

# 항공기 비정상 자세 사고의 TEM 분류 및 UPRT 향상에 관한 연구

## Analysis of Aircraft Upset through TEM and Improvement of UPRT

최진국\*, 전승준\*\*  
극동대학교\*, 가톨릭관동대학교\*\*

Jin-Kook Choi(safeskyleader@gmail.com)\*, Seung-Joon Jeon(massey2006@gmail.com)\*\*

### 요약

항공운항사고율은 항공기 비정상 자세(Upset)로 인한 조종능력상실(LOC-I: Loss of Control in Flight)이 가장 높아 ICAO(International Civil Aviation Organization: 국제민간항공기구)는 TEM(Threat and Error Management)을 활용하여 비정상자세 예방 및 회복훈련(UPRT: Upset Prevention & Recovery Training)을 하도록 권고하였다. 그러나 전 세계적으로 항공기 비정상 자세에 관한 TEM 요인 연구가 많이 도출되지 않은 관계로 항공사들이 실질적인 TEM 훈련에 참고할 자료가 많지 않은 실정이다. 본 연구의 목적은 UPRT의 소개와 항공기 비정상 자세로 인한 대표적 사고 3건을 ICAO에서 권고하는 TEM으로 분류하여 핵심요소인 위협과 에러, 불안전항공기 상태의 공통요인을 도출하여 살펴보는 것이다. 본 논문에서 대표적인 비정상자세 사고를 TEM을 활용하여 분류한 결과 공통위협으로는 야간비행/IFR, 자동화 놀람, 부적절한 훈련과 미숙련 부기장 편조로 나타났다. 공통 에러로는 부적절한 엔진 추력, 절차적응오류, 조종, 속도이탈 및 고도 이탈, 의사소통실패, 항공기 이상자세, 복창실패, 크로스 체크 실패 등으로 나타났으며, 불안전항공기 상태로는 부적절한 자동화 모드, 저속이탈, 수직 이탈, 부정확한 엔진 추력 등으로 실속하여 추락한 것으로 나타났다. 또한 공통요인으로부터 개선방향을 도출하여 본 연구는 시작단계에 있는 TEM활용 Upset 향상 방안을 제시하고자 한다.

■ 중심어 : 비정상 자세 회복훈련 | 항공사고 | 조종능력 상실 | 국제민간항공기구 | 위협 및 에러관리 |

### Abstract

Loss of Control in Flight(LOC-I) due to aircraft upset attitude has the highest air accident rate, and International Aviation Institute such as ICAO and FAA recommended flight crew to operate aircraft safely through UPRT(Upset Prevention & Recovery Training) program. ICAO has selected Loss of Control(LOC) as key safety indicator, and recommended to respond using TEM(Threat and Error Management). However there are not much specific treats and errors classified for UPRT programs using real TEM based on evidences.

This study intends to consider the importance of UPRT through the introduction of UPRT and accident analysis using TEM. Typical upset accidents were classified to common threats as IFR, inadequate training, Automation surprise, and inexperienced copilots. The common errors were cross-check, speed and altitude deviation, callouts, communication, thrust and stall action fail. The undesired aircraft states were inadequate automation mode, Deviation of speed and vertical, stall, and crash. These suggest areas to improve UPRT.

■ keyword : UPRT | Aircraft Accident | Loss of Control | ICAO | TEM |

## I. 서론

2017년 세계 정기 상업용 항공기 사고는 총 88건이 발생하였으며, 2016년의 75건에 비해 17%가 증가하였다. 1백만 출발 당 항공기 사고율은 2016년의 2.16건에서 2017년에 2.42건으로 12%가 증가하여 전체 사고율은 증가하고 있다[1]. 사망사고율의 경우에도 2014년부터 2018년까지 5년간 1백만 출발 당 평균 사망사고율은 0.24건이었으나, 2017년은 0.36건이고, 2018년에는 0.36건으로 계속 증가하고 있다[2].

[Fig. 1]과 같이 2008년부터 2017년까지 최근 10년간 통계에서도 상업용 항공기 인명사고의 원인으로 LOC-I(비행 중 조종능력상실: Loss of Control in Flight)이 가장 높은 것으로 나타났다. LOC-I 사고로 인한 사망자 수는 1,129명으로 사망사고 2위인 CFIT(조종상태 지상 충돌: Control Flight Into Terrain)사고 사망자 600명보다 약 2배가 더 많아 항공기 추락사고의 가장 큰 원인으로 밝혀졌다[3]. 단순한 조종기술향상이 아닌 전반적인 핵심역량 강화를 위해 UPRT를 실시하여 예상치 못한 비정상 자세 상황에서 조종사의 대처 능력을 높이는 노력이 요구된다.

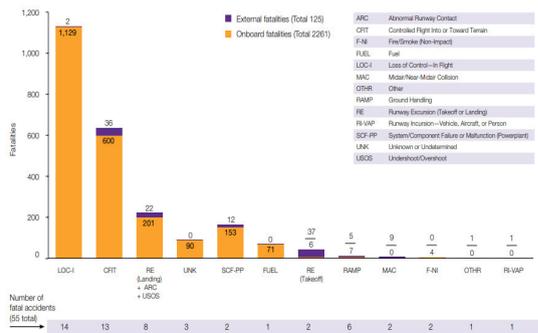
위에서 언급한 바와 같이 항공사고는 지속적으로 증가하는 추세이며 특히 비행 중 조종능력상실로 인한 사고 사망자가 가장 많아 국제기관 및 항공당국과 항공사들이 이러한 사고율을 줄이기 위해 노력을 하고 있으며, LOC-I 사고를 저감하기 위해서는 LOC사고와 관련된 조종사의 위협과 에러의 식별과 UPRT 훈련의 문제점이 파악되어야 효과적인 대처와 개선이 가능하다.

본 연구의 목적은 항공기 비정상 자세로 인한 사고를 이해하기 위하여 UPRT의 소개와 항공기 비정상 자세의 대표적 사고 3건을 ICAO에서 권고하는 TEM을 활용하여 분류하여 핵심요소인 위협과 에러, 불안전항공기 상태의 공통요인을 도출하여 살펴보는 것이다. 최근 사고는 사고조사보고서가 아직 나오지 않은 상태여서 제외하였다. 또한 항공기 비정상 자세를 예방하기 위해 UPRT에 대하여 고찰하고자 한다.

ICAO에서 권고하고 전 세계에서 항공안전 시에 TEM 기법을 활용하라고 권고하고 있다. 항공 인적요인은 델파이와 설문으로 보완하기 어려운 점이 있어 항공분야에

서는 ICAO에서 정한 TEM 기법을 받아들여 사용하고 있다. 그러나 아직 학자들에게는 인식이 부족한 부분도 있어서 논문이 많지 않아, 현재까지 TEM을 활용한 국내 논문 1편 외에는 국제적으로도 UPRT 관련하여 TEM 분석 연구가 활성화되지 못한 실정이다. 본 연구에서는 실제 발생하였던 사고에 대하여 TEM으로 분류하여 구체적인 위협과 에러를 도출하였다.

Fatalities by CICTT Aviation Occurrence Categories  
Fatal Accidents | Worldwide Commercial Jet Fleet | 2008 through 2017



Note: Principal categories as assigned by CAST. For a complete description of CAST/ICAO Common Taxonomy Team (CICTT) Aviation Occurrence Categories, go to [www.intlaviationstandards.org](http://www.intlaviationstandards.org).

Fig. 1. The Fatalities by Aviation Occurrence

## II. 이론적 논의

### 1. UPRT 및 TEM 의 정의

#### 1.1 UPRT(Upset Prevention & Recovery Training)

UPRT는 Upset Prevention & Recovery Training 의 약자로 항공기 비정상 자세로 인한 조종능력상실 항공사고를 예방 및 회복하기 위한 훈련으로 정의된다. 여기에서 언급된 항공기 비정상자세(Upset)란 조종사가 의도하지 않았지만 항공기 상승각 25도 이상, 강하각 10도 이하 초과 및 선회각(Bank Angle) 45도 이상 또는 부적절한 속도에서 상기의 한도를 초과하는 비행자세로 정의된다[4].

#### 1.2 TEM(Threat and Error Management)

TEM의 정의는 운항승무원들이 위협을 식별하고 관리

하며, 에러를 회피하고 탐지하여 약화하는 안전운항 기법이다. 위협의 정의는 조종사들의 영향 밖에서 발생하였지만 조종사의 관리를 요하고, 운영환경의 복잡성을 증가시켜서 조종사들로 하여금 에러를 발생하게 할 가능성이 있는 것이다. 에러는 실행을 하거나 실행하지 않아 조직이나 승무원의 의도나 계획으로부터 벗어나도록 초래하는 것으로 정의된다[5].

## 2. 항공기 비정상 자세 및 UPRT

### 2.1 ICAO의 비정상 자세 사고 예방

ICAO는 항공사가 LOC-I(비행 중 조종능력상실) 사고를 예방하기 위해서 효과적으로 훈련을 하도록 비행 중 조종능력상실 사고를 활주로 충돌, 조종상태 지상 충돌(CFIT: Control Flight Into Terrain)등의 고위험 항공기 사고로 분류하여 핵심 안전지표로 관리하고 있다. 국제민간항공기구인 ICAO와 및 국제 항공 안전기관들이 LOC 사고를 예방하기 위해서 많은 노력을 해왔다. 또한 ICAO는 비행 중 조종능력 상실과 관련된 항공기 비정상 자세 사고의 기여요인으로 잘못된 절차 적용 또는 부적절한 조종(flight control inputs), 공간 지각능력 상실(spatially disoriented), 항공기의 에너지 관리(속도와 고도) 미흡, 조종사의 주의분산(distracted), 부적절한 훈련 등으로 5가지 요인을 지목하여, 이를 예방하기 위하여 UPRT(Upset Prevention & Recovery Training) 훈련을 강화하기를 권고하였다[4]. ICAO는 2019년 3월부터 의무적으로 UPRT를 실행하도록 계약국에 권고하여 비정상자세로 인한 LOC사고를 예방하기 위해 노력을 하고 있다.

### 2.2 UPRT 법적 요건

국토부는 글로벌 항공안전 핵심과제들에 대해 적극적으로 알리고 조종능력을 강화하여 사고를 예방하기 위해 2016년에 ICAO와 함께 비행 조종능력 강화(UPRT) 워크숍을 개최하였다. 또한 LOC를 항공안전장애를 활용하여 안전지표로 운영하여 관리하고 있다[6].

국토부는 운항 기술기준의 8.4.8.1 운항승무원 일반 라항의 훈련 프로그램 항목에 항공기 비정상 자세 예방 및 회복훈련(UPRT)프로그램을 유지하도록 명시하고 있으며, 모의 비행 훈련장치에서의 비정상 자세 예방 및 회

복훈련 절차는 ICAO Procedures for Air Navigation Services Training(PANS-TRG, Doc 9868)을, 모의 비행 훈련장치에서의 비정상 자세 회복훈련과 관련된 세부사항은 ICAO Manual on Aeroplane Upset Prevention and Recovery Training(Doc 10011)을 참고하여 실시하도록 제시하였다. 운항 기술기준 8.4.8.14 비행 훈련의 나항에 초기 비행 훈련은 운항 증명 소지자의 정상, 비정상 및 비상절차에 따라 항공기의 기동과 안전운항에 중점을 두어야 하며, 10노트 이상의 풍속이 변화하는 돌풍 상황에서의 훈련 및 항공기 비정상 자세 회복(UPRT)훈련을 포함하여야 한다고 명시하였다. 8.4.8.34 운항승무원 정기훈련에는 10노트 이상의 풍속이 변화하는 돌풍 상황에서의 훈련 및 항공기 비정상 자세 회복(UPRT) 훈련을 포함한 비행 중 위협 회피에 필요한 조작과 절차를 실시하도록 규정하고 있다[7].

## III. 연구 방법 및 분석

### 1. 연구 방법

본 연구는 항공기 사고조사보고서를 기반으로 HFACS와 TEM 모델을 기반으로 한 분석 방법을 적용하여 항공기 비정상자세 사고 중 발생된 인적요인을 체계적으로 분석하고 이러한 인적요인을 발생하게 한 위협과 에러를 식별하고자 한다. 각국의 사고조사보고서(Final Report)의 자료에 기반하여 ICAO Doc 9803에 제시된 위협과 에러 코드에 따라 위협과 에러를 분류하여 공통 위협 및 에러 요인을 제시하였다[8].

연구의 범위는 이미 사고조사보고서가 완료되어있는 대표적인 항공기 비정상 자세 사고사례로 국한하였으며, 폴칸에어 3407편, 터키항공 1951편, 에어프랑스 447편을 대상으로 하였다. 이들 사고에 대한 TEM 분석을 통해 비정상 자세(Upset)를 이해하고 예방하기 위해서 비정상 자세 사고의 위협과 에러를 도출해서 항공당국 및 항공사로 하여금 관심을 가지고 관리하도록 연구하였다.

TEM 프레임은 아래의 [Fig. 2]와 같이 위협(Threat), 에러(Error) 및 불안정항공기 상태(UAS, Undesired Aircraft States)의 세 가지 기본 구성요소로 구성되어 있으며, 사고조사보고서를 분류하여 이 요인들을 도출하

고자 한다.

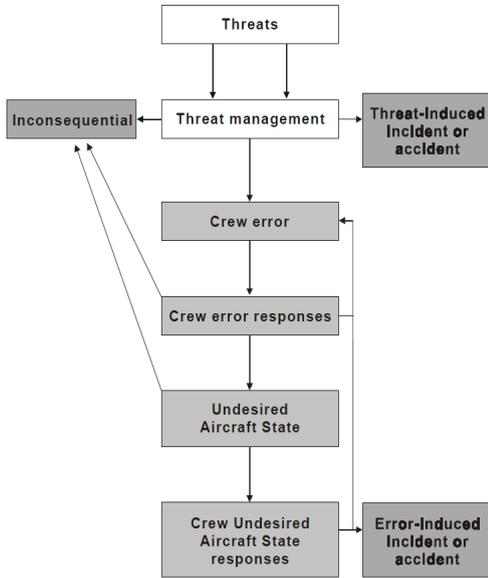


Fig. 2. The Threats and Errors Management Model[8]

[Fig. 2]에 있는 ICAO의 TEM 모델의 단계에 따라 조종사의 관점에서 위협 및 에러관리(TEM) 모델을 활용하여 비정상자세 사고를 아래의 절차에 따라 분류하였다.

- 1) 사고조사보고서 분석 및 요약
- 2) 위협도출(ICAO Doc9803 분류에 의거)
- 3) 조종사어러도출(ICAO Doc9803 분류에 의거)
- 4) 불안전항공기상태도출(ICAO Doc9803 분류에 의거)
- 5) 공통 TEM 요인 도출
- 6) 공통요인으로부터 개선방향 3가지 도출

## 2. TEM 모델 활용 항공기 비정상자세 사고분석

ICAO는 운항 시에 TEM 기법으로 위협과 에러(Error)를 관리하여 CRM(Crew Resource Management: 승무자원관리)을 운용하기를 권장하고 있다[8]. 또한 ICAO는 TEM이 비정상 자세(Upset)의 예방 및 회복에 효과가 있으므로 TEM을 UPRT에 통합하여 운영하기를 권고하여왔다[4]. 그러나 TEM과 CRM은 주로 이론적으로만 교육되고 실질적으로 비정상자세에 대한 TEM 분석이 없어서, UPRT 훈련 시에 구체적인

위협과 조종사의 에러를 도출하여 TEM을 활용한 훈련이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 아래와 같이 대표적 사고에 대하여 TEM 분석을 실시하고자 한다.

또한 본 연구는 이제 시작단계에 있는 TEM을 활용한 Upset 개선방향을 제시하기 위하여 TEM모델로 분석한 공통요인을 도출하여 하고자 한다. 비정상자세 사고에서 나타난 TEM 공통요인을 통해 기존 UPRT훈련의 문제점을 도출하여 문제의 해결 방안을 제안하고자 한다.

### 2.1 콜간에어(Colgan Air) 3407편 사고

2009년 2월 12일 밤 10시 20분 미국 뉴저지주 뉴어크 공항을 출발하여, 버팔로 공항으로 향하던 DHC8-Q400 여객기가 버팔로 인근의 클라렌스 주택가에 추락하여, 조종사 2명과 승무원 2명, 승객 45명과 현지 주민 1명을 포함, 50명이 사망하였다. 두 조종사는 피로하였으며, 회사의 착빙(Icing) 절차와 속도선택절차에 오류가 있었다. 10,000피트 미만의 고도에서는 조종사가 비행에만 전념하도록 조종석 무소음 규칙(Sterile Cockpit Rule)을 준수하여 사담은 금지가 되어있으나 두 조종사는 사담을 계속하였으며, 결국 속도의 감속을 감지하지 못하여 1년도 안된 새 비행기가 실속에 진입했으며, 실속경고에 대한 기장의 대응에 오류가 있어 추락하여 전소하였다[9].

ICAO DOC9803의 기준에 의하여 콜간에어 사고조사보고서를 분석해서 나타난 TEM의 위협 및 에러요인은 아래의 [Table 1]과 같이 분류하였다. ICAO 매뉴얼에 따라 위협으로는 13개의 요인이 분류되었으며, 16개의 조종사 에러와 9개의 UAS가 분류되었다.

Table 1. The Threats and Errors of Colgan Air Flight 3407 Accident

위협(Threat)	에러(Error)	불안전 항공기 상태(UAS)
야간 비행	조종석 무소음 규칙 위반	부적절한 자동화 모드
운항승무원 피로	착륙속도 선택 오류	저속 이탈 (Low Speed Deviation)
부적절한 속도선택 절차	기장의 부기장 입력 점검 오류	경사각 (Bank Angle)이탈
기상 (Icing 상태)	항공기 이상자세 (기수 들림)	실속
부기장 SEA에서 뉴저지 장거리 통근	체크리스트 지면	실속회복조작 시자세가 높음
부적절한 실속회복 훈련절차	브리핑 지면 실시	부정확한 엔진 추력 (실속회복조작 출력부족)

부적절한 복행 절차	크로스체크 실패 (속도 등)	실속 회복 시 비표준 Flap 조작
저속 인지 어려운 계기 설계	속도이탈	수직 이탈 (Vertical Deviation)
실속 경고를 미장착 항공기	항공기 이상자세 (기수 들림)	추락
적극적 모니터링 절차 부재	Call-out(복착)	
리더십 훈련 부재	부족한 출력 Setting	
자동화 놀람 (Automation Surprise)	자동화 오류	
해기종 1년 미만 부기장	고도이탈	
	의사소통실패	
	부기장의 비표준 실속 회복조작	
	실속대응실패	

### 2.2 터키항공(Turkish) 1951편 사고

2009년 2월 25일 터키 이스탄불의 국제공항을 출발, 네덜란드의 수도 암스테르담의 스키폴 국제공항에 도착할 예정이었던 터키항공 1951편은 승객 128명과 조종사 3명, 승무원 4명 등 135명이 보잉737-800 항공기에 탑승하여 착륙 중에 추락하여 9명이 사망하고, 20여 명의 부상자가 발생하였다. 부기장이 착륙 중에 기장석의 전파고도계(Radio Altimeter)의 이상으로 자동 추력 제어장치가 오작동하여 속도가 감속이 되어 460'에서 실속 경고가 작동될 때까지 여러 징후가 있었지만 아무도 알아차리지 못하였다. 부기장이 경고를 듣고 추력 장치를 올렸는데 기장이 조종을 하면서 다시 추력 장치를 줄이면서 실속조치에 필요한 엔진 추력이 지연되어, 실속경고 후 9초가 지난 후에야 추력 장치 레버를 올리게 되었으며 350'에서 이미 실속에 들어가서 회복이 불가능한 상태였다. 운항경험 훈련 비행으로 안전 조종사가 1명이 추가로 있었음에도 속도나 복행에 대한 경고가 없었다 [10].

ICAO DOC 9803의 기준에 의하여 터키항공 사고조사보고서를 분석해서 나타난 TEM의 위협 및 에러요인은 아래의 [Table 2]과 같이 분류하였다.

Table 2. The Threats and Errors of Turkish 1951 Accident

위협(Threat)	에러(Error)	불안전 항공기 상태 (UAS)
기장석 라디오 고도계 고장	부적절한 자동추력모드	부정확한 엔진 추력
자동화놀람 (Automation Surprise) 자동추력제어장치 오작동	자동추력장치 모드 확인 실패	부적절한 자동화 모드

IFR (Instrument Flight Rule 계기상상태)	착륙 체크리스트지연	저속 이탈 (Low Speed Deviation)
ATC (5.5마일에서 LOC 캡처 관제)	Call-out (복착)	불안정접근
ATC (강하 늦게 시킴)	불안정접근 콜아웃 실패	불안정접근 후 지속착륙 시도
매뉴얼 (라디오 고도계 절차 부재)	크로스체크 실패 (고도 등)	수직 이탈
훈련 미 실시 (자동추력장치오작동)	교차확인 (체크리스트 수행 시 주의분산)	실속
접근실속보수교육 미 실시 (기장)	의사소통 실패	추락
운항경험 훈련비행	속도이탈	
신입부기장 (20회 미만)	항공기 이상자세 (기수들림)	
보고문화: 여러 차례 유사사례 보고 안됨	브리핑 미흡	
실속절차 미흡	불안정접근 후복행 실패	
항공기설계 결함	고도이탈	
DDG (Dispatch Deviation Guide)에 항목 누락	수동모드로 전환지연	
표준화 절차에 불안정 접근 시 복행 절차 없음	안전조종사 교차확인 실패	
기장만 복행할 수 있음	실속대응 실패	

### 2.3 에어프랑스(Air France) 447편 사고

브라질의 리우데자네이루를 출발해 프랑스 파리로 향하던 에어버스 330 항공기가 2009년 6월 1일 이륙 3시간 후 대서양에 추락하여 승객 216명과 조종사 3명, 승무원 9명 등 총 228명이 실종되었다. 기장이 선임 부기장과 교대하여 휴식하는 동안에 피토크이 얼어서 자동비행이 풀리고 우측익 부기장이 조종간을 당겨 속도가 떨어져 실속에 들어가 실속경고가 울렸으나 즉각적인 실속대응이 실패되어 추락하였다[11]. ICAO DOC 9803의 기준에 의하여 에어프랑스 사고조사보고서를 분석해서 나타난 TEM의 위협 및 에러요인은 아래의 [Table 3]과 같이 분류하였다.

Table 3. The Threats and Errors of Air France 447 Accident

위협(Threat)	에러(Error)	불안전 항공기 상태 (UAS)
아간 비행	자동추력 조절장치 오작동 미감지	부정확한 엔진 추력
적란운 (Cumulonimbus)	부기장의 과도한 조종	부적절한 자동화 모드
기장 대신	의사소통 오류	저속 이탈

선임부기장 비행 (3조비행)	(좌측 부기장에게 의도 설명 안함)	
난기류 (Turbulence)	크로스체크 실패 (좌측부기장 상승 미감지 등)	수직 이탈
피토관 막힘 (착빙)	실속경고를 오류로 판단	실속
자동화놀람 (Automation Surprise) 자동비행장치 해제	부적절한 자동추력 조절 모드	추락
Alternate Law 상태로 전환됨 (Protection안됨)	실속대응실패	
속도계, 고도계 낮게 지시	항공기 이상자세 (기수들림)	
고고도 실속	속도이탈	
운용한계근접 (Flight Envelop)	고도이탈	
A330에서 실속훈련 미실시	Call-out(복창)	
A330 수료 6개월 된 부기장이 항로 기장임무		

2.4 사고의 공통 TEM 요인 분석 도출

비정상 자세(Upset) 사고의 특성을 이해하기 위해서 대표적인 항공기 비정상 자세 사고사례인 콜간에어 3407편, 터키항공 1951편, 에어프랑스 447편을 대상으로 각국 사고조사기관의 사고조사보고서(Final Report) 자료에 기반하여 ICAO 9803의 TEM 모델에 따라 분류한 [Table 1, 2, 3]에 나타난 위협 및 에러의 공통요인을 [Table 4]와 같이 도출하였다.

대표적인 항공기 접근 중의 저고도와 고고도의 비정상 자세 사고에서 공통위협으로는 야간비행/IFR, 자동화 놀람(Automation Surprise) 발생, 해당 훈련 미실시 등의 부적절한 훈련과 해기종 1년 미만의 미숙련 부기장 편조로 나타났다. 조종사의 공통적인 에러로는 부적절한 엔진 추력, 실속 회복절차 실패 등의 잘못된 절차 적용, 자동화 에러 등의 부적절한 조종, 속도이탈 및 고도이탈, 의사소통실패, 항공기 이상자세(기수 들림)실패 등의 공간지각능력실패와 Call-out(복창)실패, 크로스 체크 실패 등의 주의분산으로 나타났으며, UAS(불안전항공기 상태)로는 부적절한 자동화 모드, 저속이탈, 수직 이탈, 부정확한 엔진 추력 등의 항공기의 에너지 관리 미흡으로 실속, 추락한 것으로 나타났다.

ICAO는 LOC-I 관련된 항공기 비정상 자세 사고의 기여요인으로 잘못된 절차 적용 또는 부적절한 조종, 공간 지각능력 상실, 항공기의 에너지 관리 미흡, 조종사의 주의분산, 부적절한 훈련 등으로 지적하였으며[4], 본 연

구에서는 보다 구체적으로 조종석에 미치는 위협과 조종사들의 에러를 도출하였으며 이를 반영하여 UPRT(Upset Prevention & Recovery Training) 훈련에 TEM 강화해서 실시하면 보다 효과적인 훈련이 가능하다.

Table 4. The Common Threats and Errors of LOC-I Accidents

위협(Threat)	에러(Error)	불안전 항공기 상태 (UAS)
야간비행 / IFR	크로스체크 실패	부적절한 자동화 모드
해당훈련 미실시	속도 이탈	저속 이탈 (Low Speed Deviation)
자동화놀람 - 자동화 오류	고도 이탈	수직 이탈 (Vertical Deviation)
해기종 1년 미만 부기장	Call-out (복창)	부정확한 엔진 추력
	항공기 이상자세 (기수들림)	실속
	의사소통 실패	추락
	자동화 에러	
	부적절한 엔진 추력	
실속대응 실패		

3. UPRT 개선 방향

본 연구에서 실제 발생하였던 대표적인 비정상자세 사고를 TEM에 의하여 위협 및 에러의 공통요인을 [Table 4]와 같이 도출한 결과, 시계가 양호하지 않은 야간이나 계기 비행 기상 조건하에서 갑작스러운 자동화 놀람 현상에 직면하게 되면, 속도계와 고도계 그리고 항공기의 자세와 적절한 자동화 모드, 그리고 엔진 출력제어 모드를 미숙련된 부기장이 모니터링하지 못하고 이를 Call-out도 못하여 효과적인 조연이 없는 상태에서 불안정접근이나 실속에 이르게 되며, 결국 불안정접근 시 복행을 하지 않거나 실속경고가 있어도 즉각 대처하지 못하여 추락하는 것이 공통적으로 나타났다.

[Table 4]의 비정상자세 사고에서 공통적으로 나타난 위협요인과 에러를 살펴보면 다음 3가지의 개선 방향으로 정리된다. 첫째로 공통위협요인을 살펴보면 이들 위협들을 훈련할 수 있는 모의비행장치가 없어 실질적인 훈련을 못 받은 점이다. 둘째로 공통적 에러가 발생한 이유는 의사소통, 팀워크, 리더십, 상황인식, 의사결정, 업무 부하 관리, 모니터링 등의 인적요인이 실패되었기 때문에, 인적요인의 보완을 위한 역량중심훈련이 요구되는

점이다. 셋째로는 공통적으로 발생한 불안정항공기 사례를 보면 TEM 훈련이 실질적으로 되지 않아서 위협과 에러의 관리가 실패되어 결국 UAS로 진행되는 연결고리를 차단해야 하는 점이다.

### 3.1 위협관리보완: UPRT 관련 모의비행장치 및 교육 내용 개선 필요성

비정상자세 사고에서 나타난 [Table 4]의 공통 위협요인을 살펴보면 갑작스러운 자동화 놀람으로 이상자세를 보이며 기수가 들리는 등 항공기가 서서히 비정상 자세로 진입하는 것을 알아차리지 못하여 자동화 위협 및 위기관리가 실패되어 발생한 점이다.

그 이유를 살펴보면 현재 국내 항공사에는 갑작스러운 비정상 비행자세 회복 훈련(Upset Recovery)을 실시할 수 있는 모의 비행 장치가 준비된 기종이나 항공사가 많지 않은 실정에서 기인한다. 따라서 자연스럽게 조종사들이 알아차리지 못하는 상태에서 비정상 자세로 진입이 되도록 시뮬레이터의 기능이 작동하도록 업그레이드가 되지 않아, 과거부터 실시해오던 제한적인 훈련을 실시하고 있다. 또한 각 개인의 역량에 따른 맞춤형의 교육이 아니라 획일적이며 단순반복적인 항목 중심의 훈련을 실시하고 있다. 재래식의 훈련방법은 교관이 옆에 앉아서 항공기의 자세를 비정상 자세로 만든 후에 조종사 눈은 뜨고 항공기의 자세에 대한 상황인식을 하고 조작을 하도록 하는 것이다. 실제상황에서는 이렇게 예상을 하고 비행 중에 조종능력 상실이 발생을 하는 경우는 거의 없어 훈련의 효과가 크지 않다고 할 수 있다. 현실적으로는 훈련처럼 미리 UPRT를 예상을 하고 마음의 준비가 된 상태에서 항공기의 비정상적인 자세가 발생되는 않는다. 인지하지 못하는 사이에 발생되어 갑작스럽게 비정상 자세로 발생하게 된다.

또한 [Table 4]의 비정상자세 사고의 공통위협에서 나타난 것처럼 해당 훈련에 대한 교육을 받지 못한 점이다. Upset이 되는 뇌우, 착빙, 온도, 구름, 난기류(Turbulence) 등의 기상 상황이나 기수와 받음각(Angle of Attack) 등의 상관관계와 고고도의 특성에 대하여 교육을 받지 않아서 어떻게 비정상 자세에 진입이 되는지에 대한 이해도가 적은 상태이므로, 발생하게 되면 거의 에러를 할 수밖에 없는 실정이다. 비정상 자세

에 대한 위험성 및 조종능력 상실 등에 대한 체계적이고 사전예방적인 훈련 프로그램이 미흡한 상황이다.

### 3.2 에러관리보완: 인적요인 보안을 위한 역량중심훈련(CBT) 활용 UPRT 훈련 필요성

[Table 4]의 비정상자세 사고에서 공통적으로 나타난 에러를 살펴보면 업무부하 관리를 하여 시간적으로 여유가 있는 상태에서 항공기의 자세를 모니터링하면서 갑작스러운 비상상황을 탐지하여 복창을 하고 의사소통을 하며 대비하는 역량 중심의 인적요인훈련을 사전에 받지 못하였기 때문에, 실제 예기하지 못하게 비정상 자세가 발생하는 비상상황에서 이를 탐지하는 상황인식역량과 의사소통을 하며 수동비행역량으로 효과적인 대처하는 역량을 발휘하기 어렵다.

UPRT를 효과적으로 실행하기 위해서는 CBT(Competency Based Training : 역량기반훈련)과 병행을 하여야 하나 국내에서 효과적으로 CBT를 수행하는 항공사는 많지 않은 실정이며, AQP(Advanced Qualification Program: 향상된 자격 프로그램)는 도입되지 않았다. 외국의 항공사들은 증거 중심훈련(EBT : Evidence Based Training) 또는 AQP 안에서 UPRT를 훈련하고 있다. 이는 기존의 법정요구량 항목을 획일적으로 반복하는 훈련으로부터 역량을 중심으로 해당 항공사에 필요한 훈련을 맞춤형으로 개발되어 시나리오에 따라 훈련하는 신개념의 역량기반훈련이다. CBT는 CRM(Crew Resource Management : 승무자원 관리)을 강의실에서 이론적으로 시키는 것이 아니라 실제상황처럼 시나리오 속에서 비행 기량과 시스템 지식이 CRM과 통합하여 CRM의 효율성이 향상되도록 실질적인 훈련을 시키는 것이다. 또한 UPRT를 효과적으로 실행하기 위해서는 CBT의 훈련주기와 법정요구량에 대한 조정이나 항공사에 위임이 요구된다.

안전하게 비행하기 위해서는 UPRT를 의사소통, 팀워크, 리더십, 상황인식, 의사결정, 업무 부하 관리, 모니터링 등의 인적요인 역량과 함께 수동비행역량 등의 역량 중심훈련을 활용하는 실질적으로 훈련하는 것이 요구된다. 단순한 비정상 자세를 회복하는 비행 조작향이 아닌 전반적인 핵심역량의 강화를 하도록 UPRT를 실시하여 사전적으로 사고를 예방하도록 훈련의 패러다임 전환

이 요구된다.

### 3.3 불안전항공기상태관리보완: TEM(위협 및 에러 관리)활용 훈련의 필요성

[Table 4]의 비정상자세 사고에서 나타난 것처럼 공통적으로 발생한 불안전항공기 사례를 보면 TEM 훈련이 실질적으로 되지 않아 위협과 에러의 관리가 실패되어 연결고리가 차단되지 못하고 결국 UAS로 진행된 점이다. ICAO는 UPRT 훈련 시에 이러한 위협 및 에러 관리(TEM)와 비정상 자세(Upset)의 예방 및 회복에 효과적으로 대응할 수 있으므로 TEM을 UPRT에 통합하여 훈련하기를 권고하였다[4]. 이 권고에 따라 TEM 훈련은 위협을 식별하고 조종사가 에러를 발생하지 않도록 하며 이미 발생한 에러를 찾아 항공기 비정상 자세를 회복하도록 이론적으로 교육을 하였으나, 구체적인 위협이나 에러에 대한 교육이나 절차의 향상 없이 형식적으로 훈련이 진행되는 경우가 많아 결국 사고로 이어졌다.

효과적으로 비정상자세 예방 및 회복을 위한 UPRT 훈련을 위해서는 위의 TEM 결과를 활용하여 절차를 개선하고 훈련을 실시하는 것이 요구된다. TEM을 활용하여 훈련 시에 항공기의 제한범위 이탈(Deviation) 위협 모니터링 및 식별, 제한범위가 이탈된 이유 파악, 대응방법 결정과 대응 등을 포함하여 실시한다. 이 항목들은 인적요인 훈련의 중요요소이다. 사전에 경험하지 못했던 비정상 자세(Upset)의 상황에서는 조종사가 효과적으로 생각하고 판단하는 능력이 저하된다. 특히 항공기의 비정상자세 상황을 지속적으로 모니터링하고 대처하기 위해서는 조종사가 과부하(Overloading)되지 않도록 업무 우선순위를 정하여 비행기를 안정시키는 데 집중하고, 조종간을 적절하게 조종하도록 훈련해야 한다. TEM의 핵심은 효과적인 모니터링을 하는 것이며, 문제를 식별하기 위해서는 비행 시 언제 어떤 것을 모니터링하며 교차 점검하는 등의 적절한 평가기술과 방법을 훈련해야 한다[3].

## IV. 결론

안전하게 비행하기 위해서는 의사소통, 팀워크, 리더

십, 상황인식, 의사결정, 업무 부하 관리, 모니터링역량 등이 매우 중요하며 이들 역량으로 Upset 상황을 예방하고 회복하도록 비행승관이 형성되도록 해야 가능하다 [12]. 우리의 비행 훈련은 대부분이 기량 중심인 것에 비해 이들 역량은 외국의 항공사들이 역량 중심의 훈련에 적용하는 역량들이다. UPRT가 효과적으로 실시되기 위해서는 리질리언스에서 요구하는 것처럼 운항승무원들이 예기하지 않은 상황에서 안전탄력적으로 처리할 수 있도록 UPRT 교육 및 훈련을 강화하는 것이 요구된다. 항공안전은 정부와 항공사, 학계가 유기적으로 대응할 때 가능하다.

대표적인 항공기 접근 중의 저고도와 고고도의 비정상 자세 사고인 콜간에어 4407, 터키항공 1951, 에어프랑스 447편 항공기 사고에서 공통적인 TEM 요인이 도출되었다. 공통위협으로는 해기중 1년 미만의 부기장이 편조된 비행에서 야간비행/IFR 등의 육안확인이 어려운 기상상태로 해당 상황의 훈련을 받지 못하고 갑작스러운 자동화 장치의 이상으로 인해 자동화 놀람(Automation Surprise)이 발생하는 것으로 나타났다. 조종사의 공통적인 에러로는 이상 징후를 탐지하는 크로스체크 실패로 인해 적절한 자동화 모드를 사용하지 못하고 부적절한 엔진 추력으로 인해 속도와 고도의 이탈을 Call-out(복창)하지 못하고 의사소통이 되지 않아서, 속도이탈과 고도이탈이 발생하며 항공기 기수가 들리는 이상자세를 발견하지 못하며 실속경고 발생했을 때 바로 적절한 실속회복 대응을 실패하여 UAS(불안전항공기상태)로 이어진 것으로 나타났다. 공통적인 UAS로는 부적절한 자동화 모드, 저속이탈, 수직 이탈, 부정확한 엔진 추력, 실속, 추락으로 이어져 나타났다.

결국 기상이 양호하지 않은 야간이나 계기 비행 기상 조건하에서 미숙련된 부기장이 갑작스러운 자동화 놀람 현상에 직면하게 되면, 속도계와 고도계 그리고 항공기의 자세와 적절한 자동화 모드와 엔진 출력제어 모드를 모니터링하지 못하고 PM(Pilot Monitoring:모니터링 조종사)이 이를 Call-out도 못하여 불안정접근이나 실속에 이르며, 불안정접근 시 복행을 하지 않거나 실속경고 있어도 즉각 대처하지 못하여 추락하는 것이 공통적으로 나타났다.

또한 본 논문에서 고찰된 개선방안을 살펴보면, 첫째

로 조종사들이 비정상 자세를 예방하고 회복하도록 시뮬레이터를 활용하여 실질적인 UPRT를 실행하며, 시나리오를 중심으로 훈련을 해서 갑작스러운 상황에서 이상자세를 탐지하고 수동비행역량으로 회복하도록 하여 핵심역량을 강화하도록 하여야 한다는 점이다. 현재는 비상상황의 시나리오를 미리 예측하여 준비해서 시뮬레이터 교육을 받으므로 훈련의 효과가 미흡하다. UPRT가 가능하도록 시뮬레이터를 업그레이드하는 노력이 요구되며, 기존의 시뮬레이터로 훈련할 때에 훈련내용을 공지하지 말고 갑자기 자세를 변화시키도록 시뮬레이터를 운영하는 것이 필요하다. 특히 비정상 자세(Upset) 상황의 시나리오가 공개되거나 예상하지 못하도록 다양한 시나리오의 조합으로 자동화 놀람(Automation Surprise) 상황이 발생하도록 요구된다.

둘째로, 비정상 자세를 예방하고 회복하기 위해서 UPRT를 EBT 등의 CBT를 통해 효과적으로 진행되기 위해서는 훈련주기와 법정요구량에 대해 적극적으로 항공사에 위임하거나 조정하는 것이 요구된다. 국가에서 요구되는 최소훈련항목과 주기를 충족하기 위해서는 훈련시간이 부족하여서 진정한 증거 중심의 교육이 다소 어려울 수 있다. 또한 획일적인 교육이 아니라 각 운항승무원별로 맞춤형의 교육으로 UPRT의 역량에 따라서 훈련시간을 차별적으로 적용하며, UPRT 역량이 부족한 경우에는 불이익 없이 추가적으로 교육 가능하도록 하는 진정한 역량 중심의 교육이 되도록 요구된다.

셋째, 항공기의 비정상 자세 사고 시에 나타난 것과 같이 이상자세 및 UAS를 알아차리지 못하므로, PM이 비정상 자세로 유발되는 뇌우, 착빙, 온도, 구름, 난기류 기상 상황이나 기수와 받음각의 상관관계와 고고도의 특성과 자동화 놀람 등의 TEM관리를 하도록 훈련이 필요하다. 또한 계기와 자동화를 모니터링하고 자동화 에러를 관리하며 저속이탈과 실속 등의 UAS를 관리하도록 TEM과 CRM을 활용하여 모니터링해서 문제를 알아차리고 복창하여 의사소통을 하며 팀워크로 실속이나 불안정 접근 시 즉각 반응을 하도록 교육 설계가 필요하다. 특히 Upset이 되는 사고사례에 대하여 훈련하는 지상교육과 시뮬레이터 디브리핑 시에 교육을 실시하여 어떻게 비정상 자세에 진입이 되는지에 대한 TEM이해도를 증진 시키고 비행 시 TEM의 습관화하는 것이 요구된다.

이를 위해서는 UPRT 훈련 시 실질적인 훈련이 요구되며, TEM 기법을 활용하여 비행상태를 모니터링하며 기준범위에서 이탈되는 것을 식별하여 상황을 인식하고 진단하여 대응책을 결정하는 UPRT 훈련에서 비정상자세 사고에서 분류된 위협과 에러를 실제적인 상황에서 시나리오화 하여 증거중심의 훈련이 필요하다. 또한 각 UPRT와 관련한 위협에 대하여 파악하고 에러를 이해하며, 효과적으로 대응하기 위한 CRM(Crew Resource Management) 대응책에 대해 알아야 TEM을 활용한 UPRT 훈련이 가능하다.

현재는 ICAO와 IATA등의 국제기구에서 권고하는 TEM훈련과 CBT와 UPRT등의 사전예방적인(Proactive) 훈련 프로그램이 다소 미흡한 상황이다. 정부와 항공사가 잘 빠르게 대응하여 향후 이에 대한 제도를 개선해서 선진 훈련방식을 도입하고, 훈련의 효율성 증대와 안전운항 확보하여 항공안전 선진국으로 도약할 것이 기대된다.

최근에 Upset관련 737 MAX와 관련하여 사고들이 발생하였는데, 사고조사보고서가 나오면 향후 이들을 포함하여 TEM분석을 하여 보완이 요구된다.

\* 본 연구는 2018년 한국항공운항학회 추계학술대회 발표를 수정 보완한 논문입니다.

### 참 고 문 헌

- [1] ICAO, *Accident Statistics*, International Civil Aviation Organization, 2017. <https://www.icao.int/safety/iStars/Pages/Accident-Statistics.aspx>, 2019.10.01
- [2] "Plane crash deaths jump sharply in 2018 - but fatalities 'still rare'," *The Guardian*, 2016. <https://www.theguardian.com/world/2019/jan/02/plane-crash-deaths-jump-sharply-in-2018-but-fatalities-still-rare>
- [3] *Boeing Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959-2017*, Boeing, pp.20-21, 2018.
- [4] ICAO Doc 10011, *Manual On Aeroplane Upset Prevention And Recovery Training*, ICAO, p.1,

- 2014.
- [5] ICAO, *Human Factors Training Manual: Doc. 9683*, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada , p.2-2-8, p.2-2-12, p.2-2-15, p.2-2-17, 2003.
- [6] MOLIT, *2017 Aviation Safety White Paper*, MOLIT, pp.28-173, 2017.
- [7] MOLIT, *Flight Safety Regulations For Aeroplanes*, MOLIT, 2017. <http://www.law.go.kr/행정규칙/고정익항공기를위한운항기술기준>(Flight safety regulations for aeroplanes)
- [8] ICAO DOC 9803, *2002, Line Operation Safety Audit*, International Civil Aviation Organization, p.2-2, p.3-1, 2002.
- [9] NTSB, *Loss of Control on Approach Colgan Air, Flight 3407 Accident Report*, National Transportation Safety Board, pp.1-160, 2009.
- [10] DSB, *Crashed during approach, Boeing 737-800, near Amsterdam Schiphol Airport*, The Dutch Safety Board, pp.17-86, 2009.
- [11] BEA, *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*, French Civil Aviation Safety Investigation Authority, pp.21-213, 2012.
- [12] J. K. Choi and C. Y. Kim, "A study on the characteristics on the error of the flight crew," *The Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol.17, No.2, pp.62-67, 2009.

저 자 소 개

최 진 국(Jin-Kook Choi)

정회원



- 2011년 2월 : 한국항공대학교 항공운항관리학과(이학 박사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 극동대학교 항공운항학과 부교수

〈관심분야〉 : 항공안전관리시스템(SMS), 항공운항안전감사(LOSA), 무인항공기(UAV)

전 승 준(Seung-Joon Jeon)

정회원



- 1995년 5월 : 뉴질랜드 Massey University 항공운항학사 졸업
- 2005년 12월 : 한국항공대학교 항공운항관리학과 항공석사 졸업
- 2007년 8월 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 항공박사 수료
- 현재 : 가톨릭관동대학교 항공운항학과 교수

〈관심분야〉 : 항공운항/관리/안전/보안, 무인항공기운항