

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2021.29.4.124>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

항공교통관제사의 휴먼에러에 기인한 국내외 항공기 사고 사례연구 - TEM(Threat & Error Management) 분석법을 적용하여 -

김정빈*, 박성식**

A Case Study on Aircraft Accidents Due to Air Traffic Controller's Human Error - Applying TEM (Threat & Error Management) Analysis -

Jung-Bin Kim*, Sung-Sik Park**

ABSTRACT

The airline industry has been growing steadily since 2016 with more than 100 million air passengers, renewing the largest number of air passengers every year. Increasing air demand leads to an increase in air traffic in limited airspace, increasing the likelihood of accidents between aircraft. Due to the massive human and material damage caused by a single mistake, aviation safety is being heavily focused around the world to efficiently use limited airspace. Studies related to various human factors are underway as most of the aviation accidents are found to be caused by human factors, but research on human factors by controllers is insufficient while they are active in terms of control and operation. Given that 82% of air accidents caused by controllers are caused by human error, the importance of management of human error and changes in perception are urgently needed. This study aims to understand the seriousness of the controller's human error by analyzing the accident cases caused by the controller's human error using TEM to identify threats and errors and derive common human factors.

Key Words : Air Traffic Controller(항공교통관제사), Human Error(인적오류), ATC Accident Analysis(관제사 사고분석), Threat and Error Management(위협 및 오류 관리)

1. 서 론

1.1 연구의 배경

국토교통부 발표 자료에 의하면 매년 급속도로 성장

하던 우리나라 항공운송산업은 코로나-19 대유행의 영향을 받아 항공여객 수가 68.1% 감소한 3,940만 명으로 집계되었으며, 이는 1997년 이후 역대 3번째 낮은 실적이다. 하지만 코로나-19 이전에는 세계 경제의 발전, 자유로운 국내·외 교류 및 이동의 확대에 의해 항공교통 수요는 비약적인 발전을 하였으며, 최근 10년간 항공승객은 약 73% 증가하였다. 또한, 2016년 이후 매년 1억만 명 이상의 항공여객 실적을 보여주고 있으며, 매년 역대 최고 항공여객 수를 갱신하며 꾸준한 성장 중에 있었다).

Received: 07. Jun. 2021, Revised: 11. Dec. 2021,

Accepted: 14. Dec. 2021

* 한국교통대학교 글로벌융합대학원

** 한국교통대학교 항공운항학과

연락처 E-mail : sunsikpark@hotmail.com

연락처 주소 : 충청북도 충주시 대학로 50

승객과 화물을 운송하는 항공수요의 증가는 자연스레 항공교통량의 증가로 이어졌으며, 더불어 항공레저, 항공사업의 수요 또한 증가하여 공역은 포화상태에 이르게 되었다. 제한된 공역에서 항공교통량의 증가는 항공기 간 사고 가능성을 높이고, 항공교통의 질서 있는 흐름을 방해하며, 비효율적인 항공 정보 제공 등의 항공안전을 위협할 수 있다.

Flight Safety Foundation Aviation Safety Network(1990-2020) 전 세계 항공사 항공기 사고 통계 그래프(Fig. 1)를 참고해 보면, 2000년대 들어 여객기 사고는 급속히 개선됨에 따라 전반적인 항공사고 발생 건수 자체는 감소하고 있는 추세이며, 코로나-19 영향으로 항공교통량의 감소에 따른 사고 건수가 현저히 낮은 2020년을 제외하면 최근 5년간 10~20여건 사이의 사고 건수가 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 항공·철도사고 사례집에 따르면 우리나라의 항공사고 및 준사고는 최근 10년간 총 174건이 발생하였으며(Aviation and Railway Accident Investigation Board, 2020), 항공사고의 조사결과 발표된 사고 원인은 대부분 인적 오류로 인한 사고이나, 특정 위험요소가 개별적이고 독자적인 원인으로 작용하여 발생하기보다는 다양한 위험요소가 복합적으로 결합하여 일어나고 있으며, 이미 알려진 위험요소들이 다른 위험요소들과 경합하지 못하도록 이를 제거하거나 회피시켜

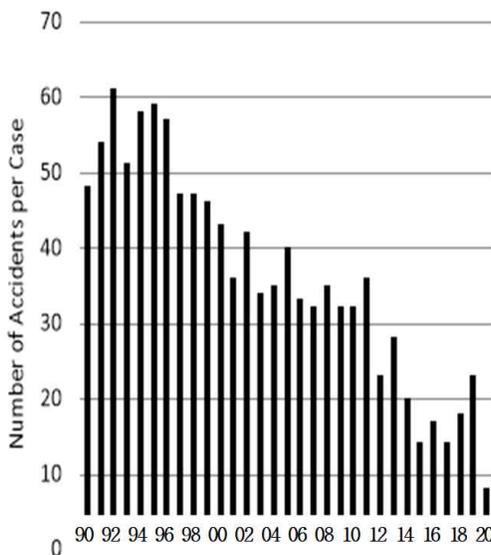


Fig. 1. Number of world airliner accidents (1990~2020)

야한다(Kim M. S., 2004).

항공기, 항공교통관제, 항법시설의 시스템, 장비, 기술 등이 급속도로 발전하면서 기계적 결함으로 인한 사고는 감소하고 있으나, 인적 오류에 의한 조직적 결함에 의한 사고는 끊임없이 발생하고 있다(Kim, D. H., 2011). 항공사고가 직·간접적으로 인적요인에 의해 발생하고 있는 것으로 밝혀지면서 다양한 연구가 진행되고 있지만, 대부분 조종과 운항 측면에서 활발한 반면, 항공교통관제사의 인적요인에 대한 연구는 미비하다(Moon, Choi and Yang, 2008).

1.2 연구의 목적

국토교통부 항공철도사고조사위원회에서 발표한 2020 항공·철도사고 사례집의 최근 10년간(2010~2019) 항공사고 등에 따른 위험 분야별 발생 현황(Fig. 2)을 살펴보면 항공교통 관제분야의 사고 건수는 총 174건 중 9건으로 타 분야에 비해 비중이 낮은 편이다(Aviation and Railway Accident Investigation Board, 2020). 하지만 관제분야의 사고 건수 비중은 낮음에도 불구하고, 사고 발생 시 대형 인명 손상 및 재산상의 피해가 발생하고 사회적인 파장이 크게 나타나므로 적극적으로 관리하여야 할 필요가 있다(Kwon, B. H., 2018).

관제사는 직접 눈으로 보거나, 레이더스크opf 상의 항적을 보고 조종사에게 지시 및 허가발부, 비행에 필요한 정보제공(기상, 공항 및 공역 상태 등) 등의 의사소통을 통한 정보전달을 하여 안전하고 효율적인 항공교통흐름을 유지한다. 또한, 타 관제시설의 관제사 및 외부기관과의 협조, 비행스트립 작성, 레이다 자료 입력, 각종 장비의 작동 등 항공교통관제 측면에서의 사고는 관제사의 인적오류로 인한 가능성이 매우 높다.

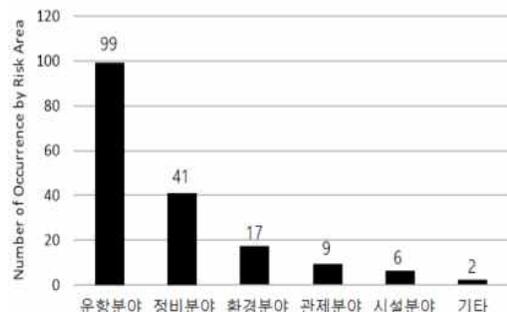


Fig. 2. Occurrence status by risk area (2010~2019)

1) 국토교통부 배포 보도자료, 2020. 02. 15.

따라서, 항공교통관제 사고 가능성을 감소시키기 위해서 관제사의 위협을 식별하고 관리하며, 에러를 회피하고 탐지하여 관리하는 기법인 TEM(threat and error management)을 활용하고자 한다. TEM은 관제사의 위협과 에러를 효율적으로 관리할 수 있는 이점을 지니고 있기 때문에 원치 않는 상황으로의 발전을 방지하고 안정적인 교통흐름을 유지시킬 수 있다.

본 연구의 목적은 항공교통량의 증가에 따른 관제사의 인적오류에 기인한 사고 가능성을 감소시키기 위해 항공사고 및 준사고의 사고사례를 분석하여 관제사의 인적요인과 관련된 위협과 오류를 식별한 뒤 공통 사고요인을 도출하여 개선점을 제시하고, 관제사 훈련 및 교육 시 활용하여 유사 사고사례 방지 및 비행안전에 기여하고자 한다.

II. 이론적 고찰

2.1 항공교통관제사 인적요인(Human Factors)

항공산업의 발달은 인류의 교통역사에 많은 영향을 주었고, 상업적 효용가치를 높이는데 월등한 수단이 되었다. 하지만 우수한 교통수단인 항공기가 사고 및 준사고 발생 시 물질적, 사회적 피해는 상상할 수 없을 정도로 막대하다. 항공사고의 발생원인들 중 인적요인에 의한 사고가 큰 비중을 차지하고 있으며, 조종사과실, 조종사와 관제사의 복합적인 과실, 관제사 과실 등 인적요인들에 기인하고 있다(Rodgers, Modford and Strauch, 2000).

항공사고가 직·간접적으로 인적요인에 의해 발생하고 있는 것으로 밝혀지면서 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)에서는 Table 1 인적요인의 구성을 토대로 다양한 연구가 진행되고 있다(Moon, Choi and Yang, 2008).

ICAO에서는 인적요인이 항공교통관제의 안전과 업무 수행에 어떠한 영향을 주는지에 대한 지속적인 연구와 개선의 필요성을 지적하고 있으며, 유럽항공 항법 안전기구(EUROCONTROL, European Organization for The Safety of Air Navigation)과 미연방항공청(FAA, Federal Aviation Agency)에서는 ‘ATC 인적요인 관련 100여 편의 연구보고서 발간’, ‘Human Performance Newsletter 발행’, ‘인적요인의 중요성에 대한 교육 진행’ 등 다양한 연구관리체계를 구축하고 있다(Moon, Choi and Yang, 2008).

Table 1. Composition of human factors

| 구 분 | 내 용 |
|-------|--|
| 항공생리 | 호흡, 기압영향, 감각한계, 가속영향, 착각, 피로·긴장, 수면장애 부족, 생체리듬, 시차 |
| 항공심리 | 인간실수, 업무부하, 정보처리, 태도·판단, 상황인식, 의사결정, 스트레스, 기량·경륜, 숙련도 |
| 적성 | 건강, 음주·약물, 연령, 후천적 요소와 업무, 적성심리, 스트레스, 임신 |
| 대인관계 | 의사소통, 정보전달, 안전효율성, 문제해결 방법, 집단 활동, 자원관리 기법, 인간과 주변 요소와의 상호관계에서 발생하는 요소 |
| 정비요소 | 구조·배치, 경계경보 체계, 안락성 |
| 소프트웨어 | 표준절차, 항공지도 자료·S/W, 자동화 |
| 운항환경 | 내적물리적, 외적물리적, 사회경제적 |

ICAO, FAA 및 EU에서 권고하는 항공교통관제 분야의 핵심 인적요인은 아래 Table 2와 같이 제시하였다.

관제사는 고도의 집중력과 예측능력을 요구하는 업무를 수행하기 때문에 이를 저해하는 인적요인의 분석 및 관리가 절실히 필요하다. 관제업무 특성상 야간 또는 교대 근무 등의 불규칙한 근무형태로 이루어져 있으며, 최대의 주의를 발휘하여 정확한 상황인식 및 의사결정을 할 수 있어야 한다. 미연방교통안전위원회(NTSB, National Transportation Safety Board)는 항공종사자의 피로 누적, 스트레스, 자만심 등을 사고를 유발시키는 주요 인적요인으로 주목하고 있다.

항공기 간 안전거리 미확보, 항공기 지시 실수, 잘못된 상황 판단 등과 같은 관제사의 인적오류가 사고의

Table 2. Human factors in ATC

| 구 분 | 내 용 |
|-----------------------|---|
| ICAO ATC 인적요인 | 피로(fatigue), 스트레스(stress), 권태(boredom), 자만(confidence), 안이함(complacency) |
| FAA ATC 인적요인 | 부주의(unattention), 건망증(forgetfulness), 경계소홀(lack of vigilance), 자만심(complacency), 피로(fatigue) |
| EURO CONTROL ATC 인적요인 | 피로(fatigue), 스트레스(stress), 업무부담(workload), 의사결정(decision making), 상황인식(situational awareness) |

원인으로 약 82%를 차지하고 있으며, ATC의 인적요인은 항공교통관제 업무수행에 미치는 영향이 매우 크다고 언급하였다(Kwon B. H., 2018).

국내 항공분야 관리감독 기관인 국토교통부는 산하 3개 지방항공청(서울, 부산 및 제주)과 함께 국제기준에 부합하는 관제사 인적요인의 관리체계를 구축하고 있다. 보다 효과적인 안전관리제도 시행을 위하여 2019년 ‘항공교통업무 안전관리시스템 운영지침’을 제정하여 관제기관별 특성 및 위험요인을 고려한 맞춤형 안전관리가 시행될 수 있도록 하였다. 또한, ‘일상관제상황 관찰제도’를 통해 최소 3년에 1회 이상 모든 관제기관이 소속 관제사의 인적요인 및 항공안전에 영향을 줄 수 있는 행동패턴, 관제방식 등에 대해 관찰 조사하고, 필요한 개선방안을 마련하여 시행함으로써 관제사의 인적요인으로 인한 잠재적 위험요인을 사전에 식별하여 예방토록 하고 있다.

2.2 인적오류(Human Error)

일반적으로 인적오류는 ‘시스템으로부터 요구되는 성과로부터의 일탈’, ‘시스템에 의해 정의된 허용한계를 넘는 일련의 인간행동’, ‘바람직함(의도한) 결과를 달성하기 위하여 사전에 계획된 행위(행동)의 실패, 즉 바람직한 결과를 달성하지 못한 계획된 행위로서 무언가의 예상할 수 없는 사건의 개입(작용)이 없는 것’, 또는 ‘달성하려고 하였던 목적에서 의도하지 않게 일탈하게 된, 기대에 반한 인간의 행위’ 등으로 정의되고 있다(Jung, 2019).

인간공학 관점에서는 인적오류는 생리적 특성, 인지적 특성 등 인간이 본래 가지고 있는 특성(지식, 경험 등)과 인간을 둘러싼 기계, 절차, 팀워크, 교육·훈련시스템 등의 환경이 잘 합치하지 않아 유발되는 것이라고 정의될 수 있다(Rafferty, Stanton and Walker, 2010).

즉, 인적오류는 인적, 사회적, 기술적, 경제적 시스템 등에 의해 기대되는 기능을 발휘하지 못하고 부적절하게 반응하여 효율성, 안전성, 성과 등을 감소시키는 인간의 결정이나 행동을 말한다. 비행과 같이 대형 사고로 이어지는 복잡한 시스템 사고의 주요 원인 중 60~90%가 인적오류에 의한 것으로 보고되고 있다. 관제사의 인적오류는 근무 중 모든 업무 수행 단계에서 발생할 수 있다. 일례로 비표준용어의 사용, 부정확한 복창 및 호출부호 사용, 필수정보 제공 미흡, 장비 및 스트립 입력 오류, 예측 관제 실수, 육안 확인 소홀 등

이 있다.

특히 4차 산업의 발달과 함께 인적오류가 개인적 상해나 손상에 그치지 않고 예기치 못한 경로로 파급되어 사업장은 물론 사회적으로도 막대한 인명 또는 재산 피해를 낳는 심각한 사고로 이어지면서 인적오류에 대한 관심이 높아지고 있다.

2.3 TEM(Threat and Error Management)

TEM(위협 및 오류 관리)은 원치 않는 상황(항공기 사고, 준사고 등)으로 발전할 수 있는 관제사의 위협을 식별하고 관리하며, 오류를 회피하고 탐지하여 안전운항을 할 수 있도록 안전을 도모하는 기법이다. 항공교통관제 분야의 TEM 구성요소는 위협(threat), 오류(error), 원치 않는 상황(US, undesired states)을 말한다.

위협(threat)은 관제사의 역량 밖에서 발생하여 운영의 복잡성을 증가시키며, 안전한계를 유지하기 위하여 관리되어야 하는 사건 및 오류를 말한다. 아래 Table 3의 위협을 관리하지 않을 경우, ATC 운영에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

오류(error)는 Table 4와 같이 조직 또는 관제사의 의도와 예상으로부터 벗어나는 상황에 이르도록 하는 관제사의 행동 또는 비 행동을 말한다.

조종사의 잘못된 Read-Back 미인지, 항공기가 있는 활주로에 다른 항공기 및 차량의 진입 허가 발부, 조종사에게 잘못된 정보 제공(기상, 공항상태, 타 항공기 정보 등) 등 오류가 있다.

원치 않는 상황(US)은 의도하지 않은 교통상황이 안전한계를 감소시키는 결과를 초래하는 운영상황을 말한다.

이러한 운영상황은 사고 또는 사고 이전의 마지막 단계로 간주된다. 항공교통관제의 원치 않는 상황은 지

Table 3. The threats in ATC

| 구분 | 내용 |
|---------|--------------------------------|
| 관제시설 내부 | 장비, 관제실 요소, 절차, 타 관제사 |
| 관제시설 외부 | 공항배치, 항행안전시설, 공역구조·설계, 인접 관제시설 |
| 항공기 | 조종사, 항공기 성능, 무선통신, 교통 |
| 환경 | 기상 지형환경, 주의 산만 |

주: 국토교통부 예규 제275호 정상운영 안전표본조사(NOSS) 요령 별표5 TEM Code 중 일부 발췌.

Table 4. The errors in ATC

| 구분 | 내용 |
|---------|---|
| 장비조작 오류 | <ul style="list-style-type: none"> - 부적절한 레이더 사용 - 부정확한 자료 입력 - 잘못된 주파수 선택 - 잘못된 인터콤 사용 - 비행기록지의 잘못된 위치 및 해당 관제사에게 전달하지 않음 |
| 절차오류 | <ul style="list-style-type: none"> - 근무석 이양: 상변 관제사의 이양 준비 전 관제석 이탈, 급한 관제이양 - 정보 제공: 조종사에게 기상, 절차, 시설 등에 관한 정보를 제공하지 않거나 적시에 제공하지 않음 |
| 의사소통 오류 | <ul style="list-style-type: none"> - 관제사와 조종사간 요구사항에 대한 잘못된 해석, 부정확한 Hear-Back, 부적당한 허가 및 유도로 및 게이트·활주로 배정 - 관제시간·시설간 및 외부기관과의 협조 중 잘못된 의사소통이나 오해 |

주: 국토교통부 예규 제275호 정상운영 안전표본조사(NOSS) 요령 별표5 TEM Code 중 일부 발췌.

상에서 항공기가 정지하여야 할 시기·장소에서 계속 이동하는 것, 허가받지 않은 유도로·활주로·탑승구 사용 등이 있으며, 비행 중에는 선회할 시기에 선회하지 않거나, 계획과 다른 방향으로 선회하는 것, 비행하여야 하는 고도, 시간, 위치, 속도, Waypoint·위치 등으로 비행하지 않거나, 계획과 다른 비행을 하는 것 등이 있다(MOLIT, 2019).

Fig. 3의 TEM 프레임워크(ICAO Circular 314)는 기본적으로 위협 → 에러 → 원치 않는 상황이라는 3단

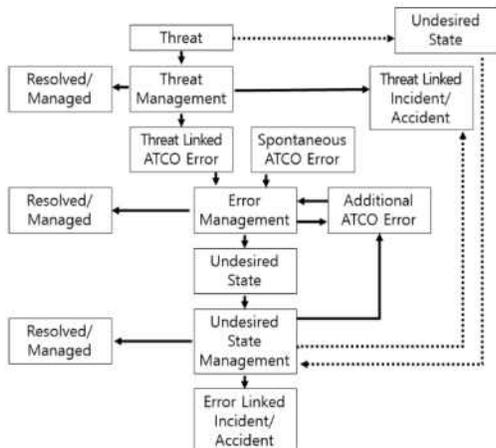


Fig. 3. Framework of TEM (ICAO Cir. 314)

계에 따라 관제사의 인적오류에 기인한 항공 사고사례를 분석하고 있다(ICAO Circular 314, 2008). 연구자는 Fig. 3 TEM 프레임워크의 흐름에 따라 관제사의 인적오류에 기인한 항공기 사고사례를 분석하고자 하였다. 이를 위해 국내외 주요 공항 및 지방공항에서 관제사의 인적오류 때문에 발생한 항공기 사고들을 사례 연구 대상으로 선정하여 분석하였다.

III. TEM 적용한 사례연구

3.1 허가받지 않은 활주로의 착륙

2019년 11월 김포공항으로 착륙예정이었던 A 항공사는 서울접근관제소와 김포공항 관제탑으로부터 김포 국제공항 활주로 32L로 정밀 계기 접근 및 착륙을 허가 받았으나, 허가받지 않은 활주로 32R에 착륙한 사례이다. 출발 당시 입력된 착륙활주로 정보가 운항 중 변경되었지만, 운항승무원의 공항정보방송업무(ATIS, automatic terminal information service) 정보 확인 소홀 및 비행절차 미준수로 인지하지 못하였으며, 관제사는 레이더 화면에 허가받지 않은 활주로에 접근하는 항공기에 대한 항적 감시가 미흡하였고, 즉시 복행 지시를 내리지 않아 준사고가 발생하였다(ARAIB/Air1907/MOLIT, 2019).

착륙공항에 대한 ATIS 확인은 이륙 후 최소 3번 수행되지만 정보 확인을 소홀하였고, 출발 전에 목적지 공항의 ATIS 정보를 확인하여 비행경로를 비행관리안내시스템에 입력하나, 수정작업이 이루어지지 않았다.

비행관리안내시스템(FMGS, flight management guidance system) 준비업무 주체에 대한 혼돈과 착륙 활주로 변경을 인지하지 못함으로써 FMGS 준비업무를 수행한 주체가 없었다. 또한, 부족한 조종자원관리(CRM, crew resource management)와 접근 브리핑 생략 등 운항승무원의 인적오류가 발생하였다. 국지관제사와 감독관이 관제탑에 설치된 RADAR 화면을 통해 착륙 항공기를 감시하지 못함으로써, 허가받지 않은 활주로로 착륙하는 항공기를 착륙 직전 육안으로 발견하였으며, 육안 확인 즉시 복행 지시를 발부하여야 하나, 타 항공기에게 활주로 횡단 지시를 하는 등에 관제사의 인적오류가 발생하였다. 사고조사보고서를 분석하여 관제사 측면의 사고 요인에 대해 TEM의 위협 및 에러 요인을 Table 5와 같이 분류하였다.

Table 5. TEM of serious incident #1

| 구분 | 내용 |
|-------------------------------|---|
| 위협 (Threat) | <ul style="list-style-type: none"> - 감독 행위 - 절차(착륙허가 전 항공기 미 확인) - 경로 이탈 - 조종사가 지시에 따르지 못함 - 교통 혼란 (이·착륙 항공기 집중 시간대) |
| 에러 (Error) | <ul style="list-style-type: none"> - 이·착륙 상황을 감시하지 않았음 - 항공기 이탈에 대한 미조치 - 교통상황을 감시하지 않음 - 예측 실수 - 기타 항공기 지시 실수 (복행 미 지시) |
| 원치 않는 상황 (Undesired state) | <ul style="list-style-type: none"> - 교통상황을 장시간 감시하지 않음 (레이더 전시기 항적 미 감시) - 활주로 진입 등의 지시를 따르지 않고 활주로에 진입 - 기타 원치 않는 교통상황 (두 항공기가 활주로 점유) |

3.2 활주로 무단 진입

2016년 3월 청주국제공항에서 A 항공사의 운항승무원은 지상관제사의 지상유도 지시가 활주로 진입 허가의 의미를 내포하고 있다고 판단하여 이륙하기 위해 유도도 B3에서 활주로 24R로 활주로 진입 정지선을 확인하지 않고 관제허가 없이 무단 진입하였다. B 항공사는 활주로 24R에 접지하여 착륙활주 중 유도도 B3에서 활주로에 무단 진입하는 A 항공사를 발견하고 활주로 중심선 좌측 약 6m 벗어나서 회피 기동하였지만, 두 항공기간 간격은 불과 3m로 근접 조우하였다 (ARAIB/Air1603/MOLIT, 2016).

운항승무원의 CRM 미흡, 지상활주 절차 및 항공교통관제절차 이해 부족(지상유도 지시를 활주로 진입 허가의 의미로 판단), 계기비행 기상상태(안개로 인한 활주로 가시거리 악화), 매립형 활주로 경계등화 미설치 등 환경요인과 운항승무원의 인적오류가 발생하였다. 지상관제사는 이륙활주로까지 대기할 필요가 있는 지상활주를 허가할 때, 대기지점을 포함하여 발부하여야 하나 대기지점에 대한 지시가 포함되어 있지 않았고, 지상관제사와 국지관제사가 시계관측으로 항적 감시를 유지하지 못하는 등의 관제사의 인적오류가 발생하였다. 사고조사보고서를 분석하여 관제사 측면의 사고

요인에 대해 TEM의 위협 및 에러 요인을 아래의 Table 6과 같이 분류하였다.

3.3 활주로 충돌사고

1991년 2월 LA 국제공항 활주로 24L 상에서 이륙 대기하고 있던 S 항공사를 관제사는 활주로 정지선에서 대기하고 있던 다른 타 항공사로 착각하여 착륙 예정이었던 U 항공사에게 착륙 허가를 발부하였다. U 항공사의 운항승무원은 활주로 이륙 대기 중인 S 항공사를 착륙 후 발견하였지만 충돌을 면하지 못하면서 두 항공기가 충돌하였다. 이 사고로 인해 S 항공사에 2명의 승무원과 승객 10명이 모두 사망하였고, U 항공사에 승무원 전원 및 89명의 승객 중 20명이 사망하였다 (NTSB/AAR-91/08, 1991).

항공교통량이 붐비는 시간대에 타 항공기의 무선교신 실패, ground radar의 고장(찾은 장비 고장으로 인해 사고 당일 미운영), 항공사 및 공항 운영 절차 미흡,

Table 6. TEM of serious incident #2

| 구분 | 내용 |
|-------------------------------|--|
| 위협 (Threat) | <ul style="list-style-type: none"> - 감독 행위 - 협조 문제 (국지-지상 관제사 협조 미흡) - 조종사 지상활주 실수 - 조종사가 지시에 따르지 못함 - 활주로/유도로 구성 (활주로가 유도도 목적으로 사용) - 기상 (안개로 인해 시정 악화) - 공항 레이아웃 (매립형 활주로경계등 미설치) |
| 에러 (Error) | <ul style="list-style-type: none"> - 협조 안함 (지상관제사에게 항공기 위치 확인 미지시) - 교통상황을 감시하지 않음 - 정보를 항공기에 전달하지 않음 - 유도 지시 실수 (대기지점 미지시) |
| 원치 않는 상황 (Undesired state) | <ul style="list-style-type: none"> - 항공기가 지시한 것과 다른 지점으로 지상활주 - 활주로 진입 등의 지시를 따르지 않고 활주로에 진입 - 항공기가 관제기관과 교신이 이루어지지 않음 (무선교신 혼선) - 기타 원치 않는 교통상황 |

강한 빛의 가로등으로 인한 시야 방해 등과 관제사의 인적오류가 동시 다발적으로 발생하면서 여러 사고 요인이 복합적으로 적용된 사고사례이다. 이외의 관제사 측면의 사고 요인은 사고조사보고서를 분석해서 나타난 TEM의 위협 및 에러 요인을 아래의 Table 7과 같이 분류하였다.

3.4 공통 TEM 요인 도출 및 분석결과

국토교통부 예규 제275호 정상운영 안전표본조사(NOSS) 요령 별표5 TEM Code를 활용하여 분석한 결과, 위협 및 오류요인을 도출하였다(MOLIT, 2019). 항공기 사고사례에 대한 TEM을 통해 도출된 요인은 총 Threat 20개, Error 18개, US 10개의 사고요인이 작용하였으며, 2개 이상의 사고사례에서 발생한 공통 TEM 요인은 Table 8과 같이 분류하였다. 공통 Threat으로는 5개의 요인이 분류되었으며, 4개의 Error와 3개의 US를 도출시켰다.

Table 7. TEM of accident #3

| 구분 | 내용 |
|-------------------------------------|--|
| 위협 (Threat) | <ul style="list-style-type: none"> - 사용 불가능 장비 (지상레이다 작동 불가) - 시야 불량 (강한 가로등 불빛으로 인해 시야 확보 실패) - 협조 문제, 스트립 문제 - 감독행위, 교통 혼란 - 호출에 대한 조종사의 응답실패 - 절차 (한 활주로에서 이·착륙 동시 실시) |
| 에러 (Error) | <ul style="list-style-type: none"> - 전체 복창을 받지 못함 - 비행장 조명 결함 - 어떤 항공기에 대한 스트립 없음 - 이·착륙 상황을 감시하지 않음 - 교통상황을 감시하지 않음 - 충돌확인 안함, 협조 안함 - 항공기 식별 없음 (이륙 대기 중인 항공기 미 식별) - 허가 지시 실수 |
| 원치 않는 상황 (Undesired state) | <ul style="list-style-type: none"> - 항공기가 관제기관과 교신이 이루어지지 않음 - 동시에 활주로 점유하도록 허가를 받음 - 항공기가 중요한 정보를 갖고 있지 않음 - 교통상황을 장시간 감시하지 않음 - 기타 원치 않는 교통상황 |

Table 8. The common TEM of accident related with ATC human error

| 구분 | 내용 |
|-------------------------------------|---|
| 위협 (Threat) | <ul style="list-style-type: none"> - 감독행위, 절차, 교통혼란, 협조 문제 - 조종사가 지시에 따르지 못함 |
| 에러 (Error) | <ul style="list-style-type: none"> - 교통상황을 감시하지 않았음 - 이·착륙 상황을 감시하지 않았음 - 항공기 지시 실수, 협조 안함 |
| 원치 않는 상황 (Undesired state) | <ul style="list-style-type: none"> - 교통상황을 장시간 감시하지 않음 - 원치 않는 교통상황 - 활주로 진입 등의 지시를 따르지 않고 활주로에 진입 |

3.5 사고의 개선 시사점

관제사의 인적오류로 인한 국내·외 항공 사고 및 준사고를 항공교통관제 분야의 TEM을 통해 위협 및 에러의 공통요인을 Table 8과 같이 도출한 결과, 특정 좌석을 운영하는 관제사 한명의 오류가 아닌 다른 관제사의 협조 및 감독의 부재가 사고에 매우 큰 비중을 차지하였다. 이는 관제사가 항공기의 위치, 다른 항공기와의 관계, 교통상황 등에 혼란을 겪을 때 상황인식 능력 및 집중력이 저하되는 것을 알 수 있었고, 모든 관제사가 교통상황을 감시하지 못하는 결과가 발생하였다. 또한, 조종사의 부족한 CRM, 미흡한 교육 및 훈련 등에 영향으로 항공사의 운영 방침, 항공교통관제 절차, 규정 등을 잘못 해석하거나, 자체 판단하여 관제사가 교통상황을 감시하지 못하는 경우가 발생하였다. 특히, 조종사가 관제 지시를 따르지 않아 안전을 위협하는 상황을 초래하거나 교통이 집중되는 시간에 관제사가 항공기에게 잘못된 지시를 하고 교통상황을 잘못 판단하는 등의 인적오류가 공통적으로 나타났다.

Table 8에 명시된 바와 같이 관제사 인적오류에 기인한 총 3가지의 사고사례에서 공통적으로 나타난 위협요인과 에러를 살펴보면 다음 4가지의 개선 방향으로 정리된다.

첫째, 공통위협요인을 살펴보면 다른 타 관제사들의 협조 미흡, 감독의 부재가 가장 큰 것을 알 수 있다. 이는 교통이 혼잡하고, 악기상 상황 등에서 두드러지게 나타나는 위협이다. 복잡한 환경 속에서 고도의 집중력을 발휘하는 관제사가 악조건 상황에 직면하게 되면, 관제사 본인뿐만 아니라, 타 관제사 및 관리자 또한 관제사의 인적오류를 인식하지 못하였기 때문이다. 이를 개선하기 위해서는 형식적인 훈련이 아닌 실질적이고

다양한 악조건 속에서의 가능한 모든 훈련을 시행함으로써 여러 상황에 대한 상황판단 및 인지능력을 배양해야 한다. 예를 들어 조종 분야에서 정상 비행 상태에서 실시하고 있는 라인 운영 안전 감사(LOSA, line operation safety audit)²⁾와 같이 정상운영 안전표본 조사(NOSS, normal operation safety survey)³⁾를 통해 나타난 관제사 개인 또는 관제기관의 운영 안전에 대한 위협 및 에러를 식별하여 모의관제훈련 프로그램에 적용시켜 훈련한다면 관제사는 관제기관에서 겪을 수 있는 모든 악조건 상황에 대한 경험을 습득할 수 있을 것이다.

둘째, 공통에러요인을 살펴보면 협조가 제대로 이루어지지 않고, 교통상황을 정확하게 감시하지 못했으며, 항공기에게 명확하고 적시에 필요한 지시를 제공하지 못하였다. 공통적 에러가 발생한 이유는 판단력, 의사결정, 문제해결 능력, 의사소통 능력, 상황변화 적응력 등의 인적요인이 실패되었기 때문이다. 항공교통관제는 불규칙한 근무형태로 24시간 운영되어지며, 최대의 집중력을 발휘하여 동시에 여러 대의 항공기를 관제해야 하는 업무이기 때문에, 한 가지 이상의 인적요인의 오류가 생기게 되면 치명적인 사고로 이어질 수 있다. 이러한 인적 오류를 예방하기 위해서는 운영기관 주도 하에 개인 및 팀 차원에서의 교육 체계 확립이 필요하다. 개인적 차원의 교육을 통해 인적요인을 자가관리할 수 있는 방법을 습득하고, 사고예방을 위한 관리의 중요성을 인식시켜야 하며, 팀 차원의 교육에서는 팀원들 간의 이해도를 높이고 팀워크, 의사소통의 중요성 및 책임을 가지고 있는 관리자의 의사결정, 감독행위에 대한 올바른 교육 체계가 확립되는 것이 필요하다.

셋째, 공통적인 원치 않는 상황을 살펴보면 사고가 발생한 시점의 교통상황을 감시하지 못하였고, 관제지시를 따르지 않아 활주로 침범 및 무단 진입하는 등의 요인이 발생하였다. 전체 분야별 사고 현황에서 관제분야는 큰 비중을 차지하고 있지 않으나, 관제사의 인적 오류로 인한 사고는 82%에 해당하기 때문에 원치 않는 상황이 발생하지 않도록 '사고사례 자기화' 노력이 필요하다. 사고 및 준사고 발생 시 관제사의 근무시간, 교대근무 유형, 수면, 의학적 장애 여부, 중요한 책임이나 일을 맡고 있었는지의 여부 등을 상세히 조사하여

관제사의 인적오류를 식별하고, 사후 시스템의 개선 사항 및 인적 자원관리를 위한 구체적인 사후 대책을 세우도록 하고 있다. 사고경위, 분야별 분석, 개선점, 안전 권고 등의 내용을 포함한 항공사고조사 보고서, 항공안전자율보고제도 등에 보고된 자료를 참고하여 세미나, 워크숍, 근무 상·하번 회의 시 사고 및 준사고 사례를 중심으로 교육 및 토론을 통해 전 관제사들에게 인적요인의 관리 중요성, 사고의 위험성 등을 인식시키고, 관제기관 특성에 맞는 개선 사항을 적용시킨다면 항공 안전 수준을 높이는데 도움이 될 것이다.

넷째, 항공 교통 서비스의 안전과 효율성을 최적화하기 위해 사용 가능한 모든 자원(정보, 장비, 사람 등)을 최대한 활용하기 위한 TRM(team resource management) 개념 도입이 요구된다. 현재 우리나라는 50개의 공항 및 비행장과 14개의 접근관제구역(TCA, terminal control area)가 설정되어 있으며, 항공로를 제외한 대부분의 공역은 군 작전구역(MOA, military operation area)로 이루어져 있기 때문에 항공활동을 하는데 많은 위협요인이 존재한다. 좁은 공역에서의 항공 활동을 함에 있어 같은 시설 내 관제사 간 팀워크, 타 관제기관의 관제사, 운영기관과의 긴밀한 협조 없이는 효율적이고 안전한 관제운영이 어렵다. 사고사례 분석을 살펴보면 감독행위 부재, 관제사 간 협조 문제, 교통상황 감시 미흡 등에서 나타난 세부적인 인적오류는 상황인식, 의사소통, 의사결정, 리더십, 팀워크 등이 있었으며, 활용 가능한 모든 자원을 효율적으로 관리하지 못하였다. 시스템, 장비, 항공관제 레이다, 연락망 등의 장비체계는 back-up 시스템을 구축하여 갑작스러운 위협 발생 시 즉각 대처가 가능하도록 체계가 확립되어 있다. 하지만 사고사례에서는 협조, 감독, 감시 등의 문제가 발생하였을 때 이를 보완해 줄 2차, 3차 안전망 없이 사고로 직결된 것을 알 수 있다.

TRM 구성요소(Fig. 4)에는 스트레스 관리, 의사결정, 팀워크, 의사소통 등으로 이루어져 있으며, 팀 차원에서 관제기관 내 여러 좌석별 관제사 간, 타 관제기관 간에 안전 확보를 위해서는 TRM 구성요소를 효율적으로 관리하는 것이 필요하다. 이를 통해 사고 예방을 위한 안전망 체계를 확립할 수 있으며, 더 많은 사고를 미연의 방지할 수 있다. 또한, 항공교통관제는 개인이

2) LOSA: 훈련을 받은 관찰자가 정상적인 비행에서 조종석에서 위협 및 실수를 관찰하며, 항공사 안전을 개선시키는 것을 목적으로 하는 최신 안전 프로그램.

3) NOSS: 평소 정상적인 상황에서 관제사와 그 주변 환경이 발생시키는 오류에 대한 자료를 수집하는 높은 수준의 안전 관리 활동.



Fig. 4. Elements of TRM (Eurocontrol)

아닌 팀의 형태로 운영되기 때문에 CRM의 기반을 둔 TRM 개념 도입이 절실히 필요하다.

IV. 결 론

항공교통량이 급증함에 따라 제한된 공역은 포화 상태가 되었으며, 항공안전을 저해시킬 요인이 많아졌다. 안전하고 효율적인 항공교통흐름을 관리하기 위해서는 무엇보다 관제사의 인적요인에 대한 이해와 관심이 필요하다. ICAO와 FAA에서 권고하는 항공교통관제 분야의 핵심 인적요인에는 피로, 스트레스, 자만, 부주의, 경계소홀, 건망증 등이 있으며, 관제사의 인적요인을 저해시키는 요인을 분석하고 관리하여 안전 마진을 감소시키지 않으면서 효과적으로 대응할 수 있도록 해야 한다. 관제사의 인적오류에 기인한 항공 사고사례를 TEM을 적용하여 분석한 결과, 모든 사고에서 관제사의 인적오류가 두드러지게 나타나는 것을 도출했다.

TEM을 통해 도출된 공통 TEM 요인의 공통 위협(threat)에는 감독행위, 절차, 교통혼란, 협조 문제, 조종사가 지시에 따르지 못하였고, 공통 에러(error)는 교통상황 및 이·착륙 상황감시 미흡, 항공기 지시 실수, 협조 미흡이 나타났으며, 공통 원치 않는 상황(US)은 교통상황을 장시간 감시 미흡, 원치 않는 교통상황 발생, 활주로 진입 등의 지시를 따르지 않고 활주로에 진입이 나타났다.

관제사의 인적오류에 기인한 항공 사고사례를 분석하여 도출된 개선 시사점은 다음과 같다.

첫째, 관제사가 다양한 악조건 상황에 대한 경험을 습득하기 위해 NOSS를 통해 식별된 위협 및 에러를 모의관제훈련 프로그램에 적용시켜 훈련하는 것이 요구된다.

둘째, 운영기관 주도하에 자기관리를 할 수 있는 방법을 습득하기 위한 개인적 차원의 교육 및 팀원들 간의 이해도를 높이고, 높은 수준의 팀워크를 위한 팀 차원에서의 교육 체계 확립이 필요하다.

셋째, 세미나, 워크숍, 상·하번 회의 시 정례적으로 '사고 및 준사고 사례 자기화'를 위한 교육 및 토론이 요구된다.

넷째, 항공 교통 서비스의 안전과 효율성을 최적화하기 위해 사용 가능한 모든 자원을 최대한 활용하기 위한 TRM 개념 도입이 요구된다.

본 연구에서는 항공 사고 및 준사고를 분석한 결과, 특정 요소가 독자적인 원인으로 작용하여 발생하기보다는 다양한 인적 및 물적 요소가 복합적으로 결합하여 발생한 것을 알 수 있었으며, 관제사의 인적요인을 효율적으로 관리하고 제거 및 회피한다면 사고발생을 현저히 감소시킬 것으로 기대된다. 향후 과제로 선진국에서 시행하고 있는 항공교통관제 분야 안전관리체계 및 프로그램 도입의 필요성과 관제사의 인적요인 중 항공 사고에 가장 치명적인 영향을 미치는 요소에 대한 고찰이 요구된다.

후 기

본 연구는 2021년 한국항공운항학회 춘계학술대회 발표논문을 수정·보완한 논문입니다.

References

1. Flight Safety Foundation Aviation Safety Network, <https://aviation-safety.net/statistics/period/stats.php>, 1990-2020.
2. Aviation and Railway Accident Investigation Board, "2020 aviation and railway accident case book", MOLIT, Sejong, 2020, p.22.
3. Kim, M. S., "A study on the systematic improvement of civil aviation safety", Journal of Korean Society of Transportation, 22(6), Korean Society of Transportation, 2004, p.18.
4. Kim, D. H., "Effort and development direction of aviation organization against human errors", Journal of the Ergonomics Society of Korea, 30(1), 2011, p.1.

5. Moon, W. C., Choi, Y. C., and Yang, H. M., "Association of human error on air traffic controller and pilot", *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 16(4), The Korean Society for Aviation and Aeronautics, 2008, pp.36-37.
6. Kwon B. H., "Final report of research service on introduction plan for air traffic controller fatigue management system", Ministry of Land, Aerospace Medical Association of Korea, 2018, p.2.
7. Rodgers, M. D., Mogford, R. H., and Strauch, B., "Post hoc assessment of situation awareness in air traffic control incidents and major aircraft accidents", In M. R. Endsley & D. J. Garland (Eds.), *Situation Awareness Analysis and Measurement*, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2000, pp.73-112.
8. Jung, J. W., "Concept discovery and result of human error", *Korean Industrial Health Association*, Seoul, 2019, pp.32-40.
9. Rafferty L. A., Stanton N. A., and Walker G. H., "The famous five factors in teamwork: A case study of fratricide", *Ergonomics*, 23, 2010, pp.1187-1204.
10. MOLIT, "Procedures for Normal Operation Safety Survey(NOSS)", 2019, pp.11-13.
11. ICAO CIRCULAR 314, "Threat and Error Management(TEM) in Air Traffic Control", 2008, p.7.
12. Aviation and Railway Accident Investigation Board, "Aircraft incident investigation report ARAIB/AIR1907", MOLIT, 2019, pp.1-51.
13. Aviation and Railway Accident Investigation Board, "Aircraft incident investigation report ARAIB/AIR1603", MOLIT, 2016, pp.1-55.
14. NTSB, "Aircraft Accident Report, PB91-910 409 NTSB/AAR-91/08", 1991, pp.1-168.
15. MOLIT, "Procedures for Normal Operation Safety Survey(NOSS)", 2019, pp.15-20.