Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 1 pp.29-39, February 2011 DOI:10.5143/JESK.2011.30.1.29

인적오류에 대응하는 항공분야의 노력과 발전방향

김 대 호

항공안전관리단

Effort and Development Direction of Aviation Organization Against Human Errors

Dae-Ho Kim

Department of Research, The Republic of Korea Air Force Safety Management Wing

ABSTRACT

Safety management paradigm which against human errors in aviation industry is now changing from the follow-up measures after accident in the past to systematic approach that a forecast the hazards and improve the working system of the group to prevent accidents. As human factors are based on the man's specific psychological traits, it takes much time and efforts to prepare the preventive measures. That's why aviation industry is interested in the accident-prevent measurements against human errors. In this thesis, therefore, we are going to introduce the efforts that aviation organizations have tried and recommend management systems and discuss the suggestive facts. At first, we discussed introduction of HFACS which is the systematic accidents-classification system related to human errors in the aviation organization and countermeasure in the aspects of management, technology/engineering, education training. We described about FOQA, LOSA, CRM/TEM, aviation safety information DB in the aspect of management, and explained safety technologies that prevent human errors or avoid technologically when emergency occurs in the aspect of technology/engineering. In the aspect of education training, we explained the application plan about safety programs(LOFT/Simulator use, CRM/TEM application etc).

Keywords: Human Error, Aviation, HFACS, FOQA, LOSA, CRM/TEM

1. 서 론

항공역사 초기는 항공기의 기계적 결함이나 불완전성에 의한 사고가 높았지만, 기술의 발전으로 사고/사건 건수 및 비율이 크게 감소하였다. 이에 비해 인적오류(Human Error)에 의한 사고 비율은 그 감소추세가 더딘 경향을 보이고 있으며, 민간 또는 군항공을 불문하고 항공기 사고의 70% 이상을 차지하고 있다. 이는 항공분야 뿐 아니라 고신뢰도 체계 분야인 철도, 원자력, 해운, 화학플랜트 등에서도 비슷한 사고통계 경향을 나타낸다(Hollnagel, 2004).

항공분야의 특수성은 조종실(Cockpit)과 같이 좁은 장소에서 3차원 공간을 이동하며, 빠른 속도로 임무하기 때문에 임무공간에서의 업무부담 및 의사결정 과정이 타분야 보다 시간적 · 공간적 제약을 많이 받게 된다. 실예로, 비행시 조종사의 신체적, 심리적 한계와 부담이 타 분야에 비해서 높으며, 고속 · 급기동 임무를 하기 때문에 시간적 압박과 비상상황시 빠른 의사결정이 요구된다. 그러나 조종실 이외의

교신저자: 김대호
주 소: 450-600 경기도 평택시 평택우체국 사서함 25호, 전화: 031-690-2972, E-mail: daehoda@hanmail.net
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

자원은 항공통신을 통한 간접적인 형태뿐이기 때문에 인적오류에 의한 비상상황 발생시 사고로 이어질 가능성이 높다(Roger G Green, et al., 1991).

그간 사고의 원인을 규명하는데 있어서 인적오류를 범한 조종사의 행위에만 관심이 있어서, 불안전한 행위에 대한 책임과 분석에만 관심이 있었다. 오류관리(Error Management) 관점에서는 인간의 오류를 완전히 방지하거나 제거하는 것은 불가능하기 때문에, 사고예방을 위한 효과적 관리를 위해서는 관리 패러다임을 변경해야만 한다. 과거 조종사의 오류가 사고의 주요 원인이라고 간주하며 대응하는 방식에서 벗어나, 사고는 간접적이고 잠재되어 있는 원인들의 조합된 결과로서 나타난다는 것을 조직구성원들이 인식하고, 사전에 미리 예측하여 예방할 수 있도록 조직전체의 역량과 업무시스템을 개선하는 체계적 접근방법을 활용하여야 한다. 인적오류의 관리적 측면에서 항공분야의 국제적 안전관리 패러다임을 정리해보면, 과거 사고 발생 후 직접적인 원인을 찾아 조치하는 사후적 안전관리에서 안전 모니터링(Safety Monitoring)과 안전정보 및 데이터 분석을 통한 예방적이고 사전예측적 안전관리로 변화하고 있다(ICAO, 2009). 인적오류의 관리적 측면에서는 오류에 대한 인지 및 탐지가 가장 중요하다. 모든 관리는 오류의 인지부터 시작되기 때문이다. 조직에서 어떤 종류의 오류가 어떤 형태로 발생하는 지에 대한 분석을 기초로 오류대응을 위한 훈련과 표준화 절차에 적용하는 등 맞춤식 접근을 할 수 있기 때문이다. 결국 인적오류 발생의 근원을 바로 인지하여 상호간의 비교점검을 통해 안전한 상태로 비행할 수 있게 관리하는 것이 핵심이다.

인적오류는 인간의 고유한 심리적 행동적 특성에 기인하는 관계로, 이를 대응하여 예방책을 마련하기에는 많은 노력과 시간이 소요된다. 이와 같은 이유로 항공안전에서 인적요인에 대한 관심이 집중되는 것도 같은 맥락이라고 할 수 있다. 이에 본 논문에서는, 그간 항공분야에서의 노력과 관리시스템에 대한 소개와 그 시사점을 논의하고자 한다. 항공분야의 인적오류에 대한 특성을 체계적으로 분류한 HFACS(Human Factors Analysis and Classification)에 대한 소개와 관리적, 기술적/공학적, 교육훈련적 측면에서의 대응방안 프로그램과 시사점을 논의하도록 하였다.

2. 항공사고 원인의 복합성과 인적오류

사고 발생 메카니즘과 단계를 대표적인 사고 모델인 Casual Sequence 모델에 의해 분석해보면, 항공사고를 비롯한 각종 사고는 한 가지 원인만으로 사고가 일어나는 경우는 없으며, 여러 원인들이 복합적으로 연결되어 있는 것을 알 수 있다. 이런 원인들이 연쇄적으로 이어져 최종적으로 행동자(조종사, 운전자, 작업자 등)의 불안전한 행동을 유발시킴으로서 사고가 발생한다는 것이다(Reason, 1990). 항공분야의 항공사고 원인분석은 Reason의 '스위스 치즈 모델'에서 잘 설명할 수 있는데, 인간 행위의 실패를 1) 불안전 행위, 2) 불안전 행위의 전제조건, 3) 불안전 감독, 4) 조직의 영향과 같이 네 가지 수준으로 정하고 있다. Shappell과 Wiegmann은 Reason의 모델을 근간으로 하여, 미 해군 항공사고를 분석하여 조종사의 불안전 행위 분류체계를 발전시켰으며, 이것이 바로 'HFACS'이다(Shappell & Wiegmann, 1997). HFACS는 이후 미 공군 및 육군, 그리고 민간조직(NTSB와 FAA)의 자료를 통해 재정립되었으며, Reason이 주장한 인간 행위 실패에 대한 네 수준의 원인 분류를 기초로 해서 그 안에 총 17가지의 세부 원인으로 분류하고 있다(그림 1).

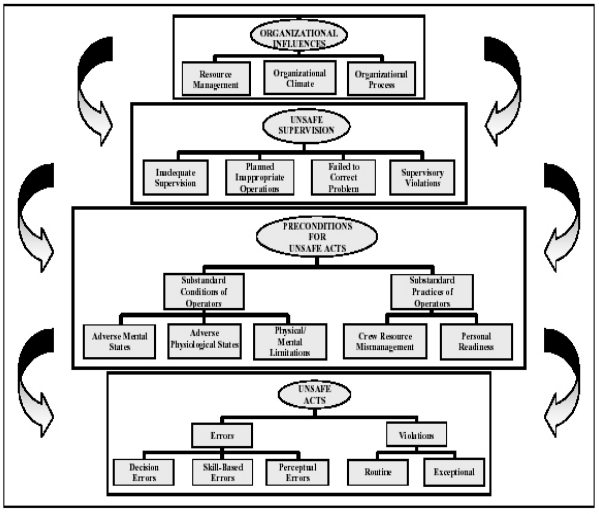

그림 1. Modeling of HFACS

2.1 불완전한 행위

조종사의 불안전 행위(Unsafe Acts of Operators)는 크게 오류(error) 또는 위반(violation)의 두 가지 범주 중에 하나이다. '오류'는 인간의 특성과 능력한계로서, 자연스러움 중 하나이며, 불안전 행동에 의한 사고의 대부분이 이에 속하며, '위반'은 법과 규정을 무시한 고의적인 행위를 말한다.

오류는 다시 '판단 오류(decision error)', '기술 기반 오류(skill-based error)', '지각 오류(perceptual error)'로 구분된다. '판단 오류'는 부실한 실행절차, 부적절한 선택, 관련 정보의 오해 및 오용 등으로, 의도적 행동의 실행을 위한 계

획이 상황과 맞지 않거나 부적절한 경우에 나타난다. '기술기반 오류'는 의도적 생각과는 관계없이 나타나며, 항공기의 조종간 및 러더 페달 조작과 같은 주로 자동화된 행동이 주의(attention)가 흐트러지거나 기억 실패로 인해서 나타나는 것인데, 이로 인해 잘못된 스위치 조작을 한다든지, 무엇을 하려고 했던 것을 잊는다든지 또는 수행해야할 절차를 생략하는 등이 예이다. '지각 오류'는 야간, 기상 등의 비정상적 비행상황에서 감각 입력이 희미하거나 불확실할 때 나타나는 착각이나 착오로서, 거리/고도/속도 판단 착오, 착시, 공간정위상실 등이다.

위반의 경우도 크게 두 가지로 구분되는데, '통상적 위반(routine violation)'과 '이례적 위반(exceptional violation)'이다. 통상적 위반은 관리, 감독체계가 용인하는 범위 내의 경미한 위반으로서 대개 습관적으로 행해지며, 이례적 위반은 관리체계에서 묵과하지 않는 허용범위를 넘어서는 위반으로서, 안전관리체계에서 허용되지 않는다.

2.2 불완전한 행위의 전제조건

불안전 행위의 전제조건(Preconditionings of Unsafe Acts)은 불안전 행위를 할 수 밖에 없었던 전제조건에 대한 설명으로서 '조작자의 표준 이하 조건(substandard conditions of operators)'과 '조작자의 표준 이하 실행(substandard practices of operators)'의 두 가지 하위요소로 나뉜다. 조작자의 표준 이하 조건은 '부적절한 정신적 상태(adverse mental states)', '부적절한 생리적 상태(physiological states)', '신체적/정신적 제한(physical/mental limitation)'으로 구분된다. 부적절한 정신적 상태는 수행에 불리한 영향을 미치는 정신적 조건을 말하는 것으로, 상황인식의 상실, 정신적 피로, 자만, 주의고착, 주의분산 등이며, '부적절한 생리적 상태'는 안전한 조종에 걸림돌이 되는 의학적/생리적 조건을 말하는 것으로, G에 의한 의식상실(G-induced Loss of Consciousness: G-LOC), 저산소증, 약물에 의한 영향, 신체적 피로, 질병 등이며, '신체적/정신적 제한'은 임무수행의 요구조건이 조종사의 능력을 초과하는 경우를 말하며, 불충분한 반응시간, 야간의 시각 제한, 양립할 수 없는 정신적 또는 생리적 능력 등으로 설명된다. 조작자의 표준 이하 실행은 '부적절한 CRM(crew resource mismanagement)'과 '개인의 준비상태(personal readiness)'로 나뉘다. 부적절한 CRM은 항공기내 커뮤니케이션, 항공기간 또는 항공기와 지상요원(관제/정비)간의 커뮤니케이션 실패 등이 포함된다. 개인의 준비상태는 임무전 필요 수면량 충족, 음주통제, 약물 자가복용 관리, 식사관리 등 자기관리 등이 포함된다.

2.3 불안전한 감독

불안전한 감독(Unsafe Supervision)은 '부적절한 감독(inadequate supervision)', '계획된 부적절한 운영(planned inappropriate operations)', '문제 수정의 실패(failed to correct problem)', '감독자의 위반(supervisory violations)' 등의 하위요인들로 구분된다. '부적절한 감독'은 임무 지침, 훈련기회, 리더십, 동기, 적절한 역할 모델을 마련해 주지 않았거나 부적절하게 이루어졌으며, 감독이 전혀 이루어지지 않았을 경우를 의미한다. '계획된 부적절한 운영'은 종종 부적절한 비행운영 템포로 인해 개개 임무요원이 받아들일 수 없는 위험에 노출되거나 비행 임무요원들이 휴식을 제대로 취하지 못하는 경우를 의미한다. '문제 수정의 실패'는 조종사, 장비, 훈련 또는 기타 안전관련 분야에서 감독자에게 보고된 문제나 결함이 고쳐지지 않은 채로 방치되어 있는 경우를 말한다. '감독자의 위반'은 감독자가 규정/규칙을 무시하고 의도적으로 위반하는 경우이다.

2.4 조직의 영향

조직의 영향(Organizational Influences)은 조직 내의 잠재된 문제들은 '자원의 관리(resource management)', '조직풍토(organization climate)', '조직의 과정(organizational process)' 등과 관련된 것들이다. '자원의 관리'는 인적 자원, 예산, 장비/시설 등의 관리, 할당, 유지에 관한 것으로서 인원의 선발, 훈련, 배치 등을 포함한다. '조직 풍토'는 작업자의 수행에 영향을 미치는 조직 내의 근무 분위기로 조직의 구조, 정책, 문화의 범주로 나뉜다. '조직운영 과정'은 조직 내에서 일어나는 일상적 활동을 관장하는 조직의 결정과 규칙에 관한 것으로 운영(operations), 절차(procedure), 감시(oversight)의 세 가지 하위요소로 나뉜다.

3. 항공분야의 인적오류 대응방안 사례

항공분야의 인적오류 대응은 과거 사고사례에 대한 분석을 토대로 사전예방 및 예측적 안전프로그램의 적용이 주요 활동이다. 본 논문에서는 안전프로그램 중 관리적 대응, 기술/공학적 대응, 교육훈련적 대응방안을 중심으로 고찰하고자 한다.

3.1 관리적 대응방안

관리적 대응방안은 조직내의 제도적 접근방안으로서 대표

적으로 FOQA(Flight Operational Quality Assurance), LOSA(Line Operation Safety Audit), CRM(Crew Resource Management)/TEM(Theats and Error Management), 각종 안전정보 DB 등이 있다.

3.1.1 FOQA

FOQA는 대표적인 안전 모니터링 제도로서, 위험요소를 비행 중에 발생되는 Data를 근간으로 규명하여 사고예방에 사용토록 하는 프로그램이다. 현재 ICAO의 권고에 따라 민간항공분야는 대부분 도입 운영하고 있으며, 군용 항공분야에서도 MFOQA(Military FOQA)를 미국(육/해/공), 캐나다, 호주 등에서 일부 기종에 적용하고 있다(FAA, 2006).

FOQA의 목적은 일일 비행에서의 잠재적인 문제를 찾고 예방적/예측적 관점에서 사고가 발생하는 것을 미연에 방지하고자 비행데이터를 분석하는 것이다. 비행데이터는 1,000여 개의 파라미터로 비행 중에 어느 단계에서 무슨 일이 있었는지를 알 수 있다. 이 정보에는 비행기의 상태, 속도, 고도, 방향 등이 포함되는데 이러한 정보는 조종사의 교육/훈련 및 사고가 일어났을 때 상황을 재구성하는데도 도움을 준다. FOQA 자료 분석의 용이성과 효용성을 높이기 위해 FOQA 애니메이션 시스템을 활용하기도 하며, 훈련 및 본인 비행의 리뷰를 위해서 비행궤적이나 3D Terrain을 재현 가능케 하는 등의 기능을 제공한다(그림 2).

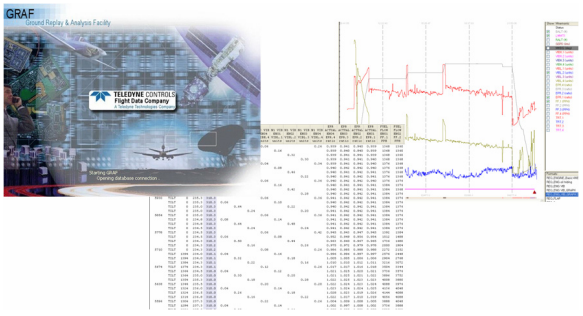

그림 2. 애니메이션 및 FOQA 구성도

FOQA 데이터의 수집은 항공기에 장착되어 있는 비행기록장치(FDR: Flight Data Recorder)에 기록되는 자료 분석을 통해 규명한다. FDR과 DFDR(Digital Flight Data Recorder) 이외에도 CVR(Cockpit Voice Recorder), 솔리드 스테이트 비행기록장치(Solid State Flight Data Recorder), SSCVR(Solid State Cockpit Voice Recorder)가 있으며, QAR(Quick Access Recorder)와 같은 디지털 기록장치를 활용한다.

3.1.2 LOSA

LOSA(Line Operation Safety Audit)는 정상적인 운항에서 안전정보를 얻고, 취약사항을 개선시키는 것을 목적으로 하는 안전프로그램이다(Klinect et al., 2003). 훈련을 이수한 관찰자(Observer)가 관찰자석(Observer Seat)에서 안전자료를 수집하는 도구인데, 조종사를 평가하거나 감독하는 수단은 아니다. LOSA는 기존 안전자료 수집도구의 한계를 보완한 것으로서, 실행 의무사항은 아니며, 항공사에서 자발적으로 실행한다. 인적오류 측면에서 수집되는 양질의 안전정보를 통해 교정 및 예방을 위한 도구로 활용도가 높다. ICAO에서 제시된 LOSA 운영 특성은 다음과 같다(ICAO DOC 9803, 2002).

- 일상 운항 시 관찰자 좌석에서 관찰
- 익명성과 비밀이 보장된 자료 수집
- 자발적인 조종사의 참여
- 회사와 운항승무원 노조/협회와의 공동 보증
- 안전 지향 자료 수집 양식
- 훈련을 이수하였고 신뢰감 있는 관찰자
- 정보보호 자료 수집 장소
- 자료 신뢰성 검토 회의
- 자료를 사용한 안전 개선
- 결과 피드백(Feedback)

조종사들은 관찰자를 허용할 것인지의 결정권한을 가지고 있으며, 비처벌 주의를 토대로 정상 운항상태를 있는 그대로 보여준다. 관찰 내용은 노사 간의 합의에 따라 비밀로 유지되며 LOSA 실행기관(TLC)과 텍사스대학 인적요인 연구소(Human Factor Research Project: UTHFRP)/LOSA Collaboration로 자료가 전송된다. UTHFRP/LOSA Collaboration에서는 분석결과보고서를 항공사에 제공하며, 항공사는 이 결과보고서를 토대로 다른 안전관리 도구를 활용하여 안전 개선을 하게 된다. LOSA는 민항기를 중심으로 적용되고 있으며 '08년 20개국 35개 항공사 8,000여명의 관찰자가 활동 중이며, '09년 하반기 약 47개사로 확장되고 있다.

3.1.3 CRM/TEM

CRM은 안전하고 효과적인 비행을 하기 위해 가능한 모든 자원을 활용하는 것으로, 승무원들이 Teamwork을 통해 조종사가 좋은 판단을 할 수 있는 능력을 제공하는 것이다. 즉, 적절한 의사소통 및 Cockpit 관리 능력을 통해 모든 승무원들이 효과적이고 안전한 판단 및 의사결정을 할 수 있는 능력을 갖게 하는 것이 목표이다. CRM은 항공분야에 활발히

적용되는 안전프로그램 중 하나로서 그 효과성을 인정받고 있다(Maurino, 2005).

CRM은 1979년 UA(United Airlines) 항공사의 DC-8 항공기의 포틀랜드 추락 사고가 계기가 되어 1981년 도입된 이후, 수십년을 거치면서 발전되어 왔는데, 항공업계의 변화에 따라 여러 단계에 걸쳐 진화하였다(표 1).

표 1. CRM/TEM 단계별 발전사항

구 분		연도	주 요 내 용
1세대	Cockpit Resource Management	'81~	조종석 내 절차확인 강조
2세대	Crew Resource Management	'86~	팀을 기반으로 한 행동 강조
3세대	Advanced CRM	'86~	시스템 측면의 접근
4세대	Integrated CRM	'94~	통합 및 절차화 중심
5세대	Error Management	'96~	인적 한계 인정을 통한 error 방지
6세대	**Threat & Error Management**	**'03~**	**위험/실수방지를 위한 대응책 중점**

1세대 CRM(1981~)의 주요 핵심은 Managerial Grid로서 개인의 관리스타일과 행동취약점 등을 고려한 상호관계에 초점이 있었다. 2세대(1986~)는 CRM 기술(Skills)에 대한 논의로, 주요 CRM 기술은 Team Building, 브리핑 전략(Briefing Strategies), 상황인식(Situation Awareness), 스트레스 관리(Stress Management) 등이다. 3세대(1986~)는 시스템적 특성을 고려하기 시작한 단계이며, 인적 요소의 새로운 인식과 평가 등의 내용이 포함되었다. 이로써 객실승무원, 운항관리사 그리고 정비사까지 확대되었다. 4세대(1994~)는 비행의 모든 영역에서 인적 요소와 통합하는 과정으로서 자신의 해당조직특성을 고려한 LOFT(Line Operated Flight Training)과정을 개발 교육하였으며, 승무원들의 시뮬레이터 훈련 및 평가가 요구되었으며, 여기에 비정상적 상황에서의 행동 및 절차 지침(Checklist) 등이 제공되었다. 5세대(1996~)는 Error Management의 중요성이 부각되면서, Error의 회피(Avoid)와 제거(Trap), 일어난 Error에 대한 결과의 완화(Mitigation)에 대한 적극적 방어책이 고려되었다. 6세대(2003~)는 이제껏 CRM의 개념이 인간의 오류에 초점을 맞추고 발생요인과 영향을 최소화하는 방안을 조종사의 훈련에 중점을 두었다면, 조종사 및 관련요원들의 Error를 유발시키는 여러 위협요인(Threats)와 그로 인해 발생하는 Errors, 그리고 비정상적인 상황(Undesired Aircraft Condition)들에 대한 개념으로 영역을 넓히게 되었으며, 6세대 CRM은 TEM(Theats and Error Management)이라 정의된다.

Threat은 조종사에게 있어서 안전을 위협하는 요인이라고 할 수 있으며, 예를 들면 악기상, 항공기 계통결함, 비행 장애물, 난해한 ATC, 활주로 변경, 야간, 주의산만, 피로, 촉박한 시간 등이다. 즉, Threat이란 Error 발생을 유도하는 직·간접 요소를 말하며, Error는 조종사의 판단이나 행동이 올바르지 못하게 표출된 결과물이다. 비정상적인 상황(Undesired Aircraft State)이란 비행안전에 저해되는 위험한 상태로, 불안정한 접근, 항공기의 급격한 조작, 부적절한 Configuration 및 과다/과소 속도 유지, 제한고도 미준수, 항로이탈 등이다.

TEM은 예상되는 Threat에 대해 적절한 대책을 수립하여 효율적으로 대비하면서 Error를 발생하지 않는 환경을 만들어가며, 예상되거나 발생된 Error를 비정상적인 상황(Undesired Aircraft State)으로 진입 전에 예방하거나 또는 진입되더라도 이러한 상태를 최단기간 내에 수정하는 것을 말한다.

TEM의 단계별 적용 Tool은 다음 그림 3과 같다.

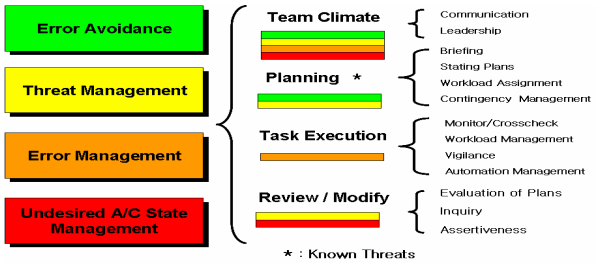

그림 3. TEM 단계별 적용 Tool

첫 번째 단계는, 위협정보를 수집하고 그 정보를 임무요원이 공유하여 예방책을 자발적으로 마련하도록 하는 팀 문화(Team Climate)를 만드는 것이다. 두 번째 단계는 예상되는 Threat에 대해 임무 전 사전에 대비할 수 있도록 계획(Planning)한다. 세 번째 단계는 비행 중 Monitor & Cross check를 통해 적극적인 상호 점검하게 실행(Execution)하는 것으로서, 업무량을 분담과 Workload 관리도 포함한다. 마지막 네 번째 단계는 검토 및 수정(Review & Modify)으로 계획된 임무 실행에 대한 검토 및 수정을 통해 안전을 위협하는 중대한 정보나 상황을 공유토록 한다.

3.1.4 항공안전정보 DB

항공안전정보 DB는 사고와 사고결과시 식별된 중대결함 및 보완사항을 상호 공유함으로서, 타산지석으로 삼아 동일하고 유사한 사고를 예방하기 위함이다. 대표적인 안전정보 DB는 사고조사 보고 및 인적오류 정보에 대한 자발적인 보고시스템이다. ICAO에서는 국제 표준 보고시스템인 ADREP

(Accident/Incident Data Report)과 유럽에서 개발한 사고·준사고 보고시스템인 ECCAIRS(European Coordination for Accident/Incident Reporting Systems)을 상호 공유 DB화 하여 회원국간 안전증진 활동을 지원하고 있다.

우리나라에서도 민항분야에서는 항공법 및 동시행규칙에서 항공준사고보고제도를 의무적으로 정하고 있으며, 군에서는 CRS(Confidential Reporting System)을 자발적 안전보고, 비행비화록 등의 시스템으로 운영하고 있다.

다른 나라의 항공안전보고제도는 호주의 경우 CAIR (Confidential Aviation Incident Reporting), 미국의 ASRS (Aviation Safety Reporting System), 영국의 CHIRP (Confidential Human factors Incident Reporting Programme), 대만의 TACARE(TAiwan Confidential Aviation safety REporting system), 일본의 ASI-NET(Air Safety Information-Net) 등이 있다.

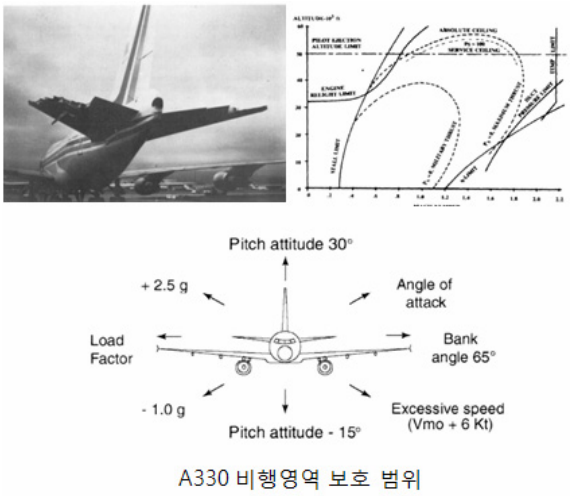

그림 4. 비행영역 보호 기술의 예

3.2 기술적/공학적 대응방안

기술/공학적 대응방안은 인적오류에 의한 비상상황 발생 시 회복 및 회피를 위한 장치와 인터페이스에 대한 내용이다(성기정, 2010). 비행영역 보호((Flight Envelope Protection), HITS(Highway in the Sky), 충돌회피(Collision Avoidance)기술, 기타 안전비행 지원을 위한 HUD(Head Up Display), GPWS(Ground Proximate Warning System), Haptic 기술 등을 중점으로 설명하고자 한다

3.2.1 비행영역 보호 기술

비행영역 보호 기술은 항공기의 조종입력을 분석하여 비행 중 조종사와 항공기의 구조적 또는 공력적 한계를 초과하지 않도록 하는 기술이다.

Boeing사의 경우 Soft 방식을 사용하고 있는데, 이는 비행영역 이탈이 예상되면 조종사의 조종간 작동을 무겁게 하거나 떨리도록 하여 조종사가 인지하여 회복할 수 있도록 하는 방식이다. 이에 반하여 Airbus사의 경우는 Hard 방식으로 조종간 작동범위를 제한하여 조종사 조작이 비행영역을 벗어나는 경우, 원천적으로 조종간을 더 이상 위험영역으로 움직이지 못하도록 방지하는 방식을 채택하고 있다.

이와 같은 기술은 과거 청각적 인터페이스로 알람을 제공하던 방식에서 진일보한 기술로서, 1985년 China Airline B 747SP-09사고로부터 이슈화되어 채택 적용되기 시작했으며, Fly-By-Wire 군용기에도 적용을 시작하고 있다(그림 4).

3.2.2 HITS 기술

ITS 기술은 조종사의 운항편리성 및 안전성을 향상시키기 위하여 전자식 시현장치에 항공기가 운항할 궤적을 터널형태 등으로 도시해 주어 조종사는 마치 게임을 하듯이 사각형 터널형태 내로만 항공기를 조종하면 되는 개념이다. 이 기술은 지리정보와 항공기의 위치, 자세, 방위각 등을 조합하여 표시해주는 합성시현장치인 SVD(Synthetic Vision Display) 기술로 가능하게 되었고, 저시정 또는 야간에도 적외선 카메라 등을 이용하여 영상을 확보할 수 있는 EVD (Enhanced Vision Display) 기술들이 추가되어 더욱 안전한 운항이 가능하도록 하고 있다(그림 5). 최근 국내에서 개발 및 생산되는 군용 및 다목적 항공기에 채택되어 적용되고 있다.

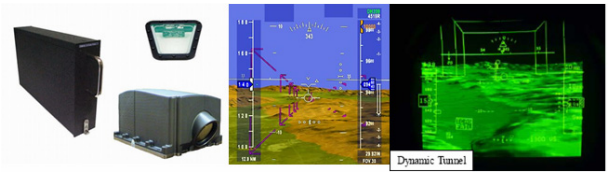

그림 5. HIT 기술 구성도

3.2.3 충돌회피 기술

공중충돌에 의한 사고는 항공기의 운항이 급격히 증가하면서 그 위험도가 점점 커지고 있다. 빠른 속도로 비행하는 항공기의 경우, 조종사의 상황인식이 조금이라도 상실할 경우 공중충돌의 위험성은 높아진다. 공중충돌회피시스템(ACAS: Airborne Collision Avoidance System)은 안테나를 통하여 주위의 ICAO 표준 트랜스폰더를 장착한 항공기에게 질문파를 발사한 후, 수신된 반송파에 포함된 거리, 고도 및 방위정보를 분석하여 조종사에게 이를 알려주는 장

치이다. ACAS의 종류로는 ACAS I, II, III가 있으며 종류에 따라 제공되는 정보가 다르다(표 2).

표 2. ACAS Level별 제공정보

구 분	
ACAS I	근접항공기에 대하여 2차원적인 위치정보만을 제공
ACAS II	Traffic Advisories(TA)과 Resolution Advisories (RA)정보제공과 근접항공기 장비에 따라 고도정보도 제공한다
ACAS III	TA와 수직, 수평적인 RA정보를 제공하며 아직 개발 중

현재의 충돌회피기술은 TCAS(Traffic Collision and Alert Avoidance System)로써, 충돌경보만 알려주는 TCAS-I과 상승, 하강을 통해 회피할 수 있도록 지시가 가능한 TCAS-II가 있으며, 수평회피까지 지시할 수 있는 TCAS-III가 개발되고 있다(그림 6). TCAS를 대체할 차세대 항행시스템 기술은 ADS-B(Automatic Dependent Surveillance System)가 있다.

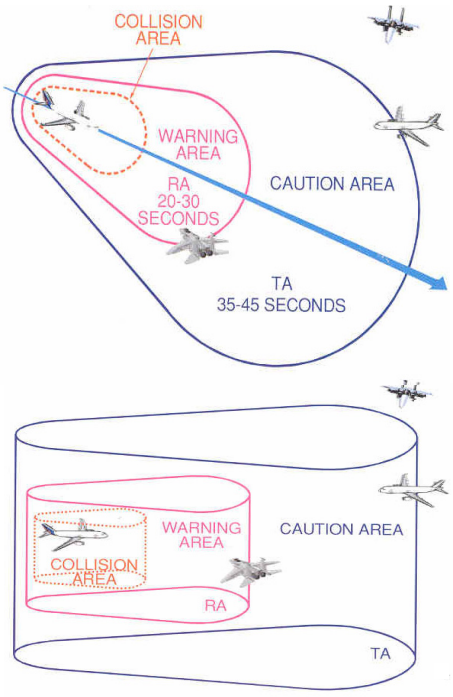

그림 6. TCAS II intruder Caution and

3.2.4 기타

항공분야에서는 3차원 공간에서의 임무시 인적 수행도 증가와 오류 방지를 위한 다양한 인터페이스가 개발되어 적용하고 있다. 특히 안전비행 지원을 위해서 인간의 정보입력 인터페이스에 대한 기술 적용이 활발하며, 대표적인 것이 HUD), GPWS, Haptic 기술 등이다.

먼저 HUD는 시각적 인터페이스의 대표적인 예로서, 전투기에 먼저 적용되어 활용된 기술로서 여객기와 자동차 등의 운송도구 전반에 걸쳐 적용되고 있다. HUD는 조종사에게 상황에 따라 필요한 엄청난 양의 정보를 전방시야를 유지한 상태에서 인지시키는 기능을 하는 디스플레이 장치이다. HMD(Helmet Mounted Display)는 헬맷 바이저에 HUD 기능을 추가시키고, 컴퓨터와 연동한 시스템이다. HUD는 형태에 따라 Conventional HUD(굴절식)과 Holographic HUD(홀로그래피식)로 나눈다.

항공기의 사고사례를 분석해보면 지상근접 추락 사고가 상당수 차지하고 있으며, 이를 보완하기 위해서 GPWS를 필수 장착하고 있는 추세이다. 대표적인 청각적 인터페이스로서 GPWS(지상근접 경보장치)는 항공기 내에서 가시정보와 각각의 가능한 위험상태를 지상과 대조 종합하여 경보를 음성으로 조종사에게 통보해준다. 경보의 원인을 즉각적으로 조종사에게 통보해 줌으로서, 이에 대한 적절한 행동을 취하도록 유도하는 시스템이다.

과거 조종사를 위해서 사용되던 시각 및 청각 인터페이스에서 벗어나 다양한 인터페이스에 대한 개발이 시도되고 있는데 대표적인 기술이 Haptic이다(Self, B. P. et al., 2008). Haptic 기술은 사용자에게 가상(virtual), 증강(augmented), 혹은 실제(real) 환경 등 다양한 정보를 사용자에게 촉감을 통해 제공하는 새로운 정보전달 방식이다. 항공분야의 적용내용을 보면, 주로 군항공분야에서 활발한데, 미육군에서는 헬기 조종사들에게 비행방향 정보나 적 미사일 위협정보 전달을 Tactile Torso Display(TTD)로서 적용하고 있으며, 이를 통해 실제 전시상황에서 조종사들에게 신속하게 정보를 전달함으로써 조종사들의 생존성을 향상시켰다고 할 수 있다. 또한 미공군에서는 전투기 조종사들의 SD방지를 위해 SORD(Spatial Orientation Retention Device)를 개발하여 3차원 공간의 시각적 정보와 함께 특수자캣을 통해 공간적 정보를 Haptic을 통해 제공하는 것을 연구 중에 있다(Ercoline, W. & McKinley, A., 2008).

3.3 교육훈련적 대응방안

교육훈련은 인적오류 대응방안 중점의 안전프로그램과 그 운영에 관한 교육에 한정하여 설명하도록 한다. 인적오류 대응교육은 항공안전 DB를 통한 사고사례 및 안전프로그램 실행결과를 자기화, 행동화를 위한 교육훈련이 실시되고 있으며, 이를 위하여 시뮬레이터나 가상현실 등의 체험 및 사례탐구 등 토의식 안전교육 방법이 시도되고 있다.

안전프로그램 실행결과를 통한 안전교육의 대표적인 예로 FOQA 데이터 분석을 통한 교육훈련이 있다. FOQA의 안전 Event 발생시 Feedback을 위해 각종 안전교육(CRM/TEM, 행동화 교육 등)을 진행하며, 시뮬레이터와 연동하거나, 애니메이션 시스템을 활용한다. 이를 통해 비행 특성을 분석하여, 본인이 실시한 비행에 대해 객관적인 입장에서 관찰하고 잘못된 부분을 수정할 수 있는 기회를 제공한다.

CRM/TEM 교육은 전사적 차원에서 주기적으로 반복적으로 시행되고 있는데, 특히 FOQA Event 발생시나 LOSA 등의 결과를 토대로 CRM/TEM 미흡사항 발생시 결과를 피드백할 수 있도록 하고, LOFT(Line-Oriented Flight Training)와 상황인식 훈련과 병행하고 있다. 이미 많은 항공사나 군항공분야에서 CRM 교육은 필수적 과정으로 운영하고 있으며, 계층별로 구조화하여 다양한 커리큘럼을 구성하고 있다.

4. 토의 및 결론

인적오류의 대응은 과거 사고사례와 아차사례의 분석을 통한 조직과 분야별 유형 및 행태에 대한 이해가 우선시 되어야 한다. 이러한 정보를 조직 내의 구성원들에게 전파하여야 하며, 이를 토대로 동일하거나 유사한 사고사례가 발생하지 않도록 하는 선순환적 접근방법이 필요하다. 이를 위해서 인적요인에 의한 항공사고는 사고조사시 HFACS Tool에 의해 객관적으로 조사하고 있으며, 관련 정보를 DB화하고 있다. 미해군을 선두로 미공군, 육군, FAA 등과 우리나라 공군에서도 관련 시스템을 적극 적용하고 있다. HFACS는 미해군에 의해 정비분야로도 발전하여 HFACS_ME 프로그램으로 그 영역을 확장하였다.

일부 항공조직에서는 HFACS Tool을 활용하여 발생하는 각종 안전 Event를 대상으로 인적오류의 특성 및 행태를 추적관리하고 있다. 사례를 살펴보면, O사의 '08~09'년도 발생한 53개 비행안전 Occurrence에 대한 분석결과, 의사결정 오류가 가장 빈번하게 나타나며, 이를 경감할 수 있는 방안으로 정확한 정보제공, 결정 과정에서 상황에 대한 이해와 필요한 교육, 경험 기회의 제공 등으로 분석하였다(대한항공, 2010). 불안전한 행위의 전제조건으로는 부족한 의사소통, 상호협력이 오류를 유발하는 주요 발생조건으로 나타났으며, 발생빈도가 점점 증가하는 추세로 분석하였다. 이러한 부분은 의사결정 및 기술기반 오류에 대한 개선조치를 통해 상호경감될 수 있을 것으로 예측하는 등의 안전프로그램을 시행하고 있다.

FOQA의 경우, 민간항공사는 장착이 의무화되어 운영상의 발전을 이루어왔다. 장기간 FOQA을 운용한 민간항공사의 경우 FOQA 데이터의 활용은 다양하게 이루어지고 있다. 우선 교육훈련 측면에서 취약점을 식별하여 불완전한 행동을 교정하는데 활용하거나, 더 나아가 조직전체의 공통된 취약점을 FOQA 데이터로부터 식별하여 우선적으로 조치하고 있다. 이를 위하여 주기별로 안전리포터를 발행하고, 안전회의나 공지를 통해 안전계몽을 병행하고 있다. 운영성과는 운영절차 개선 및 Unstabilized Approach 발생률이 크게 감소하는 등의 효과로 나타난다. 민간항공에 비해 군항공의 경우, 급기동 등 임무 특성에 인해 Military FOQA의 적용은 어려웠다. 그러나 많은 나라에서 FOQA를 통한 과학적 안전 모니터링이 전력보존과 안전 확보에 중요한 역할을 하기 때문에 제한점을 극복하면서, 전투실험 등을 통해 전력화하고 있다(Us Navy, 2003).

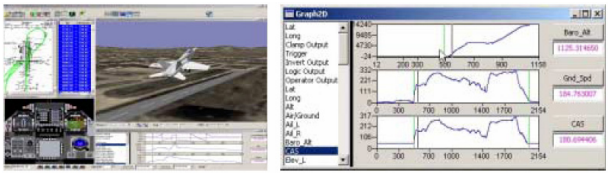

그림 7. 미해군 M_FOQA 관련(예: FlightViz™ Graphic Display)

FOQA 프로그램의 운영시 주의해야 할 점은 민감한 안전자료를 취급하기 때문에, 운영팀은 자료의 익명성을 보장하고, 안전분야 및 훈련분야 등의 활용할 목적을 분명히 설정하고, 안전문화에 대한 올바른 이해도가 필요하다. 즉, 운영목적을 부합하게 운영팀의 중립성과 강한 독립성 확보가 필요하다.

LOSA에 의한 안전관찰시에는 행동지표 뿐 아니라 환경적요인, 관제 오류, 운항관리사 오류, 기상, 그리고 조종사간 관계까지 포함된다(Maurino, 2002). LOSA를 통해 확인된 항공분야의 공통적인 오류 특성은 업무부담이 큰 이륙과 착륙단계에서 많이 발생하며, 비정상 상황(항공기 연발, 보급지시서와 다르게 보급된 연료, 갑작스런 활주로 이륙방향 변경 등)이 조사비행의 70%에서 1건 이상, 평균 1.5건이 발생하였다. 비행편수의 85%에서 1건이 상의 오류가 관찰되었고, 항공기의 강화/접근 단계에서 가장 많이 나타났다(레퍼런스). LOSA에서 발췌한 오류유형은 크게 의사소통오류, 절차수행오류, 의사결정오류로 구분할 수 있다. 의사소통오류(Communication Error)는 승무원간의 의사소통 또는 항공관제기관(ATC: Air Traffic Controller)과의 의사소통 과정에서 발생하는 오류로 조종사 상호간의 의사소통의 실패 또는 오해와 항공교통관제 지시의 부정확한 복창, 응답실패, 정보수신 실패 등이다. 절차수행오류(Procedural

Error)는 의도는 정확했지만 수행을 제대로 하지 못하는 경우로 브리핑시 필수 항목의 누락, 체크리스트 항목의 생략, 체크리스트 수행 지연, 연료량 정보 등 문서의 잘못된 기록과 해석, 상호비교확인(Cross Check) 실패 등이다. 의사결정오류(Decision Error)는 승무원의 잘못된 의사결정과 관계된 것으로서 항공기 운항/조종에 관한 지식이나 조종숙련도와 관련된 숙련도 오류(Proficiency Error)와도 밀접한 관계가 있다. 대표적인 사례는 항공기 조작에 있어서 부정확한 조작, 잘못된 유도로/활주로/주기장으로의 진입 시도, 종적/횡적 이탈 및 속도초과, 잘못된 스위치 및 주파수 선택 등이다. LOSA의 중요한 기능 중의 하나는 축적된 관찰 자료를 항공사의 동의를 통하여 항공사간 상호 비교할 수 있으며, 이를 통하여 조직의 안전수준을 비교 보완할 수 있다. 즉 LOSA의 적용은 비행분야의 공통적인 인적오류 특성정보를 공유할 수 있으며, 조직 내의 안전 취약요인을 파악하여 대처하는데 도움을 받을 수 있다.

또한 LOSA 자료는 항공기 제작사에 제공할 수 있기 때문에, 항공기의 설계 과정의 질을 향상시키고 실수를 감소시키도록 항공기의 제작 과정에 중요정보로 활용할 수 있다.

항공 사고율을 줄이기 위한 항공업계의 노력은 첨단장비의 도입과 지속적인 항공안전 감독/검열 등과 같은 전통적 방식의 안전프로그램과 함께 항공안전정보의 수집 분석을 통한 위험관리를 병행하고 있다. 국제사회는 이러한 지식기반의 안전관리를 새로운 관리 패러다임으로 자원을 집중하고 있는 추세이며, 항공안전에 효과적이라고 인정하고 있다. 지식기반적 안전관리는 필요 정보와 데이터의 수집과 확보가 가장 중요하며, 비행, 정비, 공항운영, 항공운항/관제 등 모든 분야에서 수집되지 않으면 안 된다. 이러한 정보시스템 중 CRS인 자발적 보고제도는 그 역할이 매우 중요하다. 자발적 보고제도의 활성화를 위해서는 전 조직원이 활발하게 참여할 수 있도록 인센티브의 제공과 동기부여 환경을 조성하여야 하겠으며, 자발적 보고를 꺼려하게 만드는 분위기를 타파하고, 비 처벌주의 및 무기명 제안 등의 익명성을 보장하여 양질의 정보를 획득할 수 있도록 하여야겠다. 또한 보다 나은 발전을 위해서 안전정보의 분석도구 및 방법, 정보공유 시스템 설비, 데이터의 표준화 등 관련 활동을 꾸준히 실행하여야겠다.

최근의 CRM/TEM의 기본개념은 Errors의 불가피성을 받아들이고, Error/Theats의 관리에 대한 중요성을 강조한다. Error의 전제조건에 대한 관리, Error의 회피훈련, Error가 발생하기 전 탐지훈련, 그리고 피할 수 없거나 탐지되지 않은 Error의 악영향을 최소화하는 팀 협력기술을 습득하는 훈련에 초점이 맞추어져 있다. CRM/TEM 주요활동의 중심에는 Team이 있다. 그렇기 때문에 Human Factors의 고려와 개인이 조직 내에서의 Team원으로서의 기능이해가 무엇보다도 중요하다.

CRM/TEM의 효과를 더욱 활성화하기 위해서는 다른 안전프로그램과 연계한 종합적 안전활동이 필요하다. 주로 Error 및 Threats을 찾아내는데 활용되는 주요 도구로 LOSA와 FOQA 등의 안전프로그램의 실행에 대한 결과와 FMAQ(Flight Management Attitude Questionnaire) 등을 활용한 안전설문지 등을 활용하는 등의 연계성 강화가 필요하다.

항공분야는 본 논문에서 소개한 기술적/공학적 기술 등을 활용하여 적극적으로 인적오류에 대응하였다. 특히 HUD나 GPWS의 도입이 비행 사고를 감소시켰으며, 비행의 편리성 및 안전성을 동시에 높일 수 있었다(FSF, 2008).

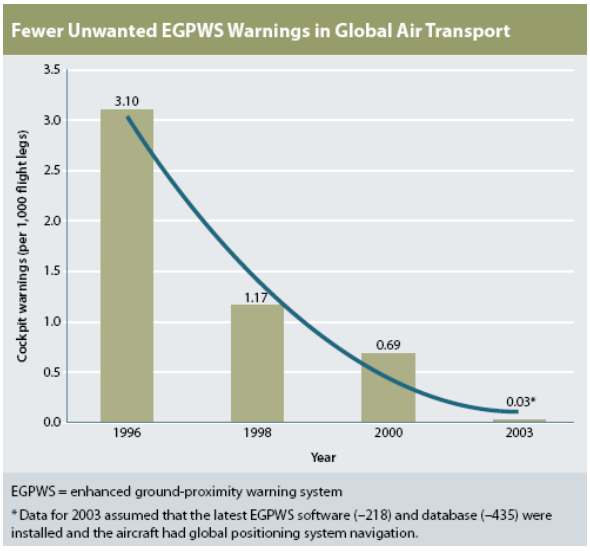

그림 8. GPWS 도입에 따른 사고감소 추이관련 통계

그러나, 첨단 기술의 적용에 따른 자동화 문제로 새로운 안전이슈가 나타나게 되었고, 인간공학적 설계검증 활동이 더욱 요구되는 시점이 되었다.

한편 정보입력 및 전달 체계가 시각/청각에 의존하던 시대에서 Hpatic 기술의 등장과 적용은 새로운 안전기술 발전에 도움이 되고 있다. Haptic 방식은 정보 전달을 위하여 손이나 피부, 몸통, 발 등 신체의 전체가 해당된다. 이러한 특징은 정보를 개인화 시킬 수 있고 중요한 정보에 대하여 필수적으로 전달하거나 타인들이 신호를 의식할 수 없도록 독점화할 수 있으며, 또한 여러 정보를 각기 다른 신체 부위에 동시에 전달함으로써 정보의 과부하 현상을 방지하고 정보를 보다 직접적으로 전달할 수 있는 장점을 가지고 있다.

더구나, Haptic Interface와 시각 혹은 청각 Interface를 접목하여 정보를 전달할 경우 그 효과는 더욱 높을 수 있다.

이러한 Haptic Interface의 특징으로 인해 Haptic Interface의 중요성은 날로 커지고 있으며 그 연구의 범위 또한 다양해지고 있는 추세이다(Gabriel, 2008).

현재, 항공분야의 여건을 살펴보면, 최첨단 항공기의 등장, 신종 · 신기술 비행체의 개발 및 등장(스텔스 기, 무인항공기, 수직 이착륙기, 초경량 항공기 등)에 따른 비행안전문제가 가장 심각하다. 무인기의 경우, 관제영역에서 운항할 수 있기 위해서는 유인기에 준하는 충돌회피 기술을 요구하고 있으며, 이러한 요구에 부합하기 위하여, 상대방 항공기의 장비와 무관하게 항공기를 감지할 수 있는 영상기반 충돌회피, 레이더기반 충돌회피 기술들이 개발되고 있다. 다양하고 첨단 항공기의 등장은 분명히 위협적인 부분이다. 이는 조종사뿐 아니라 이를 관제하고 통제하는 관제사에게도 영향을 주게 된다. 이를 대응하기 위한 방안으로는 공역관리 기술 및 관제사 실무 오류분석 시스템 등이 있다.

사실, CRM/TEM은 비행 사고를 예방할 수 있는 환상적인 도구로서 찬사를 받아왔지만 CRM/TEM의 성공적인 적용이면에는 조종사의 '지식'과 '기량'이라는 전제조건을 조종사 개인이 그리고 항공조직에서 잘 구비함에서 시작했다고 할 수 있다. 이러한 관점에서 성숙되고 질 높은 교육훈련이야 말로 안전에 많은 영향력을 미친다고 할 수 있다. 현재, 세계는 항공교통 물류분야의 발전으로 인해 항공교통량 증가에 따른 항공전문인력 수급 불균형(군 조종사의 대량유출, 외국 조종사 채용 등)등의 비행안전문제에 영향을 받고 있다. 조직에서 적정 조종사를 유지하기 위한 전략적 접근방법과 유입 조종사를 대상으로 한 적응훈련도 매우 중요하다. 안전교육은 처음 접해보는 장비에 대한 기술교육 및 인적오류 대응방안 차원에서 인간의 한계, 오류 유발요인 및 상황을 인지하고 대응하는 능력을 향상시킬 수 있는 체험 및 행동화 교육(위험 감성훈련 및 Motion Study 등)이 진행되어야 한다. 특히 교육훈련은 운항승무원 구성원의 특성과 문화적 배경을 참조하여 안전운항을 위한 인적 자원관리 훈련기법을 설계(Design)하고 개발하며, 이를 비행훈련과 병행하여 훈련을 실시하여야 한다. 또한 안전의식 창출을 위한 교육프로그램의 개발로 자유분방한 Workshop 형태로 운용함으로써, 바람직한 안전문화를 창출하는데 도구로 활용되어야 할 것이다. 또한 안전교육 훈련의 과학화로 실질적 교육훈련이 될 수 있도록 지원해야 할 것이다.

이상과 같이, 인적오류 사고를 예방하여 비행안전을 달성하기 위한 항공분야의 노력은 끊임없이 발전하고 진화해 왔다. 이러한 노력은 결국 사고예방과 안전문화의 창출이라는 목적에 부합하도록 더욱 발전해나가야 하겠다. 이를 위해서는 통합적이고 유기적인 항공안전프로그램 제도의 강화와 전략적 안전 모니터링 및 Audit를 통해 상호 안전수준을 높이는데 역점을 다하여야 할 것으로 판단된다.

그간 우리나라 항공분야의 노력은 민간항공분야 세계 최고의 안전지표 달성 및 군용항공기 분야도 세계 선진공군과 중사고 비율을 비교할 때 유사할 수준의 성과를 달성하였다. 그러나 항공분야는 사고의 여파가 인명피해와 사회적 파급효과가 타 분야에 비해 상당히 높기 때문에, 보다 적극적이고 예방적인 안전관리를 통해 더욱 노력하여 안전선진국으로서의 위상을 계속해서 유지하여야 할 것이다.

참고 문헌

CAP 737, Crew Resource Management(CRM) Training, CAA 2006.

Ercoline, W. & McKinley, A., Tactile Displays for Orientation, Navigation and Communication in Air, Sea and Land Environments, *Research and Technology Organisation. Chapter 6*, 2008.

FAA, FAA Order 8400.10, Air Transportation Operations Inspector's Handbook 2006.

Gabriel, R., Principles of haptic perception in virtual environments, Human haptic perception: basics and applications, 30: pp. 363-379, 2008.

Hollnagel, E., Barriers and Accident Prevention, ASHGATE 2004.

ICAO, ICAO DOC 9803, Line Operation Safety Audit 2002.

ICAO, ICAO DOC 9859, Safety Management Manual(SMM) 2009.

Klinect, J., Murray, P., Merrit, A. and Helmreich, R., LOSA: Definition and Operation Characteristics, p.p1-2, The University of Texas Human Factors Research Project, TLC, Austin Texas 2003.

Maurino, D., LOSA; New Crew performance monitoring continues to evolve as database grows, ICAO Journal, Vol 57, 2002.

Maurino, D., Threat and Error Management, Canadian Aviation Safety Seminar, 2005.

Mustapha, M., Richard, D. G., John, D. J. and Christopher, B., Pilot interactions with alarm systems in the cockpit. Proceedings of the Human Factors and Ergonics Society 47th Annual Meeting, p199, 2003.

Reason, J., *Human error*. New York: Cambridge University Press 1990.

Roger R Green, et al., Human Factors for Pilot, British Library Cataloguing in Publication Data 1991.

Self, B. P., van Erp, J. B. F., Eriksson, L. & Elliott, L. R., Human factors issues of tactile displays for military environments. In J. B. F. van Erp, & B. P. Self (Ed.), *Tactile Displays for Orientation, Navigation and Communication in Air, Sea and Land Environments, TR-HFM-122* (pp.1.4-1.5). RTO Technical Report, NATO Research and Technology Organisation 2008.

Shappell, S. & Wiegmann, D., A human error approach to accident investigation: The taxonomy of unsafe operations. *The International Journal of Aviation Psychology*, 7, pp269-291, 1997a.

Shappell, S., Wiegmann, D., Fraser, J., Gregory, G., Kisey, P. & Squire, H., Beyond mishap rates: A human factors analysis of U.S. Navy/Marine Corps TACAIR and rotary wing mishaps using HFACS. *Aviation, Spaceand Environmental Medicine*, 70, 416-7, 1999.

Us Navy, Opportunity Analysis for Military Flight Operations Quality

Assurance(MFOQA) 2003.
Wayne, R., Helping Hand, FSF(Flight Safety Foundation), pp17-21, 2008.
대한한공, Flight Safety Occurrence Review Using the Human Factors Causal Analysis Tool(HFACS)(2008~2009), SkySafety 21, Vol 105, pp31-41, 2010.
성기정, 항공기 안전성 향상 관련 기술동향, 공군 항공안전세미나, 2010.

Date Received : 2011-01-31
Date Revised : 2011-02-09
Date Accepted : 2011-02-09

Author listings

Dae Ho Kim: daehoda@hanmail.net
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Konkuk University
Position title: Principal Researcher, Department of Research, The Republic of Korea Air Force Safety Management Wing
Areas of interest: Human Error, HMI, System Safety, Safety Program