE(4 기능의 첫 문자)로도 알려져 있다. 이 모델은 지각, 해석, 계획 및 실행의 네 가지 인지 기능 간의 연결을 통해 인지 기능이 반복되고 유지된다는 것을 암시한다(Maurizio, 2012).

4) RMC: Reference Model of Cognition.

2.2.1.3 상황제어모델(COCOM[5])

상황제어모델에서는 역량(competence)과 제어(control)를 인간 행동의 주요 특징으로 간주한다(Hollnagel, 2000). 상황제어모델은 단순인지모델(SMoC; Simple Model of Cognition)로부터 시작되었으며, SMoC은 인간의 인지기능에 대한 기본적인 특징을 설명하는 것으로서 관찰(observation)에서 계획(planning), 해석(interpretation), 행동(action)에 이르는 전형적인 경로를 암시하며, 모델의 경로는 한정되지 않는 게 특징이다(Hollnagel, 1998). 상황제어모델에서는 상황적(contextual) 요인에 의해 직무제어(control)가 변화되고, 이에 따라 운용자의 행동신뢰도가 결정된다고 보고 있다. 상황제어모델에서 역량(competence)은 주어진 상황에서 인간이 할 수 있는 능력에 대한 집합을 의미하며, 인간이 무엇을 할 수 있는지와 더불어 의사결정, 문제해결, 계획 등과 같은 행동의 복합 형태에 이르는 다양한 기능을 포함한다(Hollnagel, 2005). 제어(control)는 우리가 어떻게 일을 하고 어떻게 행동들이 선택되고 실행되는지 설명한다. 제어의 본질적인 부분은 그 사람의 시간적 범위 내에서 단기적으로 무엇을 해야 할지를 계획하는 것이다(Amalberti and Deblon, 1992).

2.2.1.4 인간 행동 모델 종합

위에서 제시된 SRK의 수준별 행동기반과 RMC 정보처리과정 및 COCOM의 인지기능 별 정보처리 분류를 비교하면 Table 4와 같다. 기술기반 수준은 RMC의 지각, 실행에 해당하며, COCOM에서는 관찰, 실행에 해당한다.

규칙기반 수준은 RMC의 지각, 계획, 실행이 포함되며, COCOM에서는 관찰, 계획, 실행 기능에 의해 수행된다. 지식기반 수준은 RMC 모델에서는 지각, 계획, 해석, 실행 기능이 모두 사용되며, COCOM 모델의 경우 관찰, 계획, 해석, 실행 기능이 모두 포함된다.

Table 4. Comparison of information processing by human behavior model

SRK	RMC	COCOM
기술기반	지각, 실행	관찰, 실행
규칙기반	지각, 계획, 실행	관찰, 계획, 실행
지식기반	지각, 계획, 해석, 실행	관찰, 계획, 해석, 실행

5) COCOM: Contextual Control Model.

2.2.2 인적오류 분류

오류를 분류함에 있어서 의도(intention)는 매우 중요한 개념이다. 사전의도에 따라 행해진 행동은 의도한 대로 행해진 행동과 의도하지 않은 행동으로 구분되는데 의도하지 않은 행동은 실수(slip) 또는 망각(lapse)으로 구분하며, 주로 익숙한 환경에서 수행되는 자동화된 업무와 수행 중인 과업 이외에 다른 것에 주의가 현저하게 사로잡힌 상황에서 발생된다(Reason, 1990). 의도한 대로 행해진 행동으로 원하는 결과를 얻었다면 성공적 행동이 되며, 그렇지 못하였다면 착오(mistake)가 된다(Norman, 1981; Reason and Mycielska, 1982). Norman(1983)은 착오(mistakes)와 실수(slips or lapses) 간의 차이를 매우 간결하게 구분하였는데, 그는 "의도가 적절하지 못하였다면 이것은 착오(mistake)이다. 행동이 의도된 것이 아니라면 이것은 실수(slip)다" 라고 하였다. 착오(mistakes)는 사전 의도와 의도된 결과 간의 불일치를 포함한다. 하지만 실수(slips)와 망각(lapses)은 의도한 행동과 실제 수행한 행동 간의 불일치를 의미한다.

Wickens and Hollands(2000)은 Fig. 1과 같이 정보처리 측면에서 인적오류의 유형으로 분류하였다. 계획 단계에서 발생하는 오류는 지각(perception)과 인지(cognition) 과정에서 발생하는데, 이는 목표나 상황을 잘못 재인(recognition)할 때 발생할 수 있다. 이러한 오류는 기억의 한계를 초과하거나 편향(bias)을 통해 발생하며 지각적 문제나 인지적 취약성 때문일 수 있다. 착오(mistake)는 지식 기반 착오와 규칙 기반 착오로 나뉜다. 지식기반 착오는 정보가 과도하거나 정보를 해석할 지식이 부족한 경우에 발생한다. 규칙 기반 착오는 규칙, 절차 등의 오류로, 두 가지 경우로 나눌 수 있는데, 그것은 규칙의 오판, 절차 등의 오판, 현 상

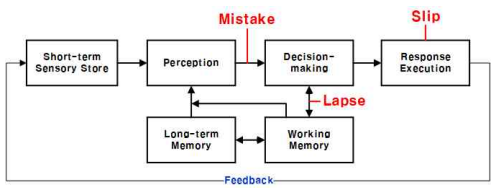

Fig. 1. Error classification by human information processing model (Wickens and Hollands, 2000)

황에 잘못된 규칙이 적용되는 경우를 나타낸다. Reason (1990)은 일반 오류 모델링 시스템(GEMS[6])을 통해 SRK 수준별 기본 오류 유형을 분류하고 각 수준별 오류에 대해 Table 5와 같이 분류하였다.

기술기반수준에서는 일상행동 중 도식(schema)에 의한 자동처리과정에서 실수 및 망각 등의 오류가 발생하고, 규칙기반수준에서는 문제해결행동 중 규칙에 의한 자동처리과정에서 규칙기반의 착오 오류를 범하게 된다. 지식기반 수준에서는 문제해결을 위한 의식처리 과정에서 지식기반의 착오 오류가 발생된다.

2.2.3 인간행동모델과 인적오류 종합

인간행동모델과 인적오류를 비교해 보면 Table 6과 같이 기술기반수준의 익숙한 직무를 수행하는 경우, 인지적 기능은 지각(관찰) 후 도식에 의해 자동화된 실행이 이루어지는데, 이때 실수(slip) 및 망각(lapse) 등의 기술기반오류가 발생되게 된다. 경험이 많지 않은 규칙기반 수준의 직무를 수행하는 경우 인지적 기능은 지각(관찰) 및 계획 후 규칙에 따라 자동 처리되어 실행하게 되는데, 이때 잘못된 계획으로 규칙기반의 착오가 발생될 수 있다. 또한 지식기반수준의 새로운 직무를 수행하는 경우 지각(관찰), 계획, 해석 후 의식 처리를 통해 실행의 과정을 거치게 된다. 이때 잘못된 계획 또는(과) 해석으로 인해 지식기반의 착오가 발생하게 된다.

Table 5. Human error by performance level (Reason, 1990)

수행도 수준	오류유형	행동유형	제어모드
기술 기반	실수(slips) 및 망각(lapse)	일상행동	자동처리 (도식)
규칙 기반	규칙기반착오 (RB mistake)	문제해결 행동	자동처리 (규칙)
지식 기반	지식기반착오 (KB mistake)		의식 처리

Table 6. Human behavior model and error classification

인간행동모델			오류 분류	
SRK	RMC (인지기능)	COCOM (역량)	오류유형	제어모드
기술 기반	지각, 실행	관찰, 실행	실수, 망각	자동처리 (도식)
규칙 기반	지각, 계획, 실행	관찰, 계획, 실행	규칙기반 착오	자동처리 (규칙)
지식 기반	지각, 계획, 해석, 실행	관찰, 계획, 해석, 실행	지식기반 착오	의식 처리

2.3 HFACS 인적오류 분류

HFACS 분류 기준을 보면 불안전행위(unsafe act)는 오류와 위반으로 분류하며, 오류는 기술기반과 의사결정, 지각 오류로 분류하며, 위반에서는 일상위반과 예외적 위반으로 분류한다. HFACS에서 제시하고 있는 각 오류별 세부항목은 Table 7과 같다.

기술 기반 오류(skill-based error)는 주의력 및 기억력, 조종 기술(technique)의 실패를 의미한다. 주의력 실패는 시각적 빠른 검색 패턴의 고장, 작업 고착, 조종간의 우발적 작동, 절차상의 잘못된 순서 등이 포함된다. 기억 실패는 체크리스트, 위치 상실 또는 망각에 의한 항목 누락 등으로 분류된다. 조종기술(technique) 오류는 특정한 행동 순서를 수행하는데 있어 잘못된 방법을 수행하는 것을 의미한다. 의사결정 오류는 계획한 대로 진행되는 의도적인 행동을 나타내지만, 계획 자체는 상황에 적합하지 않거나 부적절함을 나타낸다. 흔히 “정직한 실수”라고 일컬어지는 이러한 안전하지 못한 행위는 적절한 지식이 없거나 부적절한 선택을 통해 발생된다. 잘못된 선택, 부적절한 절차 수행, 문제 해결 실패 등이 해당된다. 지각 오류는 시각적 착각과 공간적 방향 상실과 같이 감각 입력이 저하되거나 “비정상적”일 때 발생하거나 항공 승무원이 단순히

Table 7. Category of errors(Wiegmann et al., 2003)

오류	세부 항목
기술 기반	시각 점검 실패, 주의 우선순위 실패, 부적절한 비행 조종 장치 사용, 비행 절차 단계 누락, 체크리스트 항목 누락, 부족한 기술, 과도한 항공기 조작
의사 결정	부적절한 절차 결정, 비상 상황에 대한 잘못된 진단, 비상 상황에 대한 잘못된 대응 선택, 능력을 초과한 결정, 부적절한 기동 선택, 부실한 결정
지각	잘못 판단된 거리/고도, 공간 방향 감각 상실 시각적 착시

6) GEMS : Generic Error Modelling System.

항공기의 고도, 자세 또는 비행속도를 잘못 판단할 때 발생할 수 있다. 또한, 착각이나 방향감각에 대한 조종사의 잘못된 대응에 의해 발생된다.

Ⅲ. 국내 헬리콥터 사고 분석

3.1 헬리콥터 사고 통계

3.1.1 소속별 사고 현황

2005년부터 2017년까지 국내에서 헬리콥터 사고 및 준사고는 32건이 발생하였다. 이중사고는 27건, 준사고는 5건이며, 소속 별 사고 현황을 보면 Table 8과 같이 기관 소속의 사고는 6건, 민간 업체 소속 26건이 발생되었다. 같은 기간 민간 업체에서 발생된 사고는 기관보다 4.3배 높게 나타났다. 기관의 사고 6건 중 공중산불진화 임무 중 4건, 인원이송과 산불감시 임무 중 각 1건이 발생되었다. 민간소속의 사고 26건 중 공중산불진화 임무 중 3건, 항공방제 임무 중 7건, 외부화물이송 임무 중 9건, 인원수송 임무 중 5건, 산불감시 및 촬영 임무 중 1건이 발생되었다.

기관 임무 중 단좌 조종사 임무 수행 중 1건이 발생되었고 복좌 조종사 임무 중 5건이 발생되었으며, 민간의 경우 단좌 조종사와 복좌 조종사 임무 모두 13건씩 동일하게 발생되었다. 조종사 나이 및 경력을 보면 기장은 평균 52.1세(기관 52.5세, 민간 51.8세), 부기장은 평균 49.5세로 나타났으며, 기장의 평균 비행시간은 5,410시간(기관 4,654시간, 민간 6,165시간), 부기장의 평균 비행시간은 3,953시간으로 나타났다.

3.1.2 항공기 등급별 사고 현황

엔진 단발 헬리콥터와 다발 헬리콥터의 사고 건수를 비교하면 Table 9와 같이 단발의 인명 피해는 사망 6건, 중상 4건, 경상 2건이 발생되었고, 항공기는 전파 9건, 대파 3건, 소파 2건이 발생되었다. 다발의 인명피해는 사망 12건 중상 1건이 발생되었고, 항공기 피해는 전파 10건, 대파 2건, 소파 2건이 각각 발생되었다. 단발과 다발을 비교했을 때 건수는 동일하게 16건씩 발생되었지만 사망사고는 다발이 단발보다 2배 높게 발생된 것으로 나타났으며, 항공기 피해 정도는 유사한 결과를 나타냈다.

Table 9. Accident status by aircraft class

구분	건수	인명 피해				항공기 피해			
		사망	중상	경상	없음	전파	대파	소파	없음
단발	16	6	4	2	4	9	3	2	2
다발	16	12	1	0	3	10	2	2	2

3.1.3 비행임무 단계별 사고 현황

비행임무별 사고를 분석하여 보면 Table 10과 같이 산불진화의 경우 기동 비행단계 중 저고도 비행에서 6건의 사고가 발생되었는데, 이중 담수지 추락에 의한 사망사고가 3건 발생되었다. 담수지 이동 단계에서 연료 고갈, 송전선 충돌, 꼬리날개 분리으로 사망사고가 발생되었다. 항공방제 임무의 경우 저고도 비행단계에서 급수지 접근 중 조종제어 손실로 인해 사망사고가 1건 발생되었으며, 약제 살포 중 송전선 충돌로 사망사고 3건, 비사망사고 3건이 발생되었다. 외부화물의 경우 외부화물이송 단계에서 인양 이륙 중 엔진고장에 의한 비사망사고 2건, 엔진 이외 고장 1건, 유도 오류에 의한 비사망사고가 1건 발생되었다. 또한 하화지 이동 중 연료 고갈 문제로 사망사고가 1건 발생되었고, 꼬리날개 고장에 의한 비사망사고 1건, 조종제어 손실에 의한 사망사고 1건이 발생되었다. 접근 및 하화 단계에서 유도오류에 의해 사망사고가 1건 발생되었으며, 인양지 이동 중 꼬리날개 분리에 의해 비사망사고가 1건 발생되었다.

인원수송 임무에서는 순항 단계에서 엔진 이외 고장 및 조류 충돌에 의한 비사망사고가 1건씩 발생되었으

Table 8. Accident/incident status

구분	항공기 사고결과				임무형태별 사고현황						조종인원(명)		기장(평균)		부기장(평균)	
	건수	사망	부상	없음	산불	방제	외부화물	인원이송	공중감시	촬영	단좌	복좌	나이	비행시간	나이	비행시간
기관	6	6	0	0	4	-	-	1	1	-	1	5	52.5	4,654	47.4	3,242
민간	26	11	8	7	2	7	9	5	2	1	13	13	51.8	6,165	51.5	4,663
합계	32	17	8	7	6	7	9	6	3	1	14	18	52.2	5,410	49.5	3,953

Table 10. Accident status by flight phases

구분	비행단계	임무 단계	건수	
			사망	비사망
산불진화	기동 저고도	담수접근	3	0
		담수지 이동	3	0
항공방제	기동 저고도	급수지 접근	1	0
		약제 살포	3	3
외부화물	기동 저고도	인양이륙	0	4
		하화지 이동	2	1
		접근 및 하화	1	0
		인양지 이동	0	1
인원수송	순항	순항	0	2
		순항 상승	1	0
	접근	최종접근	1	0
		실패접근	0	1
	착륙	접지	0	1
공중감시	순항	순항	1	1
	접근	최종접근	1	0
촬영	순항	순항	0	1
계			17	15

며, 순항 상승 중 조종제어 손실에 의한 사망사고가 1건 발생되었다. 또한 최종접근 단계에서 조종제어 손실로 사망사고 1건, 실패접근 단계에서 조종제어 손실로 인해 비사망사고가 1건 발생되었다. 공중 감시 임무의 경우 순항 단계에서 조종제어 손실로 사망사고 1건, 연료 고갈에 의해 비사망사고 1건이 발생되었다. 또한 최종 접근단계에서 꼬리날개 분리으로 사망사고가 1건 발생되었다. 촬영 임무 중에는 순항단계에서 연료 고갈 문제로 인해 비사망사고 1건이 발생되었다.

비행임무별 사고를 종합하여 보면 Table 11과 같이 전체 32건의 사고 중 순항단계에서 6건(16.8%), 기동단계에서 22건(68.8%), 접근 강하단계에서 3건(9.3%), 착륙 단계에서 1건(3.1%)이 발생되어 헬리콥터의 사고는 저고도 기동 중 주로 발생되고 있다는 것으로 분석되었다.

3.1.4 원인별 발생건수

사고 원인을 분류하여 보면 Table 12와 같이 인적오류에 의한 사고가 26건(84.4%), 항공기 고장에 의한

Table 11. Total accident status by flight phases

구분	1	2	3	4	5	6	7	합계
	정지	지상 활주	이륙 상승	순항	기동	접근 강하	착륙	
건수	-	-	-	6	22	3	1	32
%	-	-	-	18.8	68.8	9.3	3.1	100

Table 12. Accident status by causes

구분	인적오류			항공기 고장		
	조종사	유도	소계	엔진 고장	엔진외 고장	소계
건수	24	2	26	2	4	6
%	75.0	6.25	81.25	6.25	12.5	17.75

사고 6건(15.6%)를 나타냈다. 인적오류의 경우, 조종사 오류가 24건(75.0%), 유도사 오류는 각 2건(6.25%)를 나타냈다. 항공기 고장의 경우 엔진고장 2건(6.25%)과 엔진외 고장 4건(12.5%)이 발생되었다.

조종사 인적오류 사고를 주요 유형별로 종합하여 보면 Table 13과 같이 송전선 충돌 7건, 조종제어 손실 6건, 연료 고갈 4건, 수면 추락 3건, 꼬리날개 분리 2건, 기타 2건 순으로 나타났다.

3.2 조종사 인적오류 분석

헬리콥터 사고 중 인적오류에 의해 발생된 사고를 임무별과 사고 유형별로 분류하여 분석을 수행하였다. 헬리콥터 사고가 발생된 임무는 공중산불진화, 항공방제, 외부화물이송, 인원수송, 공중감시, 항공촬영 등 6개 임무이며, 발생된 사고의 유형은 송전선 충돌, 조종제어 손실, 연료 고갈, 담수지 추락, 꼬리날개 분리로 분류하였다.

3.2.1 임무별 인적오류 분석

3.2.1.1 공중산불진화

공중산불진화 중 발생된 사고에서 인적오류는 기술

Table 13. Accident type by pilot error

분류	송전선 충돌	조종제어 상실	연료 고갈	담수지 추락	꼬리날개 분리	기타	합계
건수	7	6	4	3	2	2	24

기반 14건, 의사결정 4건, 지각오류 6건, 일상적 위반 1건으로 분석되었다. 각 불안전 행동을 종합하여 보면 기술기반오류의 경우 항공기 속도/고도 조절 실패, 악기상 조우 시 항공기 자세유지 및 비상절차 수행 실패, 점검 절차 미수행, 엔진고장 비상절차 수행 실패, 꼬리날개 고장 비상절차 수행 실패 등으로 분류된다. 의사결정오류는 부적절한 경로 선정, 잘못된 비행경로선정, 항공기 감속 조작 지연 등으로 분석되었다. 지각 오류로서는 비행 속도 및 고도 착각, 경고등 미발견, 장애물 미발견이 도출되었다.

3.2.1.2 항공방제

항공방제 중 발생된 사고에서 인적오류는 기술기반 2건, 의사결정 7건, 지각 오류 7건이 식별되었다. 기술기반 오류에서는 고도유지 실패, 부적절한 선회조작 등이 분석되었으며, 의사결정오류에서는 부적절한 임무경로 선정, 임무지역 예찰비행 미실시가 도출되었다. 지각 오류에서는 고도침하 미인지, 장애물 미발견, 장애물 위치 망각 등이 분석되었다.

3.2.1.3 외부화물이송

외부화물이송 중 발생된 사고에서 인적오류는 기술기반 7건, 의사결정 1건, 위반 1건으로 분석되었다. 기술기반 오류의 주요 요인으로는 과도한 항공기 조작, 임무 지역 상태 확임 미실시, 엔진 비상절차 수행 미흡, 항공기 운용 절차 미수행, 계기 비행 중 자세유지 실패 등이 분석되었다. 의사결정 오류에서는 부적절한 임무 경로 및 절차 선정이 분류되었고, 일상적 위반으로는 미인가 자체 항공기 운용 절차 수행이 도출되었다.

3.2.1.4 인원수송

인원수송 중 발생된 사고에서 식별되는 인적오류는 11건이며, 기술기반 4건, 의사결정 7건으로 분석되었다. 기술기반 유류에서의 주요 요인으로는 부적절한 복행 조작, 부적절한 자세유지 조작, 부적절한 착륙 조작 등이 분석되었으며, 의사결정 오류에서는 악기상 상태에서 시계비행에 의한 착륙 결정, 과도한 자동비행 의존, 악기상 상태에서 부적절한 운항결정 등이 분석되었다.

3.2.1.5 공중감시

공중감시 중 발생된 사고에서 인적오류는 4건이 식별되었으며, 기술기반 3건, 의사결정 1건으로 분석되었다. 기술기반 오류에서의 주요 요인은 구름 속 자세유지 실패, 구름 속 진입 후 부적절한 이탈 절차 수행, 꼬리회전날개 고장 비상절차 수행 부적절 등이 분석되었으며, 의사결정 오류에서는 과도하게 구름과 근접한 이동 경로 선정이 분석되었다.

3.2.1.6 항공촬영

항공촬영 중 발생된 사고에서 인적오류는 기술기반 오류 및 의사결정 오류 각 1건이 분석되었다. 기술기반 오류는 자동회전 비상착륙 조치 미흡으로 지상 과충격이 분석되었으며, 의사결정오류는 저연료 경고등 점등 후 즉각적인 조치 절차 미실시가 도출되었다.

3.2.1.7 종합

각 임무별 인적오류 분석 결과를 종합하여 보면 Table 14와 같으며, 전체 오류 중 기술기반에 의한 오류가 31건으로 47.7%를 차지하였으며, 의사결정 오류는 21건으로 32.3%를 나타냈다. 지각오류는 13건이 식별되어 20.0%를 보였다.

3.2.2 사고유형별 인적오류 분석(Table 15)

3.2.2.1 송전선 충돌

연구 대상 기간 중 헬리콥터 사고 유형 중 가장 많은 사고가 발생된 것은 송전선 충돌에 의한 사고이다. 송전선 충돌 사고는 공중산불진화 중 이동 간에 1건, 항공방제 중 약제 살포 임무 수행 중 6건이 발생되었다. 송전선 충돌에 의해서는 4건의 사망사고, 중상사고

Table 14. Comprehensive classification of pilot error by mission

구분	기술 기반	의사 결정	지각 오류	합계
산불	14	4	6	24
방제	2	7	7	16
외부화물	7	1	-	8
인원수송	4	7	-	11
공중감시	3	1	-	4
항공촬영	1	1	-	2
합계	31	21	13	65
비율(%)	47.7	32.3	20	100

1건이 발생되었으며, 2건에서는 피해가 발생되지 않았다. 송전선 충돌 사고의 원인으로서 분석된 인적오류는 의사결정오류로서 부적절한 임무 경로 선정과 임무지역예찰비행 미실시, 지각오류에는 고도침하 미인지, 장애물 미발견, 장애물 늦은 발견, 장애물 위치 망각 등이 도출되었다.

3.2.2.2 조종제어 손실

조종제어 손실에 의한 사고는 총 6건이 발생되었으며, 인원이송 중 3건, 항공방제와 외부화물이송, 공중감시 임무 중 각 1건씩 발생되었다. 조종제어 손실 은 기술기반 오류와 의사결정오류에 의해 초래되었다. 기술기반 오류는 운중 비행 중 자세유지 실패, 부적절한 복행 조작, 구름 속 진입 후 부적절한 이탈 절차 수행, 의사결정 오류로는 부적절한 비행경로 설정, 지면 육안 미식별 상태로 강하, 악기상 중 무리한 임무 결정, 부적절한 자동화 장비 운용 등이 분석되었다.

3.2.2.3 연료 고갈

연료 고갈에 의한 사고는 총 4건이 발생되었으며, 산불진화, 화물이송, 공중 감시, 항공촬영에서 각 1건씩 발생되었다. 연료 고갈은 인적오류로서는 부적절한 엔진정지 비상절차 수행, 부적절한 연료 보급 절차 수행, 저연료 경고등 점등 시 조치 미흡, 연료 경고등 미발견이 도출되었으며, 항공기 점검표 미준수 위반도 분석되었다.

3.2.2.4 담수지 추락

산불진화 담수 중 추락한 사고는 총 3건이 발생되었으며, 모두 담수접근 중 발생되었다. 산불 진화 담수 중 추락 사고에서 발생된 인적오류는 빠른 강하속도, 늦은 항공기 감속 조작, 비행 중 계기 교차점검 미실시 등과 비행 고도 및 속도 착각 등이 발생된 것으로 분석되었다.

3.2.2.5 꼬리날개 분리

꼬리날개 분리 사고는 총 2건이 발생되었으며, 공중 산불진화와 외부화물이송 중 발생되었다. 공중산불진화에서는 담수지 이동시 발생되었으며, 외부화물이송 임무에서는 인양지 이동 시 발생되었다. 꼬리날개 분리 사고에서 발생된 인적오류는 외부장비 길이 적합 여부 미확인, 조종간의 급격한 조작, 꼬리 날개 탈락 비상절차 수행 미흡, 과도한 강하율로 강하, 부적절한 임무 경로 선정 등이 발생된 것으로 분석되었다.

Table 15. Classification of human error by accident type

구분	임무형태	인적 오류		
		기술기반	의사결정	지각
송전선 충돌	방제(6건) 산불(1건)	-	부적절한 임무 경로 선정, 임무지역 예찰비행 미실시	고도침하 미인지, 장애물 미 발견, 장애물 늦은 발견
조종 제어 손실	인원(3건) 방제/화물/감시 (각 1건)	운중 비행 중 자세유지 실패, 부적절한 복행 조작, 구름 속 진입 후 부적절한 이탈 절차 수행	부적절한 임무 수행 결정, 지면 육안 미식별 상태로 강하, 악기상 중 무리한 임무 결정, 부적절한 자동화 장비 운용	-
연료 고갈	산불/화물/ 감시/촬영 (각 1건)	부적절한 엔진정지 비상절차 수행, 부적절한 연료 보급 절차 수행	저연료 경고등 점등 조치 미흡	연료 경고등 미 식별
담수지 추락	산불 (3건)	빠른 강하속도 비행, 항공기 감속 조작 늦음, 비행 중 계기 교차점검 미실시	-	-
꼬리 날개 탈락	산불/화물 (각 1건)	외부장비 길이 적합여부 미확인, 조종간의 급격한 조작, 꼬리날개 분리 비상절차 수행 미흡, 과도한 강하율로 강하	부적절한 임무 경로 선정	-

Ⅳ. 결 론

본 연구는 2005년부터 2017년까지 발생된 헬리콥터 사고 및 준사고 32건을 대상으로 분석되었다. 국내 헬리콥터 사고의 특성을 도출하기 위해 조직별, 임무별, 비행 단계별, 사고 원인별 등에 대해 분석을 수행하였다. 사고 원인별에서는 인적오류에 의해 발생되고 있는 사고 유형 5가지를 도출하였다. 5가지 사고 유형은 송전선 충돌, 조종제어 손실, 연료 고갈, 담수지 추락, 꼬리날개 분리 등이다. 분석 결과, 조종사의 인적오류에 의한 사고는 24건으로 전체 75%를 차지하였다.

HFACS 기법을 통해 조종사 인적오류에 의해 발생된 24건을 분석 결과는 조종사의 오류는 총 65건이 식별되었다. 이중 기술기반오류가 31건(47.7%)으로 가장 많았으며, 의사결정오류가 21건(32.3%), 지각오류는 13건(20.0%)을 나타냈다. 인적오류에 의한 사고 24건을 감안했을 때 평균적으로 한 사고에서 2.7건의 조종사의 인적오류가 발생되었다는 것을 알 수 있다. 5가지 사고 유형별로 살펴보면 각 유형별로 평균 4.8건의 오류가 도출되었다.

본 연구를 통해 식별된 조종사의 인적오류를 저감하기 위해서는 사전에 예방대책을 강구해야 한다. 송전선 충돌의 경우 임무지역 장애물에 대한 면밀한 분석과 인지가 필요하므로 철저한 예찰비행과 지속적으로 조종사에게 장애물의 위치를 재인지해야 할 것이다. 조종제어 손실의 경우 악기상에 대한 대처훈련이 반복적으로 수행되어야 하며, 실시간으로 임무지역 기상을 파악할 수 있는 대책이 필요하다. 연료 고갈의 경우 임무완수를 위한 시간 압박에 대한 관리와 임무 중 주기적으로 연료량을 지상과 임무 조종사간 상호 확인할 수 있는 절차 수립이 필요하다. 또한 담수지 추락을 예방하기 위해서는 지정된 속도와 고도를 초과하는 경우 반드시 복행 절차를 수행하도록 해야 하며, 조종사간 복행선언이 자유롭게 이루어질 수 있도록 지속적인 훈련과 교육이 요구된다. 꼬리날개 분리의 경우 외부장비의 장착 시 꼬리날개 충돌 방지를 위한 임무장비 길이조절과 안전속도 준수와 급격한 자세변화 방지를 위한 고도 준수가 요구된다.

매년 지속되고 있는 헬리콥터 사고를 예방하기 위해서는 무엇보다 조종사의 인적오류 관리가 중요하다. 본 연구를 통해 분석된 결과를 활용하여 체계적인 예방대책을 강구한다면 헬리콥터 사고를 줄여나갈 수 있을 것으로 보인다.

References

1. Amalberti, R. and Deblon, F. “Cognitive modeling of fighter aircraft process control: A step towards an intelligent onboard assistance system”. International Journal of Man-Machine Studies, 36, 1992, pp. 639-671.
2. Feng, X. and Li, J., “Analyzing pilot-related accidents and incidents by data mining”, International Conference on Computer Applicationand System Modeling; 2010 Oct pp. 22-24; Shanxi, Taiyuan, China:IEEE Computer Society 2010.
3. Hollnagel, E., “Cognitive Reliability and Error Anlaysis Method-Cream”, 1st edition, Elsevier Science, Oxford, England, 1998.
4. Hollnagel, E., “Modelling the orderliness of human action” In: Sarter, N. B. and Amalberti, R. (Eds.), Cognitive Engineering in the Aviation Domain. Mahwah, NJ:Lawrence Erlbaum Associates. 2000.
5. Hollnagel, E. and Woods, D. D., “Joint Cognitive Systems: Foundations of Cognitive Systems Engineering”, Boca Raton, FL: Taylor and Francis. 2005.
6. Lee, Roskop, “U.S. Rotorcraft accident data and statistics”, FAA, 2012 FAA/Industry Safety Forum, 2012.
7. Ma, R. and Yuan, X. -G. “Human error and system safety: Case study of commercial aviation accidents in Mainland China”, 2nd IEEE International Conference on Emergency Management and Management Sciences, ICEMMS; 2011 Aug pp. 8-10; Beijing, China: IEEE Computer Society 2011.
8. Maurizio, C., “Risk, Security and Organizational Aspects”, Information and organizzazioni, FrancoAngeli, Milano, Italy, 2012, 58-52.
9. Norman, D. A., “Categorization of action slips”. Psychological Review, 88, 1981, pp. 1-15.
10. Norman, D. A. “Position paper on human

error", NATO Advanced Research Workshop on Human Error. Bellagio, Italy, 1983.
11. Rasmussen, J., Pejtersen, A. M. and Goodstein, L. P., "Cognitive Systems Engineering", John Wiley and Sons, 1994.
12. Reason, J. T. and Mycielska, K. "Absent-minded? The Psychology of Mental Lapses and Everyday Errors", Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 1982.
13. Reason, J. "Human Error", New York: Cambridge University Press. 1990.
14. Shappell, S. A. and Wiegmann, D. A., "U. S. naval aviation mishaps 1977-92: Differences between single -and dual- piloted aircraft", Aviation, Space, and Environmental Medicine 67, 1996, pp. 65-9.
15. Shappell, S. A., and Wiegmann, D. A. "The Human factors analysis and classification system-HFACS", Technical Report DOT/FAA/AM-00/7. Washington, DC: Office of Aviation Medicine. 2000.
16. Shappell, Detwiler and Wiegmann, "Hackworth FAA DOT/FAA/AM-06/18 human error and commercial aviation accidents: A comprehensive", Fine-Grained Analysis Using HFACS, 2006.
17. Wiegmann, D., Shappell, S., "The human factors analysis and classification system-HFACS", FAA DOT/FAA/AM-00/7 Office of Aerospace Medicine: Washington, DC., 2000.
18. Wiegmann D. A. and Shappell S. A., "A human error approach to aviation accident analysis", The Human Factors Analysis and Classification System, 2003, Ashgate.
19. Wiegmann, D. A., and Shappell, S. A. "Human error perspectives in aviation", The International Journal of Aviation Psychology, 11(4), 2001, pp. 341-357.
20. Wickens, C. D. "Processing Resources in Attention", In R. Para-suraman and R. Davies (Eds.), Varieties of Attention 1984, New York: Academic Press, pp. 63-101.
21. Wickens, C. D. and Hollands, J. G., "Engineering Psychology and Human Performance", 3rd Ed, NJ: Prentice-Hall Inc, 2000.
22. Yu, T. J., Kim, C. Y. and Lim, S. H., "A study on analysis of accident rate and the latent condition of accident for helicopters in Korea", Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 22(4), 2014, pp. 56-64.
23. Yu, T. J. and Song B. H., "The effect of organizational influence on precondition for unsafe acts in pilots-Focused on HFACS", Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 25(4), 2017, pp. 161-169.