JESK J Ergon Soc Korea 2017; 36(5): 467-484
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2017.36.5.467
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

A Human Factors Approach for Aviation Safety

Dae Ho Kim

Safety Research Department, the Republic of Korea Air Force Aviation Safety Agency, Seoul, 07056

항공안전을 위한 인간공학적 대응

김 대 호

공군 항공안전단 안전연구처

Corresponding Author
Dae Ho Kim
Safety Research Department, the Republic of Korea Air Force Aviation Safety Agency, Seoul, 07056
Mobile : +82-10-5088-8515
Email : daehoda@hanmail.net

Received : August 16, 2017
Revised : August 29, 2017
Accepted : September 19, 2017

Copyright@2017 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

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

Objective: The purpose of this paper is to review, with the main focus on aviation safety technology and management program, how human factors are currently taken into consideration within transportation sectors, especially aviation, and to further share related information.

Background: Human factors account for the majority of aviation accidents/incidents. Thus, the aviation sector has been comparatively quick in developing and applying technologies and management programs that deal with human factors. This paper reviews the latest safety technologies and management programs regarding human factors and aims to identify the trend.

Method: This paper, based on literature research and practical experience, examines the latest international standards on technologies and management programs, those that deal with human factors and are adopted by international and domestic aviation organization. The main focus of discussion is how human factors are reflected during the system design and operation process.

Results: The current most important issue in designing is the consideration of human factors in Cockpit, Automation, and Safety system technology design. From an operational point of view, the issues at hand are screening and training aviation workers to promote aviation safety, providing education on human factors and CRM/TEM, and running a safety management program to implement SMS. They were discussed based on the operational experience within the aviation sector.

Conclusion: Major examples of a human factors approach to promote aviation safety are safety programs and various safety and monitoring technologies applied to aviation personnel for error management. These programs must be managed in an integrated manner that takes both the system designing and operational point of view into account.

Application: It is thought that the human factors approach for promoting aviation safety reviewed in this paper can be extended and applied to safety management programs in other transportation sectors such as the railroad, maritime, road traffic etc.

Keywords: Aviation safety, Human factors, Ergonomics, Human engineering, SMS (Safety Management System)

1. Introduction

최근 항공사고 추이를 검토해보면, 항공사고율은 낮아지고 있지만, 급증하는 항공운송 수요로 항공운송율이 증가하여 전반적인 항공사고 건수는 답보상태에 있다(ICAO, Safety Report, 2016; EASA, Annual Safety Review, 2016). 항공사고의 원인 중 70~80% 정도가 Human Factors에 의한 것으로 나타나듯, 항공안전에 있어서 Human Factors 관리는 그 중요성과 시급성이 높게 요구된다(KOTI, 2013). 이와 같은 현상은 철도교통, 육상교통, 해양교통 등과 같은 교통분야 사고에서도 Human Factors에 의한 사고가 높게 나타나고 있으므로(Shin et al., 2008; Youn et al., 2006; Kim and Na, 2009; Jang et al., 2009), Human Factors는 교통안전 분야에서는 공통적으로 관심있게 관리해야 할 요소이다.

항공분야는 FAA (Federal Aviation Administration), ICAO (International Civil Aviation Organization) 등 국제기구에서 안전한 항공운항을 위해서 Human Factors 중요성을 인지하여 관리방안을 모색하고 있다. FAA의 경우 Human Factors Policy Order 9550.8을 통하여 운항환경에서의 안전을 확보하고, 조직의 역량과 효율성 및 생산성을 높이기 위한 프로그램 정책, 절차, 책임 및 권한 등에 있어서의 Human Factors 고려사항을 설정하고 있다(FAA, Order 9550.8, 1993). ICAO는 항공 안전관리시스템(SMS, Safety Management System)에서 사고예방을 위한 안전프로그램은 'Technical Factors', 'Human Factors' 그리고 'Organizational Factors' 관점에서 상호 시스템적 접근방법을 통하여 위험관리할 것을 권고한다(ICAO, DoC 9859, 2013). 시스템적 사고와 이론을 바탕으로 한 접근방법은, 사고분석(Accident Analysis), 위해요소 분석(Hazard Analysis), 시스템 설계(System Design), 안전관리(Safe in Operations, Management of Safety-critical systems) 측면에서 효과적으로 사용되고 있으며, 이러한 접근방법은 복잡한 인간-시스템의 상호작용 측면을 고려하게 하게 된다(Leveson, 2003; Hollnagel and Woods, 2005).

시스템적 접근방법은 안전프로그램을 설계하고 개발하는 단계와 시스템에서의 운영간 통합적 관리를 필요로 한다. 따라서, 본 연구에서는 시스템 설계관점과 운영관점에서 항공안전을 위한 인간공학적 대응현황에 대해서 항공분야 운영경험 관점에서 고찰하고자 한다.

2. Design Issues for Human Factors

시스템을 설계하는 관점에서의 인간공학은, 시스템과 관계하는 Human Factors 요소의 특성을 고려하여, 시스템 안에서 인간과 기계와의 합리성을 발견해 가는 과정이다(Robertson et al., 1990). HMI (Human Machine Interaction) 관점에서의 Human Factors 특성은 정보의 입력, 출력, 정보 처리되는 과정에서 상호작용(Interaction) 및 의사소통(Communication) 가운데서 나타나는 것이다. 일반적으로 항공기 Cockpit을 설계하거나, 조종과 관련된 보조도구를 개발할 때 Human Factors를 고려한다.

한편, 항공기의 감항성(Airworthiness)은 비행안전성의 인증에 대한 내용으로써, 항공기 체계의 개발, 설계, 운영 그리고 폐기 등 전 수명주기(Life Cycle) 동안 운영범위 내에서 비행안전에 적합하도록 하는 것이다. 이러한 감항성을 유지, 보증하는데 있어서 인간공학(Human Factors Engineering)은 하나의 중요한 기준으로 작용하고 있다(FAA, Part 21, 2017; Purton and Kourousis, 2014).

본 논문에서는 항공기 설계분야에서 가장 이슈화 되고 있는 조종실(Cockpit), 자동화(Automation), 안전시스템 기술 관련 Human Factors를 고찰해 본다.

2.1 Cockpit

항공기 조종실(Cockpit)은 조종사와 항공기간 긴밀한 상호작용이 이루어지는 대표적인 HMI 영역으로, 설계시 인간성능과 특성이 반영되어 조종 편의성과 비행안전성을 도모할 수 있다. 대표적인 설계의 예로 조종장치, 표시장치, 조종실 공간 등이다. FAA의 Human Factors 설계 표준(HF-STD-001B) 및 DoD의 MIL-STD (1472D)를 고찰해보면, Displays and Printers, Controls and Visual Indicators, Alarms, Audio, and Voice Communications, CHI (Computer-Human Interface), Keyboards and Input Devices, Workstation and Workplace Design 등 세부설계 기준의 대부분이 조종실 관련 설계요소로써, Cockpit은 Human Factors가 가장 많이 적용되어 있는 공간이다(FAA, HF-STD-001B, 2016; DoD, MIL-STD-1472F, 1999). 조종사 및 승무원의 인적요소 특성에 적합한 Cockpit 공간설계를 위해서는, 공간설계 요소의 체계적 추출, 계층적 구조 설정과 공간설계에 적용될 인체측정 요소의 분석(사용대상 인체측정 DB의 설계제원 간 연관관계 분석) 등을 통하여 객관화한다. 항

공기 Cockpit 설계에서 있어서 개발 초기단계에서 가상인체모델을 이용한 시뮬레이션(Digital Human Model Simulation)을 적용하게 되면 객관적이고 효율적인 인간공학적 평가를 가능하게 한다. 한국형 고정익 및 회전익 항공기 설계시에도 관련 모델링을 활용하였으며, 한국 조종사의 신체치수와 신체부하 평가방법이 고려되고 있다(Lee et al., 1993; Jung et al., 2010; Jung et al., 2008; Lee and Song, 2002).

Cockpit 내에서의 정보 Interaction은 주로 조종사의 시·청각형태 정보가 대부분이다. 고전적인 설계개념으로써 시각정보는 항공기 자세, 속도, 방향, 결함 정보 등 항공기의 상태에 관한 것이며, 청각정보는 비정상상황에 대한 경고로 주로 사용되며, 그리고 Critical한 정보는 시청각을 동시에 사용하는 경우도 있다. 그러나, 안전한 운항과 임무완수를 위해 비행 중 조종사에게 요구되는 작업부담(Workload)의 증가와 이로 인한 극심한 스트레스와 피로로 집중력이 저하될 수 있다(Self et al., 2008). 실제로 관련 항공사고사례가 많이 나타난다. 따라서, 기존의 시각과 청각 형태에 의존한 고전적 방식의 조종사 Interaction 설계는 Human Error 방지에 대한 한계가 존재하고 있는 것이 사실이다(Van Erp and Van Veen, 2004). 따라서, 항공안전분야에서는 정보전달과정에서 Human Error를 방지하기 위한 방안으로 새로운 정보전달 형태인 Haptic Interface에 대해서 활발히 논의되고 있다(Self et al., 2008).

Haptic Interface는 안전정보 전달을 위해서 사용자의 신체 모든 부위(손, 피부, 몸통, 발 등)를 통해 전달될 수 있는 특징이 있다(Iwata, 2008). 이러한 특징은 정보를 개인화 시킬 수 있고 중요한 정보에 대하여 정보의 과부하 현상을 방지하고 정보를 보다 직접적·필수적으로 전달할 수 있는 장점을 가지고 있다. 예로써, 미 육군 헬기 조종사들에게 비행방향 정보나 적 미사일 위협 정보를 Haptic Interface로 전달하는 Tactile Torso Display (TTD), 미 공군 전투기 조종사들의 SD 방지를 위한 SORD (Spatial Orientation Retention Device) 등이 있다(Ercoline and McKinley, 2008). 국내의 항공인간공학 관련 Haptic 관련 연구는 가이드라인의 도출(Lee and Kim, 2010)과 Haptic Interface 설계와 평가에 대한 연구가 진행 중이다(Ko et al., 2017). 실제적으로 Cockpit의 Human Factors Limitation과 관련된 이러한 Haptic 기술은 비행사고를 예방하기 위한 GPWS (Ground Proximity Warning System)과 연계한 햅틱 비행보조시스템 개발, 계기 접근시 DH (DecisionHeight)에서 Minimum Altitude 정보에 대한 경고시스템으로써 Haptic Interface을 활용, 그리고 공중 기동시 G limitation 정보로 Haptic 보조시스템 활용 등이 있다.

항공기 Cockpit의 경우, 사용목적과 사용자의 요구에 따라서 설계 및 개발시 적용되는 요구사항이 다양하다(Kim et al., 2006; Lee et al., 2005). 그렇기 때문에 Cockpit 설계시 항공안전을 위한 관련 인간공학적 해결방안을 맞춤형으로 마련하는 것이 중요하다.

2.2 Automation

디지털 조종석은 대형항공기에서부터 소형항공기까지 최근 개발되는 대부분의 항공기에서 채택되어 장착되는 추세이다(Song et al., 2009). 조종석의 자동화(Flight Deck Automation)는 조종사가 수행해야 하는 임무 혹은 한 부분(절차)를 선택에 따라서 적절히 할당하는 것이다(ICAO, Circular Human Factors Digest No 5). 자동화의 수준은 의사결정 수준을 고려하여 결정한다(Sheridan and Verplank, 1978; Parasuraman et al., 2000).

항공안전 관점에서 자동화는 Human Errors 감소, 인간 조작능력 향상, 승무원 업무부하 및 피로도 감소, 인간의 능력을 넘어서는 기능의 수행, 운항능력 향상, 관리통제능력 증대, 그리고 단순한 업무 감소 등의 이점을 가져올 것이라고 예측하였다(Wiener, 1988). 그러나 SAE (Society of Automotive Engineering)의 인간행동과학위원회(Human Behavior Technology Committee, G-10)에서 발표된 항공안전과 관련된 자동화 문제는 상황인식의 상실, 시스템 이해 부족, 부적절한 인터페이스 설계로 통한 위험상황 발생, 조종사의 수동비행(조작)에 대한 부담감, 조종사의 자동화 시스템 사용에 대한 수동적 자세, 조종사간 협조체제의 변화에 따른 문제발생, 만족도 저하와 동기부여 결여, 그리고 과신 등으로 여전히 자동화 적용에 대한 안전문제는 남아있다(FAA, 1996; Walker et al., 2015).

실제적으로 최근 이슈가 되는 우리나라 국적 항공사의 항공사고(2013. 7. 6.)의 경우, 자동화의 문제가 조종사 Error와 함께 주원인으로 지목되었는데, 그 항공사고의 주원인은 자동 비행시스템과 자동속도 조절장치에 대한 조종사 훈련부족으로써 취급오류에 의한 것으로 나타났다(NTSB, 2014). 즉, 자동시스템에 의한 시스템 복잡성이 사고의 주요원인이며, 조종사들이 자동화시스템에 대한 지나친 의존이 유발원인이었다. 사고 직후 FAA 등 국제항공기구와 전문가 그룹에서는 자동화에 대한 대응방안으로 Table 1과 같이 관련 18개의 권고사항을 제기하였다(FAA, PARC/CAST Flight Deck Automation WG, 2013).

Table 1. Countermeasures against Flight Automation (FAA Flight Deck Automation WG, 2013)

	Recommendation	Comment
1	Manual Flight Operations	Pilots Should be Equipped with Manual Flight Operating Abilities
2	Autoflight Mode Awareness.	Enhance Autoflight Mode Awareness
3	Information Automation.	Provide Information on Automation EFBs (Electronic Flight Bags)
4	FMS (Flight Management System) Documentation, Design, Training, and Procedures for Operational Use.	Develop and Apply New Operation Procedures
5	Verification and Validation for Equipment Design.	Thoroughly Verify and Validate the Integrated System
6	Flight Deck System Design.	Apply a Human-Centered Designing Process
7	Guidance for Flightcrew Procedures for Malfunctions.	Devise Contingency Measures for Malfunctions During Emergencies
8	Design of Flightcrew Procedures.	Complement Emergency Procedures
9	Operational Policy for Flight Path Management.	Apply an Articulate Flight Path Policy
10	Pilot-Air Traffic Communication and Coordination.	Ease the Communication and Coordination Between Pilots and Air Traffic Controllers
11	Airspace Procedure Design.	Design a PBN (Performance Based Navigation) Standard Procedure
12	Flight Deck Design Process and Resources.	Utilize Experts in Human Factors in Designing Flight Deck and Equipment
13	Pilot Training and Qualification.	Strengthen the Pilot Training and Qualification Process
14	Instructor/Evaluator Training and Qualification.	Strengthen the Instructor/Evaluator Training and Qualification Process
15	Regulatory Process and Guidance for Aircraft Certification and Operational Approvals.	Strengthen the Requirements for Aircraft Certification and Operational Approvals
16	Flight Deck Equipment Standardization.	Standardize the Interface in Designing Flight Deck Equipment
17	Monitor Implementation of New Operations and New Technologies.	Monitor Operational Data in Implementing New Systems (Operations and Technologies)
18	Methods and Recommended Practices for Data Collection, Analysis and Event Investigation That Address Human Performance and Underlying Factors.	Share Safety Information Through the Collection and Analysis of Mishaps · Incidents/Safety Events/Operational Data

적절하지 않은 자동화 적용은 오히려 조종사에게 수동조작능력과 자동모드에 대한 더욱더 많은 이해도를 요구한다. 이는 조종사 및 교관/평가자의 교육훈련 프로그램과 자격요건의 강화를 가져오게 된다. 자동화에 의해서 조종, 관제 측면에서 추가되는 내용은 새로운 부가시스템(EFBs, Electronic Flight Bags 등)의 사용, 운영절차의 개발, 비상전략 및 비상절차의 보완, PBN (Performance Based Navigation) 표준절차 등이다. 그렇기 때문에 무엇보다도 항공기 안전성 인증 측면에서 설계시 Human Factors 검증 및 보증 능력이 요구된다. 불행하게도, 우리나라의 경우는 자동화 적용에 따른 운영 측면의 절차 개선적용, 훈련 및 자격 요건 설정, 사고 · 사건, 안전이벤트 정보 및 운영 data의 수집 및 분석을 통한 안전정보 공유 등의 활동을 실시하고 있으나, 항공분야 자동화의 Human Factors 관점의 설계 측면에서는 관련 연구와 적용이 부족한 상황이다.

2.3 Safety system technology design

안전시스템 기술은 인적요인의 한계성을 극복하게 도와주는 시스템 즉, 조종사가 인지하지 못하거나, 에러를 범했을 경우, 이를 극복할 수 있도록 시스템을 지원한다거나 안전한 상황으로 회복할 수 있도록 하는 시스템 기술이다. 대표적인 기술로서, HUMS (Health Usage Monitoring System), HITS (Highway in the Sky), TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System), ANTI-CFIT (Controlled Flight into Terrain) 등이 있다.

HUMS는 고장진단 및 처리기술로써 인간이 판단하기 어려운 고장정보를 고장을 조기에 진단하고, 고장의 영향을 최소화하거나 격리시키는 기술이다(Staszewski et al., 2004). HITS는 인간의 시각정보를 활성화하는 것으로써, 지리정보와 항공기의 위치, 자세, 방위각 등을 조합하여 표시해 주는 SVD (Synthetic Vision Display, 합성시현기술)과 저시정 또는 야간에도 영상을 확보할 수 있는 HUD (Head Up Display), NVIS (Night Vision Imaging System) 시스템과 같은 EVD (Enhanced Vision Display) 기술의 조합이다(ICAO, Annex 14; RTCA DO-315B, 2012). TCAS는 충돌회피 기술로써, 많은 항적으로 인한 높아진 공중충돌의 위험도를 낮추기 위해 적용한 시스템이다. 차세대 항행시스템기술 중 하나인 ADS-B (Automatic Dependent Surveillance System)을 사용하기 시작한 단계이다(FAA, AC 20-151B, 2014). 항공기 사고 중 심각도가 높아 주의 깊게 관리해야 할 것은 CFIT 관련 사고이다(Shappell and Wiegmann, 1998; FAA, 2000). Anti-CFIT 시스템은 CFIT의 주된 인적요인으로 작용하는 SD (Spatial Disorientation, 비행착각), 높은 중력 가속도(G-Force)에 의한 의식 상실(Gravity-induced Loss Of Consciousness. G-LOC)과 항공기의 실속(deep stall)으로 인한 조종력 상실 상황에 대해서 대응하기 위한 시스템이다. 대표적으로 AFTI (Advanced Fighter Technology Integration) 개발 프로그램의 GCAS (Ground Collision Avoidance System)와 PARS (Pilot Activated Recovery System)와 같은 자동 회복시스템이 있다(Kim, 2012; Kim and Hwang, 2011). 또한, 전투기의 경우 중력가속도의 보호장비의 개발로 임무를 안전하게 수행할 수 있도록 한다. 대표적으로 Anti-G Suit, Combat Edge, 눕힘형 좌석 등이 있다. Anti-G Suit는 피가 고일 수 있는 공간을 줄여 다리와 복부근육이 역학적 저항 역할을 하게 하여 G에 대응한다. Combat Edge와 눕힘형 좌석 또한 G Endurance를 증가시키는데 도움을 주지만, 보조도구에 불과하며, 현재까지 가장 효과적인 것은 AGSM (Anti-G Straining Maneuver)으로서 장비활용과 더불어 효과적 교육훈련이 되어야 한다(Newman, 2014).

이상으로 설계관점에서 적용되고 있는 인간공학 현황에 대해서 고찰해 보았는데, 현재 우리나라에서는 항공기와 안전시스템 기술 설계에서 있어서 Human Factors를 고려한 기술적용과 국내주도형 연구가 부족한 상황이다.

3. System Operation Process Issues for Human Factors

국제항공분야에서의 Human Factors는 대부분이 운영관점에서 다루어져왔다. Table 2의 ICAO Human Factors Digests에 의하면 No 6 (Ergonomics)를 제외하고는 Human Factors는 운영관점에서 주로 관리되어 오고 있다.

Table 2. CAO human factors digests

	Number	Contents
1	No 1	Fundamental human factors concepts
2	No 2	CRM & LOFT
3	No 3	Training of operational personnel in human factors
4	No 5	Operational implications of automation advanced technology flight decks
5	No 6	Ergonomics
6	No 7	Investigation of human factors in accidents and incidents
7	No 8	Human factors in air traffic control
8	No 10	Human factors, management and organization

Table 2. CAO human factors digests (Continued)

	Number	Contents
9	No 11	Human factors in CNS/ATM systems
10	No 12	Human factors in aircraft maintenance and inspection
11	No 15	Human factors in cabin safety
12	No 16	Cross-cultural factors in aviation safety

관제그룹인 Eurocontrol의 Human Factors의 이슈를 살펴보면, Controller Working Position, Critical Incident Stress Management, Human Errors, Task Analysis, Team Resource Management, Staffing and Recruitment 등으로 운영관점에서 주로 다루어지고 있다(Eurocontrol, 2010). 본 논문에서는 항공조직의 안전운영을 위한 Human Factors의 주된 이슈인 항공분야 종사자의 선발 및 훈련, Human Factors 교육, CRM/TEM 교육, 안전관리 프로그램 등을 고찰해 본다.

3.1 Selection and training

I, II차 세계대전을 경험하고 나서, 생존성 관점에서 조종사 등 항공 전문인력에 대한 선발 및 훈련의 중요성을 깨닫게 되었다. 조종사를 양성하기 위해서는 오랜 훈련기간과 관련 비용이 소요되기 때문에 비용절감과 교육훈련의 고도화를 위해서 관련 대응 연구들이 요구된다. 이와 같은 이유로 항공조직에서는 과학적인 방법과 제도를 통하여 조종업무에 업무적합성이 뛰어난 사람을 선발하고 훈련하는 방법을 개발·적용하는 추세이다(Wiener, 1988). 현시대는 항공기 체계의 비약적인 발전과 임무 수행환경 변화로 과거에 비해서 항공기를 운영하는 조종사에게 필요한 기술 요구수준이 증대되고 있고, Human Function이 변화되고 있다. 그렇기 때문에 더욱 관련 기술개발이 중요하다.

조종사의 선발은 조종업무 적성을 고려하는데, 대표적인 진단도구는 미 공군의 PCSM (Pilot Candidate Selection Method)이다(ROKAF Academy, 2010). PSCM에는 지필검사인 AFOQT (Air Force Officer Qualification Test)와 컴퓨터 베이스 적성평가인 TBAS (Test of Basic Aviation Skills)과 실제 비행평가 3개로 구성되어 있다. 그 밖에 미해군 ASTB (Aviation Selection Test Battery), 캐나다 CAPSS (Canadian Automated Pilot Selection System) 등이 있다. 한국공군의 경우는 미공군의 AFOQT를 개선한 AFOQT-OForm을 적용하는데, 수표해독, 전기미로, 척도판독, 기계원리, 계기판독, 항공정보 등의 검사항목으로 순발력, 판단력, 지각 정확성, 수 추리력, 응용계산력, 기계원리이해, 공간지각, 항공지식 이해 등을 검사하며, 모의비행검사(PARE, Pilot Aptitude Research Equipment)를 병행하여 활용한다(ROKAF Academy, 2011). 대부분의 민간항공사는 선발과정 중 심리 및 인성검사로 대신하고, 적성검사를 따로 실시하고 있지 않는 경향이 있다. 일부 항공사의 경우 전문기관에 의뢰하여 적성검사를 실시하고 있으나 대부분은 참고자료로 활용한다. 민간항공사는 채용시 조종사 면장(운송 사업자)자격증을 취득한 자를 대상으로 하여 실제 비행훈련 중 비행평가에 의거하여 최종 선발한다. ICAO에서는 민간항공 조종사 및 항공관련 요원들의 훈련 프로그램에 대해서 기준을 설정하고 있다(ICAO, Annex 1).

조종사 이외의 항공업무 종사자의 선발에 대하여 살펴보면, 관제사는 국제항공관련 기관에서 항공교통관제사 선발에 필요한 적성검사의 기본적 지침을 제공하고 있으며, 대표적인 선발 및 훈련 프로그램인 AT-SAT (Air Traffic Selection and Training)가 있다(Sinclair and Seiler, 2012; King et al., 2007). 통상적으로 관제사의 선발과정에서 항공교통영어능력 평가를 포함한다. 향후 항공교통관제시스템이 지속적으로 개선되기 때문에, 관제사의 선발 및 훈련관련 연구는 더욱 활발하게 진행될 것으로 판단된다(Yonsei University, 2010).

정비사는 자격면허시험인 정비사 면장시험을 취득하고 실무경험이 있는 경우에 관련 업무에 종사할 수 있다. 정비사의 자격면허시험에는 Human Factors 과목이 module 중 하나이다(EASA, Part 66, 2017).

최근 무인항공기의 발전추세는 놀라운 정도이다. 발전추세와 더불어 사고율도 높게 나타나는데, 무인항공기 국내사고를 고찰하면 90% 이상이 Human Factors로 나타나기 때문에 무인항공기 조종사의 자격 및 교육훈련 기준에 Human Factors 관련 기본적 지식이 포함되어야 할 것이다(MOLT, 2012). ICAO (2012)에서는 무인기 조종사를 위한 교육훈련 항목으로 항공법 및 비행지식과 Human Factors를 이론적

지식으로 갖추길 권고하며, 인지, 위협 및 오류관리 등의 Human Performance 관련의 안전 Skill을 갖추길 권고한다.

3.2 Education on human factors

ICAO에서는 Human Factors에 의한 사고를 예방하기 위해서 각 항공기관(업체, 비행훈련기관 등)이 전문교육기관으로부터 Human Factors 교육받기를 권고한다. ICAO에서 권장하는 Human Factors 교육 Contents는 다음과 같다(ICAO, Doc 9683, 1983). Human Factors 소개 Module은 일반론으로써, Human Factors 정의와 이해, Human Factors 교육 목적, 항공분야 Human Factors 관리모델 등에 대한 내용이 포함된다. 항공생리 Module은 호흡 영향(저산소증, 과다환기증), 기압 영향(감압증), 감각기관의 한계(시각, 청각, 촉각, 전정의, 자기 감수체 등), 가속효과(G-Force), 방향감각상실(비행착각, SD: Spatial Disorientation), 피로, 수면, Circadian Rhythm 등의 내용이 포함된다. 항공심리 Module은 Human Errors, 주의와 정보처리, 태도, 지각과 상황인식, 판단과 의사결정, 그리고 스트레스 영향 등에 대한 내용이 포함된다. 직무적합성 Module은 개인 건강, 업무영향 요인(결식, 영양, 알코올, 니코틴, 카페인, 약물, 연령, 성별), 심리적/육체적 적합성(피로, 스트레스 적응력) 등이 내용이 포함된다(Kim, 2009). SHELL 모델의 상호 Interaction 관련 내용으로써(ICAO, Human Factors Digest No 7; Hawkins and Orlady, 1993), L-H Module은 인간공학적 설계시스템(경고시스템 등), 상황인식/의사결정/작업부하 관련 내용이며, L-S Module은 표준운용절차(SOP), 지도와 Chart, 자동화 운용 등에 대한 내용이며, L-L Module은 운항승무원, 객실승무원, 정비사, 운항관리사, 회사관리자, 항공교통관제사, 탑승자간 의사소통 관련 대화/관찰/리더십/문제해결능력 등의 내용이며, 마지막으로 L-E Module은 항공운항중 물리적 환경(온/습도, 기압, 소음, 진동, 조명, 복사, 오염물질 등), 항공기 밖의 물리적 환경(장애물, 기상, 다른 항공기, 공항, 시간, 이착륙 조건 등), 사회경제적 환경(법, 경제분위기 등) 등에 대한 내용이 포함된다.

항공분야는 Human Factors의 중요성을 인식하여 관련 자격시험에 관련 내용을 포함하고 있으며, 전문교육기관을 두어서 관련 내용을 교육하게 하고 있다. 우리나라에서도 ICAO 기준의 국토교통부가 인가 Human Factors 과정을 공군 항공안전단, 교통안전공단, 항공대학교 항공안전교육원에서 교육하고 있다(Korea Aviation Education and Training Portal).

3.3 CRM/TEM

지난 수십 년 동안 항공분야의 안전관리 측면에서 획기적인 안전프로그램은 승무원 자원관리 프로그램(CRM/TEM)이며, 그 효과성 때문에 ICAO는 관련 프로그램을 항공조직에서 운영할 것을 규정하고 있다(ICAO, Annex 6). CRM/TEM 프로그램은 대표적인 Human Factors 훈련으로써, 안전하고 성공적인 비행임무 완수를 위해 비행상황에서 승무원들이 모든 가용자원(의사결정, 상황판단, 리더십, 팀워크 및 의사소통 등)을 효과적으로 사용하도록 교육 및 훈련시키는 프로그램이다(ICAO, Human Factors Digest No 2; FAA, DOT/FAA/FA-88/1, 1988). 현재는 6세대 CRM인 TEM (Threat and Error Management)로 발전하여, Error의 회피, Threat과 Error의 관리, 비정상적인 항공기 상태(Undesired A/C State)의 관리에 중점을 두고 있다.

CRM은 1979년 UA (United Airlines) 항공사 DC-8 항공기의 포틀랜드 추락사고가 계기가 되어 1981년 도입된 이후, 수십 년을 거치면서 발전되어 왔는데, 항공업계의 변화에 따라 여러 단계에 걸쳐 진화하였다(FAA, AC 120-51E, 2004). 최초 Cockpit Resource Management ('81~)은 조종석 내 절차확인 강조하는 프로그램으로 개발 및 적용되었고, Crew Resource Management ('86~)은 팀을 기반으로 한 행동을 강조하는 프로그램을 개선되었다. Advanced CRM ('86~)은 시스템 측면의 접근방법으로 진화하였고, Integrated CRM ('94~)은 통합 및 절차화 중심으로 개선 발전되었으며, Error Management ('96~) 관점의 CRM을 통해 인간의 능력한계 인정을 통한 Error 방지 프로그램으로 발전하였다. 현재는 Threat & Error Management ('03~) 관점에서 위험 및 Error 방지를 위한 대응책 중점의 프로그램으로 발전하고 있다(CAA, CAP 737, 2006; Wiener et al., 1993). CRM/TEM 교육은 미 공군뿐 아니라 민간항공 대부분이 관련 교육을 필수적으로 적용하고 있다(US AF, AT-M-06A, 1998; US AF, AFI 11-290, 2012; Cabera and Predmore, 1997; Yonsei University, 2011; Kim, 2010). 현재 CRM/TEM 교육은 LOFT (Line-Oriented Flight Training)를 통해 상황인식 훈련을 모의하여 실시하고 있다(CAA, CAP 720, 2002).

CRM/TEM이 최초 적용되던 시점은 조종사에 한정되어 적용되어 왔으나, 현재는 운항관제분야(ATC-CRM), 정비분야(MRM; Maintenance Resource Management)로 그 영역을 확대해 가고 있다(ICAO, A26-9, 2011). 미 공군과 FAA의 경우는 관제사 자격획득과 승급에 있어서 필수항목으로 CRM 교육에 관한 요건을 두고 있으며(US AF, AFI 11-290, 2012; US AF, AT-M-06A, 1998; US AFSC, 1c1x1, 2017; FAA, AC 120-51E, 2004), Eurocontrol은 TRM (Team Resource Management) 촉진자를 양성하여 관제시설에서 CRM 교육과 토론을 주관하고 있다

(Eurocontrol, 2015). 정비사의 경우는 CRM을 MRM (Maintenance Resource Management)으로 정비현장에 특화 적용하고 있다(FAA, AC 120-72, 2000; Driscoll, 1996). 미 공군 차원에서도 MRM 교육의 중요성을 인식하여 AF-MRM이라는 이름으로 Major Command (MAJCOM)의 감독 하에 이루어지고 있다. MRM 교육의 실제적인 효과는 정비 과정중 발생하는 에러요인(사고와 사건정보로부터 도출한 공통 에러: Dirty Dozen)의 도출을 통한 집중적 안전교육으로 Error 감소에 있다(Dupont, 1997).

3.4 Safety management program

현재 국제 항공조직 및 군 항공에서 적용하고 있는 SMS (Safety Management System)를 실질적으로 운용하기 위해서 안전관리 Tool이 많이 개발되어 있다(ICAO, DoC 9859, 2013; ICAO, Annex 19; Kim, 2011). 그 중 Human Factors를 관리하기 위한 대표적인 Tool로써는 HFACS (Human Factors Analysis and Classification System), MEDA (Maintenance Error Decision Aid), LOSA (Line Operations Safety Audits), NOSS (Normal Operations Safety Survey), FOQA (Flight Operation Quality Assurance) 그리고 FRMS (Fatigue Risk Management System)이 있다.

HFACS는 항공분야의 대표적인 사고 및 사례조사 기법으로써, 사고가 어떤 상황에서 발생하고 어떠한 영향요인에 의해 유발되는지 그 관련성을 밝혀 사고를 예방하는데 활용하는 Tool이다. 특히 Human Factors에 의한 사고가 대부분을 차지하는 항공분야에서는 Human Factors 분석 기법의 적용 및 체계화가 무엇보다도 중요하다. HFACS는 미 국방부 및 FAA에서 채택하여 사용하면서 항공조직의 대부분이 관련 Tool을 활용한다(Shappell and Wiegmann, 2000). HFACS는 비행분야에 특화되어 적용되고 있으며, 반면에 정비분야는 보잉사의 MEDA를 일반적으로 활용하고 있다(Allen and Marx, 1995).

LOSA는 정상적인 운항에서 안전정보인 위협(Threat)과 오류(Error)를 수집하는 안전도구이다(Klinect et al., 2003). LOSA는 기존 안전정보 수집도구의 한계를 보완하는 것으로써 정상적인 운항(비행)에서 실제 조종석에서의 일어나는 현상에 대해서 대응할 수 있게 하는 것이다. LOSA 데이터의 수집은 LOSA 훈련을 이수한 관찰자가 관찰자석에서 가급적 아무도 없는 것처럼 조용히 관찰하고, 위협과 오류관리 실태를 수치화하는 것이다. 관찰 데이터는 LOSA 실행기관인 TLC (LOSA Collaboration)로 자료가 전송되고, 참여 항공조직의 안전수준(강점과 약점) 분석결과를 파악하게 된다. 분석된 안전자료는 관리자들에게 제공되어 위험관리 및 오류의 개선 방향을 쉽게 설정하게 한다. 이러한 안전자료는 노사 간 합의에 따라 비밀로 유지되며, 안전정보로써 예방적 안전관리에만 사용된다. LOSA 데이터에는 자동비행 장치 Failure/Error, 조종사의 비행시 빈번하게 나타나는 조종사 Error와 Error 결과 등이 포함되기 때문에 LOSA의 효과는 시스템 오류의 수정과 새로운 CRM 훈련을 발전시키는데 공헌하는 등의 높은 효과가 있다. 그 효과성 때문에 FAA (AC 120-90, 2006)와 ICAO (Doc 9803, 2002) 등 국제항공기구에서는 안전관리 도구로서, 활용할 것을 권고하고 있다. LOSA 프로그램은 국제적으로 많은 나라의 항공조직이 적용하고 있으며, 우리나라의 경우도 여러 민간항공 조직이 관련 프로그램에 참여하고 있다(Choi et al., 2017). 군 분야의 경우도 미 공군에서도 채택 적용하고 있으며(US AF, AFI 91-225, 2015), 한국공군에서도 관련 프로그램에 참여 준비 중이다. LOSA 프로그램의 효과성 때문에 정비분야(M-LOSA)와 지상조업분야(R-LOSA)로 확장되어 시범 적용되고 있다(FAA, 2012).

NOSS는 대표적인 항공교통관제분야의 안전관리 도구이다. 정상적인 항공교통관제업무 수행 중에 발생하는 안전자료(정상운영 안전표본조사)를 TEM 기반으로 수집, 분석, 개선하는 활동이다(Henry, 2008). NOSS의 효과적 운영을 위해서는 NOSS 이행계획 수립 및 조직 구성(운영조직은 NOSS 업무담당자, 관찰자, 자료 분석자, NOSS 위원회), 교육 훈련된 전문 Observer 양성 및 자격관리, 자료 검증 및 분석절차 공정성 및 객관성 확보, 공정한 위원회 심의 등이 고려되어야 할 요소이다(Eurocontrol, 2015).

FOQA는 비행 중 발생되는 데이터를 근간으로 위험요소를 모니터링하는 안전관리 Tool로써, 과학화된 장비를 이용 비행자료를 수집하고 분석하여 안전정보를 생성한다. FOQA 적용의 이점은 잠재적인 안전저해요소의 확인이 가능하고, 항공기 사고예방에 기여한다. 즉, FOQA를 운영함으로써 사고로 이어질 수 있는 안전 Event 건수의 감소를 가져오며, 이로써 사고비용 절감(보험료 인하)을 이끌어 낼 수 있다. 실제적으로 FOQA는 조직의 안전시스템 개선에 기여하는데, 운영절차 개선과 조종사의 안전 마인드 변화 등의 안전증진 효과가 있다(Park, 2010). ICAO (Annex 6), FAA (AC 120-82, 2004)와 CAA (CAP 739, 2013) 등 국제항공기구에서 안전관리 도구로서, FOQA 활용을 규정하고 있다. 군 항공분야에서도 미 해군과 미 공군을 시작으로 관련 적용연구를 시작하였고, DoD에서는 Military-FOQA (M-FOQA) 정책 결정후 관련 프로그램을 도입 중이다(DoD, 2005; US AF, AFPD 90-13, 2008; US AF, AFI 90-1301, 2008). 한국공군에서는 일부 비행자료 분석을 실시하고 있지만, FOQA 기준에서 요구하는 모든 데이터를 분석·적용하고 있지는 않다.

FRMS는 국제항공기구에서 권고하는 조종사/승무원 피로관리로써 과학적이고 체계적인 비행시간의 설정을 통한 비행시간의 제한과 휴식시간 보장과 과학적 피로위험관리 프로그램이다. 피로는 비행사고를 유발하는 생리학적 요인 중 가장 높기 때문에(Craig, 2001), NTSB에서는 피로 대응을 '우선조치 항목'으로 규정하고 관리할 것을 권고하고 있다(Caldwell et al., 2009). 이러한 이유로 국내외 항공분야에서는 조종사 피로에 대한 관리방안에 대한 논의가 활발하게 진행되고 있다(ICAO, Annex 6; FAA, AC 120-103, 2010). FAA는 피로관리를 위해 체약국(항공조직)의 피로위험관리 계획(FRMP: Fatigue Risk Management Plan)을 설정하게 하는데, FRMP에는 조종사/승무원의 피로관리를 위한 조직 위원회, 피로관리 전략, 피로관련 보고(Reporting) 전략, 피로관련 사고/사건 보고 절차, 조종사/승무원의 피로 모니터링, 피로관련 교육훈련 및 Promotion, 그리고 FRMP 평가 프로그램 등의 요소로 구성되어 있다(FAA, 2010). FRMS의 적용은 비행시간과 휴식시간설정과 더불어 생리학적 데이터를 근거로 한 과학적 관리방안을 요구하는데, 조종사/승무원의 수면과 기상패턴, Circadian rhythm, 정신 각성도 평가 등의 심리, 생리적 데이터 기반 관리가 대표적이다(FAA, AC 120-103A, 2013; ICAO/IATA/IFALPA, 2012; Kim, 2013). 우리나라의 경우는 항공안전법과 동법 시행규칙 및 운항기술기준에서 피로관리 기준을 적용하고 있다(MOLT, Aviation Safety Law, 2017). 군 항공분야는 비행시간과 휴식시간을 보장하는 규정을 가지고 있으며, 기종별 비행시간을 제한하고 있다(US AF, AFI 11-202, 2016; US Navy, OPNAV Instruction 3710.7V, 2016; ROKAF, 2016; ROKAF, 2013). 또한 Operation Risk Management (ORM) 시스템에 피로관리 항목을 추가하여 관리하고 있다(US AF, 2014).

4. Discussion

시스템을 개발, 운영함에 있어서 설계와 운영요소의 통합적 관리는 필수적이다. 최신 성능의 항공기 개발 및 운영을 위해서는 설계시 운영현장에서 도출되었던 안전문제를 반드시 해결해야 한다. 특히, Human Factors 요인에 의한 항공사고가 많은 시점에서, 설계시 Human Factors를 고려한 안전시스템 기술의 적용은 반드시 필요하다(DoD, 1972). 그러나, 우리나라의 경우 공학적 안전관리 기술은 항공기 체계개발시 최우선적 고려사항이 아니며, 우선순위와 비용, 기술적 구현능력 등의 이유로 잘 채택되지 않는 경향이 있기 때문에 이러한 연구개발 풍토를 개선해야 할 것으로 판단된다. 또한 항공기 개발 및 도입 사업시 안전기술의 현황을 모니터링하고 기술적으로 검토할 수 있는 전문적 능력(특히, 비행안전성 인증(감항인증)에 대한 공학적 기술검토 능력)을 갖추어야 하겠다(DoD, 2005; FAA, Order 8130.2, 2015). FAA 등 항공관련 국제기구에서는 항공기 운영경험 자료를 설계개선 활동(Integrated System Hazard Analysis 등)과 비행안전성 인증을 위한 평가에 있어 효과적으로 활용하기 위해 통합 데이터베이스 구축을 권고하고 있다(FAA, 2000). 이런 운영경험 자료는 운영 신뢰성 자료, 사고조사 자료, Human Factors 분석 자료, SMS 기반의 안전프로그램 운영자료, 국가기관의 사고조사 분석자료, 항공사 엔지니어링 데이터베이스 등으로 항공기 설계 및 Interface 설계 개선에 활용할 수 있다(Koo, 2014).

항공 설계분야의 인간공학은 주로 Cockpit에 집중되어 연구되어 왔지만, 현재는 다양한 분야로 적용되고 있다. 항공기 사고는 치명적이기 때문에 설계관점에서 생존성을 고려할 수 밖에 없다. 과거에는 조종사의 생존성 관점에서 탈출계통과 구명계통의 연구개발 중심으로 진행되었는데, 최근에는 조종사 이외의 승무원이나 승객을 중심으로 사고시 충격방지 자세 정보에 대한 모델 적용과 객실 설계에 관한 연구들이 진행되고 있다(Yoo and Kim, 2015). 또한 무인기의 발전에 따라 지상통제소(GCS: Ground Control Station, 지상에서 무인항공기의 조종실 역할) 설계에서의 인간공학 적용이 이슈가 되고 있다(Valavanis and Vachtsevanos, 2014). GCS에서의 인간공학 적용은 지상통제시스템과 조종사, 무인기간 정보흐름의 통합에 주로 적용된다. 또한 Cockpit 내 새로운 디스플레이(Hong et al., 2010), HUD (Head-Up Display)와 관련 심벌적용 연구(Lee and Choi, 2014; DoD, 2001)와 보조도구 개발 연구로써 조종사용 마스크(Lee et al., 2011), 조종복(Jeon et al., 2011)의 인간공학적 적용 등이 있다.

항공분야 운영관점에서의 인간공학은 조종사, 관제사, 정비사 등 임무요원의 Human Error에 주로 초점이 맞추어져 있다. 조종사의 훈련의 경우도 Human Factors에 의한 사고예방을 위해 기존 조종사의 기량중심 훈련 및 심사 제도를 보완한, 개선 시뮬레이터 장비를 활용한 시나리오 중심의 훈련 평가개념인 AQP (Advanced Qualification Program)를 적용하고 있다(FAA, AC 120-54A, 2006). 국내에서도 기존 요구량 충족과 이벤트 중심의 훈련에서 실제적인 운항환경을 시뮬레이션한 시나리오 중심의 훈련평가 제도인 AQP를 도입 중에 있다(Yu et al., 2013). 군 항공의 경우, 민간항공분야 유사한 시스템으로 공군의 조종사 개인 자질관리 제도인 IPQC (Individual Pilot Quality Control)가 있다. IPQC는 조종사의 개인성격, 비행소질, 기량, 학술수준 등을 분석하여 취약점에 대해서 보완 훈련시키는 프로그램으로서 조종사 자질 향상과 사고 잠재요인을 사전에 대응할 수 있도록 하는 것이다(Yoon and Lee, 1999). 그렇지만, 항공안전을 위해서는 항공분야에 종사하는 조종사, 관제사, 정비사 등에게 요구되는 주요능력은 근무·직무 적성 이외에도 Human Factors의 기본지식과 CRM (Crew Resource Management)/TEM (Threat and Error Management) 즉, 의사소통, 의사결정, 계획능력, 시간배분, 상황인식 등의 능력, 안정성 및 위험민

감성 등의 성격 및 태도, 안전추구 및 직업적 사명의식 등의 가치관 등이 있다.

Human Factors 교육에서 가장 고려해야 하는 것은 비행환경에서의 Human Factors 이해이다. 항공기 중 사고 원인 중 상당히 많이 차지하는 요인은 3차원 공간에서의 비행착각(SD: Spatial Disorientation)이며, 비행착각은 항공사고를 유발할 잠재적 위험요인 중 가장 높다. 비행착각은 인간의 대표적인 능력한계 현상으로 Coliolis(전향성 착각: 지구의 자전으로 비행중인 물체에 미치는 편향의 힘), Blackhole Approach(어두운 곳에서 제한적 광원에서 비행시 착각현상), Leans(경사착오), False Horizon(허위수평선 착각), Nystagmus(안구 진탕증: 회전운동 중지 시 안구가 좌우로 빠르게 움직이는 현상), 활주로 폭 착각(익숙하지 않은 제원의 활주로에 착륙시 고도 및 고도착각 등) 등이 있다. 비행착각은 누구나 경험할 수 있기 때문에 실제적으로 시뮬레이터에서 비행착각 현상을 미리 경험하고 이를 극복하는 훈련과 관련 상황을 묘사할 수 있는 시스템 개발이 필요하다(Um, 1999). 다음의 비행환경은 가속도(G)에 대한 내용인데, High-G에 노출되어 있는 비행환경에서 이를 대응하기 위해서는 과학화 체력훈련이 반드시 필요하다. 대표적인 훈련은 G내성훈련이며, 이는 G압박 상황 하에 시야, 의식 및 효율적인 임무 수행력을 유지하는 능력이나 자질을 가질 수 있도록 하는 것으로서, G발생 예상, G억제 행동(AGSM: Anti-G Straining Maneuver)의 효율성, G발생시 생리적, 심리적 특성 등에 대한 인식과 훈련이다(Kim et al., 2004). 또한 비행사고 예방을 위해서 중요한 요소로써 비상상황 하의 심리훈련을 들 수 있다. 비행환경에서의 비상상황시 심리훈련은 항공기의 예상치 못한 결함에 대비한 처지능력 향상훈련으로써 사고사례의 묘사와 이를 대처하는 체계적 안전교육 프로그램이다.

CRM/TEM 교육이 조종, 관제, 정비 등 분야에서 직무특성에 맞게 활발히 적용되어 왔지만, 임무 요원간, 예를 들어 조종사와 객실승무원간, 조종사와 관제사간, 조종사와 정비사간 등, J-CRM (Joint CRM)으로 더욱 발전해야 하겠다. FAA 규정에 따라 각 항공조직은 조종사와 객실승무원 간 J-CRM 교육을 필수적으로 이수해야 한다(FAA, FAR 121.404, 2011; Bae, 2002). J-CRM 교육은 다른 분야의 임무요원간의 통합교육으로서, 비행안전 이라는 같은 목표를 가진 임무 파트너로써의 인식공유, 효율적이고 협조적인 임무환경 조성, 그리고 상호간 업무이해 증진으로 비행 상황에서의 원활하고 적절한 의사소통의 효과를 나타낼 수 있기 때문에 구성원간 J-CRM은 중요하다. 현재 한국공군에서 시행 중인 조종사와 관제사/통제사간 J-CRM의 교육은 교육에 참가한 조종사와 관제사/통제사들에게 대체로 긍정적인 평가를 받고 있다(Kim and Cho, 2013).

실제적으로 항공분야에서 SMS 운영 중 적용하는 안전관리 프로그램은 CRM/TEM 훈련을 발전시키는데 공헌하며 높은 효과를 거두고 있다. 이러한 안전관리 프로그램은 조직의 특성에 맞추어서 적용되고 있는데, HFACS와 MEDA 같은 사고·사례 조사 Tool의 경우는 국내의 경우도 공군의 경우 사고조사 및 결과 DB로 활용하고 있으며, 일부 민간항공의 경우는 각종 안전 Event를 대상으로 Human Error 특성 및 형태를 추적 관리하고 있다(Korean Air, 2009).

항공분야는 정상적인 운영상황(비행, 관제, 정비 등)에서의 인간한계, Error에 의한 위협상황을 대응하기 위한 노력을 하고 있다. LOSA의 경우, 자발적 조종사 참여, 일상 운항시 적용, 관찰된 자료의 익명성 보장 및 비밀유지, 그리고 관찰내용이 분석된 결과보고서를 조직 내 다른 안전관리 도구를 함께 사용하여 통합적으로 운영하여야 하는 것이 수행시 고려사항이다(Choi and Kim, 2010). NOSS와 FOQA의 경우도 LOSA와 동일하게 일상 운영상황(운항, 관제 등)에서 적용하는 것으로써 자발적 종사자 참여, 자료의 익명성, 비밀보장 등이 원칙적으로 제공되고 있다. 이러한 접근방법은 Resilience Engineering 안전접근 방식으로 새로운 안전 패러다임이다(Hollnagel et al., 2006). LOSA와 FOQA 데이터의 경우, Event 발생시 조사내용은 일체 비밀로 관리하는 것이 필요하며, 그렇기 위해서는 분석기관의 독립성과 권한을 보장하여야 한다. 이러한 LOSA와 FOQA 등의 안전관리 프로그램 결과는 CRM/TEM 등의 안전교육과정과 연계하여 활용하여야 한다. 군 항공분야의 경우 Military-LOSA와 Military-FOQA를 적용하는데 있어서 민간 항공분야의 적용에 비해 많은 고려요소와 제약점이 따르기 때문에, 군 항공의 운영목적에 맞는 운영 방안을 모색하는 것이 필요하다.

최근 항공분야 이슈인 승무원 피로관리는 시스템적으로 관리되어야 할 것이다. 피로관련 사고나 사례발생시 안전조사에서 승무원의 피로(Fatigue) 관련 요인, 즉 피로의 생리학적 영향을 필수적으로 조사하고 있다(Marcus and Rosekind, 2017). 이러한 피로 관련 안전조사를 근거로 하여 피로와 스트레스에 대응하기 위한 대처기술과 관련 시스템(FRMS)을 개발, 적용해야 할 것이다. FRMS은 비행시간과 휴식시간 설정과 더불어 생리학적 데이터를 근거로 한 과학적 관리방안이 요구되기 때문에 많은 항공기관에서 피로관리에 대한 과학적 방안에 대한 적절성을 연구개발 중이다(Hursh et al., 2004; FAA, AC 120-103A, 2013).

이상으로, 항공안전을 위한 인간공학적 접근방법과 현황에 대해서 고찰해 보았다. 현재 항공분야에서는 임무요원의 Error 관리를 위한 많

은 안전기술과 모니터링 기술, 그리고 안전 프로그램 등이 개발되고 있다. 이러한 프로그램은 시스템 설계관점과 운영관점에서 운영 간 통합적 관리가 필수적이다.

References

Allen, J. and Marx, D., Maintenance error decision aid project (MEDA), Proceedings of the Eight Conference on Human Factors in Aircraft Maintenance and Inspection, (pp.101-115). FAA Office of Aviation Medicine, Washington, D.C, 1995.

Bae, B.H., Joint-CRM Trend and Development Direction, KOTI, Transportation, 58, 6-14, 2002.

CAA, CAP 720, Flight Crew Training: Cockpit Resource Management (CRM) and line-oriented flight training (LOFT), 2002.

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

CAA, CAP 739, Flight Operation Quality Assurance (FOQA), 2013.

Cabera, L. and Predmore, S., Internal document. Team resource Management, Delta Airlines, 1997.

Caldwell, J.A., Mallis, M.M., Caldwell, J.L., Paul, M.A., Miller, J.C. and Neri, D.F., Fatigue Countermeasures in Aviation, *Aviation Space Environment Medicine*, 80(1), 29-59, 2009.

Choi, J.G., Kim, D.H. and Choi, Y.C., Safety Change Process with LOSA, *Spring Conference Proceedings of the Korean Society for Aviation & Aeronautics*, 90-92, 2017.

Choi, J.K. and Kim, C.Y., A Study of the Threats towards the Flight Crew, *Journal of the Korean Society for Aviation & Aeronautics*, 18(2), 54-59, 2010.

Craig, P.A., The Kiliing zone: how and why pilots die, McGraw-Hill, 2001.

DoD, Military Flight Operations Quality Assurance (MFOQA) Process Implementation, 2005.

DoD, MIL-STD-1472F, Human Engineering Design Criteria for Military System, 1999.

DoD, MIL-STD-1787C, Military Interface Standard Aircraft Display Symbology, 2001.

DoD, MIL-STD-516B, Airworthiness Certification Criteria, 2005.

DoD, MIL-STD-721B, Definition of Effectiveness Terms for Reliability, Maintainability, Human Factors and Safety, 1972.

Driscoll, D., Maintenance Resource Management Training Program, Faces and Places, US Airways, Quality Assurance, Pittsburgh, PA, 1996.

Dupont, G., The Dirty Dozen Errors in Maintenance, In Meeting Proceedings of the Eleventh FAA Meeting on Human Factors Issues in Aircraft Maintenance and Inspection FAA Office of Aviation Medicine, Washington, D.C., 1997.

EASA, Annual Safety Review, 2016.

EASA, Part 66, License, 2017.

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

Eurocontrol, Eurocontrol Guidelines for TRM Good Practices, 2015.

Eurocontrol, Human Performance in Air Traffic Management Safety a White paper, Eurocontrol/FAA Action Plan 15 Safety, 2010.

FAA, AC 120-103, FRMS for aviation safety, Technical report, 2010.

FAA, AC 120-103A, Fatigue Risk Management Systems for Aviation Safety, 2013.

FAA, AC 120-51E, Crew Resource Management Training, 2004.

FAA, AC 120-54A, Advanced Qualification Program, 2006.

FAA, AC 120-72, Maintenance resource management training, 2000.

FAA, AC 120-82, Flight Operation Quality Assurance (FOQA), 2004.

FAA, AC 120-90, Line Operations Safety Audits (LOSA), 2006.

FAA, AC 20-151B, Airworthiness Approval of Traffic Alert and Collision Avoidance Systems (TCAS II), Versions 7.0 & 7.1 and Associated Mode S Transponders, 2014.

FAA, DOT/FAA/AM-12/9, Implementation guideline for Maintenance Line Operations Safety Assessment (M-LOSA) and Ramp LOSA (R-LOSA) Programs, 2012.

FAA, DOT/FAA/FA-88/1, Cockpit and Cabin Crew Coordination, 1988.

FAA, FAA Notice 8900.131, Fatigue risk management plans (FRMP), 2010.

FAA, FAA Order 9550.8, Human Factors Policy, 1993.

FAA, FAR 121.404, Crew and Dispatcher Resource Management Training, 2011.

FAA, General Aviation Controlled Flight into Terrain Joint Safety Implementation Team, Final Report, 2000.

FAA, HF-STD-001B, Human Factors Design Standard, 2016.

FAA, Operational Use of Flight Path Management Systems, Report of the PARC/CAST Flight Deck Automation WG, 2013.

FAA, Order 8130.2, Airworthiness Certification of Aircraft and Related Products, 2015.

FAA, Part 21, 2017.

FAA, System Safety Handbook, 2000.

FAA, The Human Factors Team Report on the Interfaces between Flight Crews and Modern Flight Deck Systems, 1996.

Hawkins, F.H. and Orlady, H.W., Human Factors in flight, Avebury Technical, 1993.

Henry, C., Normal Operations Safety Survey: Measuring system performance in air traffic control, doctoral dissertation, The University of Texas at Austin, 2008.

Hollnagel, E. and Woods, D., Joint Cognitive Systems: Foundations of Cognitive Systems Engineering, CRC Press, 2005.

Hollnagel, E., Wood, D.D. and Leveson, N., Resilience Engineering Concepts and Precepts, CRC Press, 2006.

Hong, G.Y., Ahn, D.M. and Hong, S.B., The Development of MFD with CDTI Using the MIL-STD-1553B data Bus, *The Journal of Korea Navigation Institute*, 14(3), 313-320, 2010.

Hursh, S.R., Redmond, D.P., Johnson, M.L., Thorne, D.R., Belenky, G., Balkin, T.J., Storm, W.F. Miller, J.C. and Eddy, D.R., Fatigue models for applied research in warfighting, *Aviation Space Environmental Medicine*, 75(3 Suppl): A44-A53, 2004.

ICAO, A26-9, Flight Safety and Human Factors Programme, 2011.

ICAO, Annex 1, Personnel Licensing.

ICAO, Annex 14, Aerodromes.

ICAO, Annex 19, Safety Management.

ICAO, Annex 6, Operation of Aircraft.

ICAO, Annex 6, part 1, Fatigue Risk Management System (FRMS).

ICAO, Doc 9683 Human Factors Training Manual, 1983.

ICAO, Doc 9803 Line Operations Safety Audit (LOSA), 2002.

ICAO, Doc 9859 Safety Management Manual (3rd Edition), 2013.

ICAO, ICAO Circular, Human Factors Digest No 1.

ICAO, ICAO Circular, Human Factors Digest No 10.

ICAO, ICAO Circular, Human Factors Digest No 11.

ICAO, ICAO Circular, Human Factors Digest No 12.

ICAO, ICAO Circular, Human Factors Digest No 15.

ICAO, ICAO Circular, Human Factors Digest No 16.

ICAO, ICAO Circular, Human Factors Digest No 2.

ICAO, ICAO Circular, Human Factors Digest No 3.

ICAO, ICAO Circular, Human Factors Digest No 5.

ICAO, ICAO Circular, Human Factors Digest No 6.

ICAO, ICAO Circular, Human Factors Digest No 7.

ICAO, ICAO Circular, Human Factors Digest No 8.

ICAO, Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (PRAS), 2012.

ICAO, Safety Report, 2016.

ICAO/IATA/IFALPA, Measuring Fatigue, *Asia-Pacific FRMS Seminar*, 2012.

Iwata, H., History of Haptic Interface, Human Haptic Perception: Basics and Applications, 29, 355-361, 2008.

Jang, J.H., Kang, M.J. and Lee, D.C., A Study on the Reason of Marine Accidents - focused on Human Factors, *Fall Conference Proceedings of the Ergonomics Society of Korea*, 2009.

Jeon, E.J., Park, S.W., Jeong, J.R., Kim, H.E. and You, H.C., An Ergonomics Improvement of the Flight Suit Sizing System and Pattern for Korean Pilots, *Fall Conference Proceedings of the Ergonomics Society of Korea*, 2011.

Jung, J.H., Jo, J.Y., Jeong, J.R., Park, J.E., Lee, W.S., Uem, J.H., Lee, J.H., Kang, B.G., Kim, H.E., Park, S.W. and You, H.C., Anthropometric Analysis of Korean Helicopter Pilots for Helicopter Cockpit Design, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 27(4), 37-44, 2008.

Jung, J.H., Park, J.W., Lee, W.S., Kang, B.G., Uem, J.H., Park, S.W. and You, H.C., Development of Quantitative Ergonomic Assessment Method for Helicopter Cockpit Design in a Digital Environment, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(2), 203-210, 2010.

Kim, D.H. and Cho, B.S., A Study into a Way to Improve Flight Safety through Effective Human Factors Management, *Fall Conference Proceedings of the Korean Society for Aviation & Aeronautics*, 68-77, 2013.

Kim, D.H., A Measurement of Safety Management Considering Physical and Mental Characteristic for Pilots, *Fall Conference Proceedings of the Ergonomics Society of Korea*, 2009.

Kim, D.H., A Study on the Development of the Team Coordination Based on CRM Evaluation Checklist, *Spring Conference Proceedings of the Ergonomics Society of Korea*, 2010.

Kim, D.H., Effort and Development Direction of Aviation Organization against Human Errors, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 30(1), 29-39, 2011.

Kim, D.H., How Critical Is the Fatigue Management for Pilots in Aviation Safety? - A Review, an Investigation and Some Critical Needs, *The Korean Journal of Aerospace and Environmental Medicine*, 23(2), 1-8, 2013.

Kim, D.W., Lee, S.I., Lee, S.H., Ahn, H.C., Koo, S.R. and Kim, C., Analysis of Risk Factors on the G-induced Loss of Conscious in ROKAF Pilots, *The Korean Journal of Aerospace and Environmental Medicine*, 14(1), 1-11, 2004.

Kim, H.T. and Na, S., A Study on the Analysis and Prevention of the Human-related Marine Accidents, *Ship Safety*, 27, 26-36, 2009.

Kim, J.S. and Hwang, B.M., A study of Automatic gravity-induced loss of consciousness detection environment, *Fall Conference Proceedings of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 1042-1046, 2011.

Kim, J.S., Development of Flight Safety System of High-Maneuver Fighter, *ROKAF Aviation Safety Seminar*, 25-43, 2012.

Kim, M.Y., Rhu, T.J. and Kim, S.R., The Development of Ergonomics Cockpit Design Program Based on the Military Aircraft, *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 34(4), 83-88, 2006.

King, R.E., Carol, A.M. and Gena, K.D., DOT/FAA/AM-07/14, Operational Use of the Air Traffic Selection and Training Battery, 2007.

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

Ko, S.M., Lee, K.I., Kim, D.H. and Ji, Y.G., Vibrotactile Perception Assessment for a Haptic Interface on an Antigravity Suit, *Applied Ergonomics*, 58, 198-207, 2017.

Koo, M.S., A Study on the Application of Operational Experience in the Stage of Aircraft System Design and Safety Assessment, *Journal of the Korean Society for Aviation & Aeronautics*, 22(2), 34-39, 2014.

Korea Aviation Education and Training Portal, http://www.kaa.atims.kr/

Korean Air, Flight Safety Occurrence Review Using the Human Factors Causal Analysis Tool (HFACS)(2008~2009), *SkySafety21*, 105, 31-41, 2009.

KOTI, Development Plan for Accident Prevention Technology for Transportation Aircraft, 2013.

Lee, B.H., Lee, W.S., Jeong, J.R., Jeon, E.J., Son, D.H., Park, S.W., Jung, D.H., Kim, H.E. and You, H.C., An Improvement in the Sizing System of Oxygen Masks for Korean Pilots, *Fall Conference Proceedings of the Ergonomics Society of Korea*, 2011.

Lee, C.M., Kim, Y.J., Lee, J.S., Park, S.K. and You, H.C., A study on the Ergonomic Design of the Cockpit Interior Space, *Fall Conference Proceedings of the Ergonomics Society of Korea*, 145-162, 1993.

Lee, H.J. and Choi, J.D., Design to improve HUD symbol visibility in air-to-air mode, *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Science*, 42(12), 1045-1050, 2014.

Lee, J.S. and Song, Y.W., formulation of Human Manikin Models Representative of Korean Male pilots, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 21(1), pp15-26, 2002.

Lee, K.I. and Kim, D.H., A Study on the Method of Haptic Guideline Development for the Aviation Safety, *Fall Conference Proceedings of the Ergonomics Society of Korea*, 2010.

Lee, S.K., Kim, J.S., Lee, J.H., Jung, J.O., Jang, M.S. and Lee, J.H., The Cockpit Arrangement Application for KT-1 Export Verstion (XKT-1), Korean Council on System Engineering, *System Engineering Workshop*, no 6, pp86-93, 2005.

Leveson, N.G., A New Accident Model for Engineering Safer Systems, to Appear in Safety Science, Elsevier Science Ltd, 2003.

Marcus, J.H. and Rosekind, M.R., Fatigue in Transportation: NTSB Investigations and Safety Recommendations, *Injury Prevention*, 23(4), 2017.

MOLT, Aviation Safety Law, 2017.

MOLT, Unmanned Aircraft Safety Management Plan, 2012.

Newman, D.G., Flying Fast Jets: Human Factors and Performance Limitations, Ashgate, 2014.

NTSB, Accident Report NTSB/AAR-14/01 PB2014-105984, 2014.

Parasuraman, R., Sheridan, T.B. and Wickens, C.D., A Model for Type and Levels of Human Interaction with Automation, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 30, 286-297, 2000.

Park, H., Improving Flight Safety Using FOQA, *ROKAF Aviation Safety Seminar*, 2010.

Purton, L. and Kourousis, L., Military Airworthiness Management Framework; a Critical Review, *Procedia Engineering*, 80, 545-564, 2014.

Robertson, S.P., Wayne, Z. and Black, J.B., Cognition Computing and Cooperation, Ablex Publishing Corporation Norwood, 1990.

ROKAF Academy, Flight Aptitude Test White Paper, 2011.

ROKAF Academy, Study on Development Direction of Maneuverability Aptitude Model, 2010.

ROKAF, Operational SOP, Total Optimization Safety Management Guideline, 2013.

ROKAF, Safety Management Rule, Safety Management Guide, 2016.

RTCA DO-315B, Minimum Aviation System Performance Standards (MASPS) for Enhanced Vision Systems, Synthetic Vision Systems, Combined Vision Systems and Enhanced Flight Vision Systems, 2012.

Self, B.P., Van Erp, J.B.F., Eriksson, L. and 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. and Wiegmann, D., the Human Factors Analysis and Classification System-HFACS, DOT/FAA/AM-007, 2000.

Shappell, S.A. and Wiegmann, D.A., DOT/FAA/AM-03/4, A Human Error Analysis of General Aviation Controlled Flight into Terrain Accidents occurring between 1990-1998, 1988.

Sheridan, T.B. and Verplank, W., Human and Computer Control of Undersea Teleoperators, Cambridge, MA: Man-Machine System Laboratory, Department of Mechanical Engineering, MIT, 1978.

Shin, M.J., Back, D.H., Kim, D.S. and Yoon, W.C., A Framework for Computerized Human Error Analysis System - Focused on the Railway Industry, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 27(3), 43-52, 2008.

Sinclair, G. and Seiler, R., Air Traffic Selection & Training (AT-SAT) Test Success Predictability and Preparation, Assessment Fellows Grants, 24, 2012.

Song, B.H., Lee, S.C., Sung, H.K., Moon, H.J., Shim, S.H., Ahn, J.S., Ko, Y.R. and Kim, G.H., Analysis of Customer Needs upon the Cockpit Layout of a Single Piston Aircraft, *Journal of the Korean Society for Aviation & Aeronautics*, 17(1), 58-63, 2009.

Staszewski, W.J., Boller, C. and Tomlinson, G.R., Health Monitoring of Aerospace structure, John Wiley & Sons Ltd, 2004.

Um, K.S., A Study about a New Conceptual Model of Assistant Outfit for Spatial Orientation through Continuous Recognition of Aircraft Attitude, *Journal of Aerospace Medicine*, 46(1), 115-133, 1999.

US AF, AF Risk Management Overview, *Asia Pacific Aviation Safety Conference*, 2014.

US AF, AFI 11-202, General Flight Rules, 2016.

US AF, AFI 11-290, Cockpit/Crew Resource Management Training Program, 2012.

US AF, AFI 90-1301, Implementing Military Flight Operations Quality Assurance, 2008.

US AF, AFI 91-225, Aviation Safety Programs, 2015.

US AF, AFPD 90-13, Military Flight Operations Quality Assurance, 2008.

US AF, AT-M-06A, Crew Resource Management (CRM) Basic Concepts, 1998.

US AFSC, 1c1x1, Air Traffic Control Operation, 2017.

US Navy, OPNAV Instruction 3710.7V, 2016.

Valavanis, K.P. and Vachtsevanos, G.J., Handbook of Unmanned Aerial Vehicles, Springer Publishing Company, 2014.

Van Erp, J.B.F. and Van Veen, H.A.H.C., Vibrotactile In-vehicle Navigation System. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 7, 247-256, 2004.

Walker, G.H., Neville, A. and Stanton., Human Factors in Automotive Engineering and Technology, Ashgate, 2015.

Wiener, E., Kanki, B. and Helmreich, R., Cockpit Resource Management, San Diego, CA: Academic Press, 1993.

Wiener, E.L., Human Factors in Aviation, Academic Press, 1988.

Yonsei University, a Study on Implementation of Air Traffic Controller Aptitude Test, 2010.

Yonsei University, a Study on the Development of ROKAF Safety Education Program, 2011.

Yonsei University, Asiana Airlines CRM Training Diagnosis and Improvement Research, 2011.

Yoo, K.I. and Kim, M.G., A study of SHEL Model Application to Passenger Brace Position Information of Korean Air Carriers, *Journal of the Korean Society for Aviation & Aeronautics*, 23(4), 125-132, 2015.

Yoon, B.S. and Lee, S.H., A Study on Improvement of the Individual Pilot Quality Control System for Flight Safety, *Fall Conference Proceedings of the Korea Safety Management & Science*, 1999.

Youn, K.W., Lee, S.Y. and Yim, S.H., Human Factors Involved in Traffic Accidents and Unsafe Driving Behaviors of Taxi Drivers, Korean Journal of Occupational Environmental Medicine, 18(4), 307-317, 2006.

Yu, T.J., Song, B.H. and Hwang, S.S., Application of AQP (Advanced Qualification Program) to Korea, *Journal of the Korean Society for Aviation & Aeronautics*, 21(3), 46-54, 2013.

Author listings

Dae Ho Kim: daehoda@hanmail.net
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Konkuk University
Position title: Principal Researcher of Safety Research Department, the Republic of Korea Air Force Aviation Safety Agency
Areas of interest: Aviation Safety, Human Factors Analysis