

항공분야 예방안전지표 표준분류체계 수립에 관한 연구

A Study on the Establishment of Aviation Safety Leading Indicators

김준환¹ · 백현진¹ · 이종원² · 안주현^{1*}

¹항공안전기술원 데이터분석연구센터

²김포대학교 마케팅경영과

Jun-hwan Kim¹ · Hyun-jin Paek¹ · Jong-won Lee² · Joo-hyun Ahn^{1*}

¹Aviation Safety Data Analysis and Research Center, Korea Institute of Aviation Safety Technology, Seoul, Korea

²Department of Marketing Management, Kimpo University, Gimpo, Korea

[요 약]

항공안전관리를 위해서는 서비스제공자들의 안전성과를 측정하고 관리하기 위한 안전성과지표의 수립이 반드시 선행되어야 한다. 특히, 예방안전지표는 사고 및 준사고의 발생원인을 사전에 식별하고 이를 관리할 수 있게 하는 중요한 역할을 한다는 점에서 그 의미가 크다고 할 수 있다. 하지만 현재 국내 항공산업의 안전성과지표는 이미 발생한 사건에 기반한 후행지표에 초점을 맞추고 있다는 한계를 가지고 있다. 따라서 본 연구는 예측적 항공안전관리를 위한 예방안전지표를 구성하는 것을 목적으로 하였다. 또한, 전문가의 검토와 AHP 분석을 통해 지표의 타당성과 중요성을 검증하였다. 본 연구는 상대적으로 연구가 부족했던 예방안전지표의 개발을 통해 국내 항공산업의 선제적인 안전관리를 지원할 수 있다는 점에서 의의가 있다.

[Abstract]

For predictive aviation safety management, the establishment of safety performance indicators to measure and manage the safety performance of service providers must be preceded. In particular, leading indicators are significant in that they play an important role in identifying and managing the causes of accident/incident in advance. However, the current safety performance indicators of the domestic aviation industry have limitations in that they focus on lagging indicators based on events that have already occurred. Therefore, the purpose of this study is to construct Korean leading indicators for preventive safety management. In addition, we verify the validity and importance of the indicators based on review of the experts and AHP analysis. This study is meaningful in that it can support the proactive safety management of the domestic aviation industry through the development of leading safety indicators, which have been relatively lacking in research.

Key word : AHP analysis, Aviation safety management, Leading indicator, Safety management system, Safety performance.

<https://doi.org/10.12673/jant.2021.25.6.456>



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.

Received 24 November 2021; Revised 1 December 2021

Accepted (Publication) 24 December 2021 (30 December 2021)

*Corresponding Author ; Joo-hyun Ahn

Tel: +82-02-2666-8695

E-mail: ajh82@kiast.or.kr

I. 서론

지속적인 항공 운송 수요의 증가는 공역 및 활주로의 혼잡을 초래하였고[1], 이에 따라 높은 수준의 안전성을 확보하기 위한 항공안전관리의 필요성은 지속적으로 증가하고 있다[2]-[4]. 일반적으로 항공사고의 발생은 대규모 물적, 인적 피해를 동반하기 때문에 항공안전에 대한 신뢰가 보장되지 않는 경우 산업의 성장을 보장하기 어렵다[5]-[9]. 따라서 항공산업에서 안전관리의 궁극적인 목적은 사고를 야기할 수 있는 위험 요인을 사전에 식별하고 이를 제거하는 것이라고 할 수 있다[10]. 이러한 본질적인 사고 예방을 위해서는 사고 발생을 야기하는 위험요소를 관리하기 위한 선제적 예방활동과 항공안전관리시스템의 수립이 요구된다[4], [6], [11]-[14]. 이에 따라 International Civil Aviation Organization(ICAO)는 국가적 차원에서의 항공안전관리를 위한 국가항공안전프로그램(SSP; Sates Safety Program) 구축을 요구하고 있으며, 서비스제공자(Service Provider)가 안전관리시스템(SMS; Safety Management System)을 운영하여야 함을 제시하고 있다[15].

국가적 차원의 예방적 안전관리체계를 구축하기 위해서는 항공운송사업자, 공항운영자 및 관계 서비스제공자 등 항공산업을 구성하는 개별 조직들이 허용 가능한 안전 수준(ALoS; Acceptable Level of Safety)을 유지하고, 사고, 준사고 및 안전장애를 야기할 수 있는 위험 요인에 선제적으로 대응할 수 있도록 지원하여야 하며, 각 조직들의 안전관리 활동에 대한 적절성과 효과성에 대한 지속적인 모니터링과 정기적인 평가를 위한 기준이 마련되어야 한다[16]. 즉, 개별 조직의 안전 성과를 측정하기 위한 안전성과지표(SPI; Safety Performance Indicator)의 수립은 SMS의 핵심이라고 할 수 있다. 특히 안전성과지표 중 예방안전지표(Leading Indicator)는 사고, 준사고 및 안전장애 발생원인을 사전에 식별하고 이를 제거할 수 있게 하는 중요한 역할을 한다[17]. 이에 따라 학계와 항공업계는 안전관리 프로세스 전반을 평가 및 관리하여 사전에 위험요인을 경감하기 위한 예방안전지표를 개발하기 위해 많은 노력과 자원을 투입하고 있다.

이렇듯 예방적 안전관리를 위한 표준화된 평가기준의 필요성에도 불구하고, 현재 국내 안전성과지표는 발생한 사건에 기반한 후행 지표(Lagging Indicator)에 한정되어 있어 그 한계가 존재한다. 특히, 예방적 안전관리는 일상 활동 및 운영에서 발생하는 데이터에 크게 의존한다는 측면에서 이를 반영한 새로운 지표체계가 필요하다고 할 수 있다[18]. 이에 따라 본 연구는 안전성과를 선제적으로 분석 및 평가하고 이에 기반하여 위험요소를 관리하기 위한 예방적 안전성과지표를 개발하는 것을 목적으로 한다. 지표의 개발은 항공당국, 운송사업자, 전문연구기관의 전문가의 협업을 통해 이루어져 일정 수준의 품질을 보장하고자 하였으며, 이후 다분야의 전문가를 대상으로 한 AHP 분석을 통해 지표 간 중요도를 도출하였다.

II. 문헌연구

2-1 항공안전관리시스템

항공안전관리시스템은 조직 구조, 책임과 의무, 정책, 절차 등을 포함하는 안전관리를 위한 체계적인 접근 방식으로 정의된다(ICAO, 2018). 항공당국은 안전 증진을 목적으로 일련의 규정 및 활동을 통합한 국가항공안전프로그램을 수립할 책임을 가지며, 이러한 프로그램의 일환으로 항공사, 정비기관, 교통 서비스 제공자 및 공항 운영자와 같은 개별 서비스 제공자가 항공안전관리시스템을 구현하도록 규정 및 지원하여야 한다[17]. ICAO Doc 9859(Safety Management Manual)는 서비스 제공자의 안전관리시스템이 갖추어야 할 최소한의 사항으로 안전정책 및 목표(Safety policy and objectives), 안전 위험 관리(Safety risk management), 안전 보증(Safety assurance), 안전 증진(Safety Promotion)의 4개 구성을 제시하고 있다[15].

표 1. SMS 구성 요소

Table 1. SMS components and elements

Component	Elements
Safety policy and objective	Safety management & commitment Safety accountability and responsibilities Appointment of key safety personnel Coordination of emergency response planning SMS documentation
Safety risk management	Hazard identification Safety risk assessment and mitigation
Safety assurance	Safety performance monitoring and measurement Change management Continuous improvement of the SMS
Safety promotion	Training and education Safety communication

안전관리시스템은 운영자에 따라 일부 차이는 존재할 수 있지만, 공통적으로 안전위험의 식별, 안전 성과를 유지하는데 필요한 시정 조치의 이행 보장, 안전 성과에 대한 지속적인 모니터링과 정기적인 평가 그리고 안전관리시스템 전반의 성능을 지속적으로 개선하기 위한 수단의 마련이라는 4가지 목표를 달성할 수 있어야 한다[15]. 특히, ICAO는 안전 성과 관리에 대한 필요성과 중요성을 강조하며, 안전관리 활동의 적절성과 효과에 대한 평가와 모니터링을 가능하게 하는 최소한의 기준을 마련하여야 함을 제시하고 있다[15]. 이러한 필요성을 충족하기 위해서는 우선적으로 조직의 안전 목표와 필요성에 맞는 적절한 안전성과지표가 마련되어야 한다. 안전성과지표는 안전 위험을 모니터링하고 새로운 위험 요인을 탐지하며 이에 대한 적절한 시정조치를 결정하는 것을 지원하기 때문에 안전성과관리에 핵심이라고 할 수 있다[19]-[20]. 이러한 필요성에 따라 본 연구는 항공안전성과지표의 정의와 종류, 필요성 등에 대해 보다 구체적으로 검토하고 선제적 안전관리를 위한 예방안전지표 개발을 목표로 한다.

2-2 항공안전성과지표

SMS의 핵심은 안전 데이터에 기반한 예측적 안전관리이며, 이를 통해 안전 성과를 개선하고 사고 위험에 대한 노출을 경감시키는 것을 목표로 한다 [13], [18], [21]. ICAO는 성공적인 SMS의 구현 및 운영을 위해 SMS가 기존 조직의 관리 시스템에 완전히 통합되어 항공 안전에 영향을 미칠 수 있는 모든 관리 측면에 반영될 필요성이 있음을 강조하며, 기존 규범(준수) 기반 접근방식(Compliance-based Approach)을 넘어 성과기반 접근방식(Performance-based Approach)필요성을 제시하고 있다[15]. 안전성과관 조직의 안전 목표(Safety Target)에 의해 정의되는 국가 또는 서비스제공자의 안전 달성(Safety Achievement)으로 정의된다[22]. 성과기반 접근방식은 이러한 안전성과를 지속적으로 관리·모니터링·평가하여 능동적으로 안전을 유지 및 개선하고자 하는 방식이다[18], [23].

이러한 성과기반 안전관리에서 가장 핵심이 되는 것이 안전데이터에 기반하여 구축된 안전성과지표 체계이다[19]. ICAO Doc 9859는 항공안전성과지표를 안전 성능 모니터링 및 평가에 사용되는 데이터 기반 파라미터(Parameter)로 정의하고 있으며, 적합한 안전성과지표의 구현은 조직의 안전 목표 달성을 위한 활동과 프로세스가 효과적으로 작동하는지 여부를 판단할 수 있는 수단을 제공하고, 위험 완화를 위해 요구되는 조치를 식별하며 이에 대해 의사결정 하는 것을 지원할 수 있다고 언급하고 있다[15]. 또한, 안전성과지표는 안전 관련 정책의 수립, 시행 및 후속조치를 가능하게 하여 국가항공안전프로그램 및 SMS 운영에 핵심이 된다[24].

안전성과지표는 크게 후행 지표와 예방안전지표로 구분된다. 후행 지표는 이미 발생한 사건을 측정하는 지표로 일반적으로 조직이 예방하고자 하는 부정적 결과로 구성된 지표이다 [15]. 후행지표는 조직이 과거에 일어난 사건을 이해하고 장기적인 동향을 파악하는데 유용한 정보를 제공하는 역할을 하며, 특히 발생한 결과에 근거한다는 측면에서 안전 완화 효과를 측정하고 시스템 전반의 안전 성과를 검증하는데 효과적이다[15]. 예방안전지표는 특정 결과를 야기하거나 기여할 가능성이 있는 조건을 모니터링하고 측정하는 지표로, 안전의 개선 및 유지를 위해 구현된 지표로 정의된다[15]. 예방안전지표는 특정 이벤트가 사고, 준사고 또는 안전장애로 발전되기 이전에 식별하고 적절한 조치를 이행할 수 있도록 지원한다는 점에서 예방적 안전관리의 핵심적인 역할을 한다[25]. 또한, 대외적으로 드러나지 않는 조직 문화, 관리 행태 등 조직의 내부 안전성과에 대한 통찰력을 제공하기 때문에 안전 개선을 위해 자원과 노력을 투입해야 하는 영역을 식별할 수 있는 사전 예방적 방법을 제공한다는 특징을 가진다[26]. 다만, 예방안전지표는 일반적으로 계량화하기 어렵고 사고 위험과의 직접적인 관계성을 명확하게 도출하기 어려운 조직 및 관리 문제와 관련이 있기 때문에 후행 지표와 달리 초기 개발이 어렵다는 단점이 존재한다[17]. 그럼에도 불구하고, 예방안전지표의 개발은 예방적 안전관리를 통한 항공산업 전반의 안전증진을

을 위해 반드시 달성되어야 하는 목표라고 할 수 있다.

III. 항공분야 예방안전지표 분류체계 수립

3-1 운항분야 항공안전성과지표

국가 항공안전성과지표는 항공안전법 134조에 따른 의무 보고 대상인 항공안전장애(항공안전법 시행규칙 별표 20의2, 2021.8.27 시행)의 위험을 식별하고 운항·공항·관제·정비 등 전 항공분야의 안전감독, 관리를 목적으로 개발되었다. 그중에서도 운항분야 항공안전성과지표의 경우, 우리나라 항공안전감독 업무를 담당하고 있는 국토교통부 항공운항과에서 항공운항분야 주요 서비스 제공자인 항공사(국제항공운송사업자)의 안전관리에 초점을 맞춰 개발한 지표이다. 수립 초기년도인 2020년에는 총 16개의 지표로 구성되었으며 2020년도 항공기 사고, 준사고 및 안전장애 발생률 감축 성과와 지표별 안전장애 감축 목표 달성도 및 위험도 재평가 등을 통해 2021년도에는 관리지표를 19개로 확대하여 운영하고 있다.

운항분야 항공안전성과지표는 과거 3년 동안 우리나라에서 발생한 항공안전장애 발생 현황 및 발생률(1만 운항당 발생 건수)과 항공사별 자체 안전관리 활동을 통해 관리하는 주요 항공안전장애 항목 등을 바탕으로 선정한다. 이렇게 수립된 지표는 국가에서 수립·운영하기 위한 공통지표체계의 기준으로 활용된다. 항공안전감독 당국에서는 이를 기반으로 국가 차원의 안전장애 발생률 감축 목표를 설정하고 성과 달성 정도를 매월 측정하여 안전성과를 모니터링하며, 특정 지표의 성과 달성 정도 및 위험도 평가 수준은 차기 안전정책을 수립하는 데 활용된다. 나아가, 항공 안전증진 활동의 일환인 민·관 안전증진 협의회 등을 개최하여 위험도가 높은 지표에 대한 경감방안을 민관이 함께 마련하며, 협의회에서는 각 기관이 안전관리 수행실적이나 관련 경험을 공유한다.

표 2. 운항분야 항공안전성과지표 예시
Table 2. Example of SPI(flight operation field)

Indicator	Definition
Runway excursion	Veer off or overrun from the runway surface
Runway incursion	Any occurrence at an aerodrome involving the incorrect presence of an aircraft, vehicle or person on the protected area of a surface designated for the landing and take off of aircraft
Loss of control	Loss of aircraft control while, or deviation from intended flightpath
□(A total of 19)	

3-2 항공분야 예방안전지표 개발

본 연구에서는 국내 운항분야 안전감독 기관인 국토교통부 항공운항과 관계자, 소 우리나라 항공사(국제항공운송사업자) 안전관리부서 및 항공안전 전문기관(항공안전기술원) 관계자 등으로 구성된 전문가 집단이 '국가 항공운항 안전성과 모니터링 운영팀'을 구성하여 수립하였다. 이후, 해당 운영팀과 함께 항공운항 분야 항공안전성과지표(2021년 기준 19개)에 해당하는 항공안전장태의 발생 가능성을 감소시키고 위험도를 경감하기 위한 안전활동 목록을 도출하였다. 기존에는 정책기관 또는 실무 기관이 단독으로 안전활동 목록을 작성하여 기관별로 다른 안전활동 목록을 운영하였다. 하지만 본 연구에서는 국가의 항공안전 증진을 위한 정책 수립 전문가와 항공사 등에서 안전관리분야 중사 경험이 있는 실무 전문가들이 모여 사전에 항공기 사고, 준사고 및 항공안전장태가 발생하지 않도록 위험도 경감을 위한 사전 안전조치 방안을 함께 마련하고, 이를 예방안전지표로 지정하였다. 이러한 전문가의 검토에 의한 구성방식을 통해 지정된 예방안전지표에 대한 타당도를 확보할 수 있다.

3-3 항공분야 예방안전지표 분류체계 수립

표 3. 항공분야 예방안전지표 분류체계

Table 3. Classification of leading indicators in aviation field

Field	Event Cause	Leading Indicator	Specific Contents
Flight Operation	-Slip -Distraction -Skill based error	Strengthen training for flight simulation systems	- "Upset Prevention and Recovery Training" more than once a year - Reject Takeoff training and "Go Around Training" - ACAS/TCAS procedure training more than twice a year - Windshear avoidance procedures, turbulence avoidance procedures Training - CRM and Decision Making Training
		Reinforcement of flight quality audit	- Check compliance with Standard take-off and landing procedure (SID/STAR) - Monitor whether cockpit crew, cabin crew and flight dispatcher check the latest weather information when they brief together - Taxiway awareness Training - Inspect compliance with Taxiway awareness procedures and situational awareness in Hot Spot area
	-Communication error -Awareness error -Known	Enhance ground training	- Situation awareness Training - ATC International Standard Phraseology Training - CRM Training
		Safety	- Announce for learning "Stop &

Field	Event Cause	Leading Indicator	Specific Contents
	ge based error	campaign	Confirm" - Establish a safety culture so that pilots can freely report in case of suspected hard landing, and conduct campaigns
		Improve Institutions/Procedures/Regulation	- Proceduralization of briefing about preventing runway excursion before takeoff (T/O, L/D Briefing) - Analyse tendency of taxiway errors - The flight dispatcher uses AMOS data to provide real-time weather information to the captain frequently
	Safety promotion	- Announcement of following "Sterile Cockpit Procedure" - Announcement of encourage PIREP	
	-Slip -Distraction -Skill based error	Improve Institutions/Procedures/Regulations	- Sharing the example of mechanic human error - Establish an aircraft condition of management system by aircraft number - Implement standards for calculating the appropriate number of mechanics - Manage standardized maintenance manhour
		Maintenance / Design / Manu factor	- Restrict maintenance carryforward when departing from base - Implement preparation plan to improve Auto-pilot and related system maintenance reliability up to date Parts and S/W - Establish operational check about Primary controls (Rudder, Aileron, Elevator etc) during PR/PO or LSC inspection
	-Airframe malfunction/defect -Engine malfunction/defect -System malfunction/defect	Implementation of measures to strengthen reliability of related system maintenance.	- Shorten the period of service cart's lock and break - Reduce the cleaning cycle in cockpit, electric equipment room and cargo compartment etc. - List all defects that may cause a air return - Eliminate outsourcing maintenance company which cause maintenance negligence
ATC/Airport	- ATC Error - Unclear ATC instruction - Insufficient Aeronautical Information	Proceduralization for ANS safety	- Share the result of ACAS RA investigation with the airlines - Request the Air Traffic Controller to review the procedure and separation gap for Critical Airspace where ACAS RA occurs frequently
		Improve Institution	- Analyse the airport/area where aircraft strays out of

Field	Event Cause	Leading Indicator	Specific Contents
		ns/Procedures/Regulations	altitude/course occurs frequently and share the information half yearly -Analyse Hotspot by airports where Ground Collisions occur frequently -Provide a hot spot analysis chart at the take-off and landing airport to the captain before departure
	-Insufficient Runway Operation	Airport Facilities Management	-Shortening repair period of runway markings, signs, lights
	-Insufficient Airside safety management	Airport Facilities Operation	-Operate taxiway centerline light at all times
		Enhance patrols in moving area	-Increase the number/period of ground patrols in airport

* In the case of each preventive safety indicator, the number of times to be implemented every year or month is determined, but it is omitted from this table.

본 연구에서 개발한 항공분야 예방안전지표는 활주로 이탈, 활주로 침범 등 항공안전성과지표에 해당하는 항공안전 이벤트의 발생을 예방하고, 위험도를 경감하기 위하여 사용된다. 즉, 특정 예방안전지표는 예방하고자 하는 항공안전 이벤트들과 매칭이 되어있다고 봐도 무방하다. 예방안전지표 분류체계는 각 지표와 매칭된 항공안전 이벤트의 발생 분야와 발생 원인을 기반으로 개발되었으며, 예방안전지표 분류체계는 다음과 같은 과정을 통해 수립되었다.

첫째, 항공안전 의무보고서 데이터 등 과거에 발생한 항공안전 이벤트 관련 데이터를 기반으로 항공안전장에 발생 이벤트의 '발생 분야'를 구분하였다. 이때, 특정 이벤트에 대한 보고자의 소속(항공사, 관제기관 등) 및 후속 관리를 담당하는 국가소관 부서(항공운항과, 항공교통과, 항공기술과 등)에 기반하여 발생 분야를 우선 분류하였다. 이후, 항공안전프로그램(고시 제2015-138호)의 국가 안전지표 및 안전관리대상인 운항, 정비, 관제, 공항, 항행안전시설 중 항행안전시설을 제외한 4개 분야(운항, 정비, 관제, 공항)를 바탕으로 각 분야와 유사한 분야를 통합하여 조종·운항, 정비·설계·제작, 관제·공항의 3개 분야로 구성하였다. 국가항공안전프로그램 대상 분야의 하나인 항행안전시설 분야는 데이터 수집의 한계로 인하여 본 연구의 발생분야 목록에서 제외하였다.

둘째, 발생원인은 다양한 항공안전 이벤트에 대하여 표준화된 위험도 경감 및 안전감독 등 안전관리를 위한 목적으로 표준화 분류체계를 구성하였다. 항공분야 외에도 다양한 산업분야에서 공통적으로 활용되는 기본위험요소(BRF; Basic Risk Factors) 및 원인, 종류 및 조직과 관련된 원인분류체계 등에 관한 선행 연구를 참조하여 개발하였다.

표 4. 기존 위험요소 발생원인 분류체계 예시

Table 4. Example of previous classification of causal risk factors

Previous studies	Classification of causal risk factors
Basic risk factor [27], [28]	Design Tool and equipment Maintenance Facility Management Error-causing condition Procedure Training Communication Conflicting goal Organization Protection mean
Common performance conditions [29]	Appropriateness and operational support of human-machine interfaces Requirement for Work Working Time Available time Availability of procedures and plans Appropriateness of education and expertise The number of similar goals Organizational adequacy Quality of worker collaboration.

발생원인은 항공안전장에 등 각종 항공안전 이벤트에 대해 상기 개발된 예방안전지표 및 경감대책을 표준화하여 적용하기 위한 분류기준으로 활용될 수 있다. 항공안전 의무보고 데이터의 경우, 국가 감독기관에 보고된다는 특성을 가지고 있어 매우 제한적인 수준의 내용만 기록되기 때문에 의무보고에 기록된 자료만으로는 발생원인을 정확하게 구분하기 어렵다. 이에, 적절한 항공안전 저해요인 경감방안을 마련하기 위해서는 조종·운항·관제·공항·정비 등 전 항공분야에 적용할 수 있는 항공안전 이벤트 발생원인 분류체계가 필요하다. 또한, 분야별로 공통되는 발생원인이나 구분하기 애매하거나 지나치게 세분화된 발생원인은 통합하거나 삭제하는 등의 과정이 필요하다. 예를 들어, 인적요인 중 "망각(Lapse)" 등과 관련된 항목은 예방안전조치가 유사한 "실수(Slip)"의 영역으로 통합하는 등의 조치가 필요하다. 반면, 구분이 비교적 용이한 규정, 조직 및 통제 관련 사항은 별도로 편성할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 표 5에 나타난 바와 같이 발생원인에 크게 4가지 요인(인적요인, 조직요인, 기술요인, 환경요인)으로 구분하여 전 분야에 적용하고자 하였으며, 요인별로 발생 빈도 또는 위험도가 높은 항공안전 이벤트의 발생원인을 중심으로 발생원인 분류체계를 수립하였다. 결과적으로, 4가지 요인 중 인적요인은 실수, 착각이라는 항목으로 구분하였으며, 실수는 부주의, 주의 분산, 기량 부족이라는 항목으로 구성되고 착각은 인지 오류, 의사소통, 지식 오류로 구성된다. 조직요인의 경우, 규정과 관련된 항목이 주를 이룬다. 조직요인은 규정 오류와 운영 미흡으로 구분하며, 규정 오류는 잘못된 규정, 규정 위반으로 이루어지고 운영 미흡은 조직 통제상 관리 미흡이라는 항목이 존재한다. 기술요인은 각 분야에서 발생할 수 있는 시스템의 고장·결함과 관련된 항목으로 구성하였다. 환경요인의 경우, 항공기가 안전한 운항을 하는데 영향을 줄

수 있는 환경적인 요소를 포함하며, 부적절한 기상환경이나 관제환경 등이 이에 해당할 수 있다.

해당 원인분류체계는 조종, 정비, 관제 등 다양한 항공분야에 공통으로 적용이 가능하지만, 분야별로 발생원인에 따른 구체적인 예방조치 및 안전활동을 구분할 필요가 있다. 예를 들어, 조종분야의 실수-기량부족과 관련한 예방안전지표로는 모의비행훈련장치 훈련 강화 적용이 가능하나 정비분야의 실수-기량부족의 예방안전지표로는 지상학술훈련 강화 등으로 대체 적용된다.

표 5. 항공분야 예방안전지표 발생원인 분류

Table 5. Classification of causal factor of leading indicators

구분	세부구분	정의	
Human factor	Mistake	Slip	Individual fails to concentrate
		Distraction	Failure to perform due to external interference
		Skill based error	Failure to perform due to lack of individual competence and experience
	Illusion	Awareness error	Making a wrong judgment in right regulation (including misconceptions)
		Communication error	Ineffective CRM and communication, including confusion caused by external causes such as language fluency, use of standard terms, reception calls, visual communication, and mobile phones
		Knowledge based error	In the case of trusting one's inappropriate or inappropriate knowledge and experience and making false judgments and actions (excessive overconfidence, etc.)
Organization factor	Error in Regulation	Wrong regulation	In the case of errors in established regulations, guidelines, and manuals, etc.
		Violation of regulation	Failure to comply with established regulations, guidelines and procedures
	Insufficient operation	Insufficient management in organization	In the case where safety is impaired by other organizational, control, and management personnel
Technical factor	System malfunction/defect	Error in the system related to operation, maintenance, control, etc.	
Environmental factor	Insufficient flight environment	Appropriate operating environment is not established, such as unclear control instructions and insufficient provision of aviation information, etc	

IV. 항공분야 예방안전지표 분류체계 중요도 평가

본 연구에서는 항공안전 예방지표의 중요도 및 우선순위를 알아보기 위해 AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석을 위한 구조화된 설문지를 활용하여 2021년 11월 1일부터 15일까지 항공안전관리와 관련이 있는 현업 실무자를 대상으로 지면 설문조사를 실시하였다. 설문 응답자는 각각 항공운항, 관제, 정비 및 항공안전 연구분야 전문가이며 이들을 대상으로 표본을 수집하였다.

4-1 설문 구성 및 척도

항공분야 예방안전지표 우선순위 분석을 위해 설문을 구성하였으며, 계층 1에 해당하는 3개의 요인을 쌍대비교하여 총 3개의 설문을 구성하였다. 또한 계층 2에 해당하는 요인들을 쌍대비교하기 위해 설문항목을 구성하여 28번의 요인 간 쌍대비교를 하도록 하였다.

쌍대비교 항목의 척도는 항목, 즉 평가 요인을 왼쪽 및 오른쪽에 두고 평행하게 나열한 뒤 중앙에 1의 값을 위치시키고 중앙에서 왼쪽과 오른쪽 끝으로 9까지의 값을 부여하였다. 예를 들어 'X'와 'Y'를 쌍대 비교할 경우 동일하게 중요하다면 '1', Y가 X에 비해 약간 중요할 경우 오른쪽 '3', 중요할 경우 오른쪽 '5', 매우 중요할 경우 오른쪽 '7', 극히 중요할 경우 오른쪽 '9'에 응답하도록 하였다. 이를 통해 조사 대상자로부터 응답 값을 얻어 내고 비교 대상에 대하여 왼쪽에 위치한 요인을 더 중요하게 인식할 경우 정수로, 오른쪽에 위치한 요인을 더 중요하게 인식할 경우 분수로 하여 입력하였다. 이러한 방법을 통해 얻은 값을 행렬의 역수성을 유지시키기 위해 기하평균(Geometric mean)하여 AHP 분석을 실시하였다[30].

4-2 실증 분석

1) 응답자 특성 분석 결과

본 연구에서는 조종사, 관제사, 정비사, 연구원 등 항공안전 관리와 관련이 있는 현업 실무자를 대상으로 조사를 실시하였다. 최종 분석은 불성실한 응답을 제외한 37개의 자료를 바탕으로 이루어졌다. 응답자의 성별은 남성 67.6%(25명), 여성 32.4(12명)로 나타났으며, 연령은 20대 32.4%(12명), 30대 37.8%(14명), 40대 29.7%(11명)로 나타났다. 또한 응답자의 현재 담당 직종은 공항 5.4%(2명), 관제 5.4%(2명), 연구 62.2%(23명), 조종21.6%(8명), 기타 5.4%(2명)로 나타났다.

표 6. 응답자 특성

Table 6. Demographic information

Category		Frequency	Percentage(%)
Gender	Male	25	67.6
	Female	12	32.4
Age	20-29	12	32.4
	30-39	14	37.8
	40-49	11	29.7
Occupation	Airport	2	5.4
	Control	2	5.4
	Research	23	62.2
	Flight	8	21.6
	Etc	2	5.4

2) 항공분야 예방안전지표 우선순위 분석 결과

항공분야 예방안전지표의 중요성 및 우선순위를 알아보기 위해 활용한 AHP 분석 기법은 각 설문 항목에 대하여 조사 대상자가 얼마나 일관된 응답을 하였는가에 따라 결과의 신뢰성을 확보할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 조사 대상자의 개별적 응답에 대한 오차 정도를 확인하여 신뢰도를 검증하기 위해 일관성 비율(CR; Consistency Ratio)을 확인하였다. 보편적으로 일관성 비율을 통해 0.1 이하의 값을 보여주는 경우 일관성을 확보한 것으로 알려져 있다[31]. 본 연구의 일관성 비율을 검증한 결과, 조사 대상자들의 응답은 일관성을 확보하고 있음을 알 수 있었다. 결과적으로 분석 결과에 있어 신뢰성을 확보하였다고 해석할 수 있다.

본 연구에서는 항공분야 예방안전지표를 관리·운영함에 있어서 중요도와 우선순위를 알아보려고 하였다. 우선 항공분야 예방안전지표의 첫 번째 계층에 속한 요인에 대한 중요도와 우선순위를 분석한 결과, 정비·설계·제작 요인이 42.7%로 가장 중요한 요인으로 도출되었다. 다음으로 조종·운항(30.4%), 관제·공항(26.8%) 순으로 중요도가 도출되었다.

다음으로 하위 요인들에 대한 중요도와 우선순위를 파악해보았다. 우선 조종·운항 영역의 경우 모의비행장치 훈련 강화가 27.1%로 중요성이 가장 높게 인식되었으며, 운항품질심사 고도화(23%), 운항관련 제도·절차·규정 개선(22.3%)가 상대적으로 중요성이 높게 나타났다. 또한 나머지 요인은 지상학술교육 강화(12.3%), 안전 캠페인(7.7%), 안전 홍보(7.5%) 순으로 중요도를 인식하였다.

정비·설계·제작 영역의 경우 정비관련 제도·절차·규정 개선이 37.1%로 가장 중요성이 높게 나타났으며, 예방정비 강화(33.8%), 정비 신뢰성 향상방안 마련(29.1%) 순으로 중요도를 인식하였다. 다음으로 관제·공항 영역의 경우 항행(ANS) 안전 대책 마련이 33.7%로 중요성을 높게 인식하였으며, 그 다음으로 중요한 요인은 관제 절차 및 규정 개선(33.2%) 으로 나타났다. 또한 나머지 요인의 중요도는 공항시설 운영(13.4%), 공항시설 관리(12.3%), 이동지역 내 순찰 강화(7.4%) 순으로 도출되었다.

마지막으로 계층 1과 계층 2의 요인들을 종합하여 복합 중요도를 산출하고 우선순위를 파악해보았다. 모든 요인을 종합한 중요도 측면에서 정비관련 제도·절차·규정 개선에 대한 요인이 15.8%로 가장 중요하게 인식되는 것으로 나타났다. 또한 예방정비 강화(14.4%), 정비 신뢰성 향상방안 마련(12.4%) 순으로 나타나 계층 1의 정비·설계·제작 요인에 속하는 하위 요인 모두가 가장 중요한 요인들로 인식되었다. 나아가 항행(ANS) 안전 대책 마련(9%), 관제 절차 및 규정개선(8.9%), 모의비행장치 훈련 강화(8.2%) 순으로 중요도의 우선순위가 나타남을 확인할 수 있다. 전체 지표에 대한 중요도 및 우선순위는 다음 표 7과 같다.

표 7. 항공분야 예방안전지표 중요도 및 우선순위

Table 7. Importance and priority of leading indicators

Hierarchy 1			Hierarchy 2			Composite Importance	
Factor	Importance	Rank	Factor	Importance	Rank	Importance	Rank
Flight operation	.304	2	Strengthen training for flight simulation systems	.271	1	.082	6
			Reinforcement of flight quality audit	.230	2	.070	7
			Enhance ground training	.123	4	.037	9
			Safety campaign	.077	5	.023	12
			Improve Institutions/Procedures/Regulations	.223	3	.068	8
			Safety promotion	.075	6	.023	13
Maintenance/Design/Manufacturer	.427	1	Improve Institutions/Procedures/Regulations	.371	1	.158	1
			Enhance preventive maintenance	.338	2	.144	2
			Implementation of measures to strengthen reliability of related system maintenance	.291	3	.124	3
ATC /Airport	.268	3	Proceduralization for ANS safety	.337	1	.090	4
			Improve Institutions/Procedures/Regulations	.332	2	.089	5
			Airport facilities management	.123	4	.033	11
			Airport facilities operation	.134	3	.036	10
			Enhance patrols in moving area	.074	5	.020	14

* C.R: Total = .001, Flight operation = .009, Maintenance/Design/Manufacturer = .002, ATC/Airport = .003

** Composite Importance = Importance of Hierarchy 1 × Importance of Hierarchy 2

V. 결론

본 연구에서는 국내 항공기 사고, 준사고 및 항공안전장애편 사전적·예측적으로 예방하기 위하여 항공분야 예방안전지표를 개발하고 표준 분류체계를 수립하였다. 항공분야 예방안전지표는 국내 운항분야 항공안전성과지표에 해당하는 항공안전장애(활주로 침범, 활주로 이탈 등)를 예방하기 위한 지표이다. 본 연구진은 국내 운항분야 안전감독 기관인 국토교통부 항공운항과 관계자, 전 우리나라 항공사(국제항공운송사업자) 안전관리부서 및 항공안전 전문기관(항공안전기술원) 관계자 등으로 구성된 전문가 집단과 함께 항공안전장애의 발생가능성을 줄이고 위험도를 경감시키기 위한 안전관리방안을 마련하고, 이를 항공분야 예방안전지표로 설정하였다.

항공분야 예방안전지표 분류체계의 경우, 표 3에 나타난 바와 같이, 발생분야에 따라 발생원인이 구분되고, 발생원인별로 예방안전지표가 구성된다. 발생분야의 경우, 다음과 같은 과정을 통해 구성하였다. 우선, 과거 발생한 항공안전 이벤트

관련 데이터를 기반으로 이벤트가 주로 발생하는 분야(조종·관제·정비 등)를 식별하였다. 이후, 해당 이벤트에 대한 보고자의 소속(항공사, 관제기관 등) 및 후속 관리를 담당하는 국가 소관 부서(항공운항과, 항공교통과 등)에 기반하여 발생분야를 (1)조종·운항, (2)정비·설계·제작, (3)관제·공항으로 구분하였다. 발생원인은 안전관리에 관한 기존 연구를 참고하여 각 발생분야에 공통적으로 적용할 수 있는 원인을 도출하여 목록화하였다.

또한, 항공안전 예방지표의 중요도 및 우선순위를 알아보기 위하여 관제사, 조종사 등 항공안전관리와 관련이 있는 현업 실무자를 대상으로 AHP분석을 수행하였다. 결과적으로, 정비·설계·제작 요인이 가장 중요한 요인으로 식별되었으며, 그 중에서도 정비관련 제도·절차·규정 개선이 가장 중요한 지표로 나타났다. 조종·운항 영역의 경우, 모의비행장치 훈련 강화 지표가 가장 중요하다고 인식되었으며, 관제·공항 영역의 경우, 항행(ANS) 안전대책 마련이 가장 중요한 지표로 나타났다.

본 연구에서는 가용 데이터의 범위가 한정되어, 예방안전 지표가 실제로 각 항공안전 이벤트 발생 가능성 감소 및 위험도 경감에 어떤 영향을 미쳤는지 분석하지 못하였다. 하지만 향후 연구에서는 실제 항공안전 데이터를 바탕으로 이를 정량적으로 분석하여 본 연구에서 제시한 항공분야 예방안전지표를 보완하고, 분류체계를 수정할 필요가 있다. 이러한 과정을 반복하여 향후에는 우리나라 항공산업 현황 및 운항환경에 적합한 예방안전지표를 확정하여 사전적·예측적 항공안전관리를 수행할 필요가 있다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부 항공선진화사업의 일환으로 국토교통과학기술진흥연구원(“빅데이터 기반 항공안전관리 기술개발 및 플랫폼 구축”, 과제번호: 20BDAS-B158275-01)사업을 통해 수행된 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

[1] Shyur, H. J., “A quantitative model for aviation safety risk assessment,” *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 54, No. 1, pp. 34-44, Feb. 2008.

[2] Button, K., Clarke, A., Palubinskas, G., Stough, R., and Thibault, M., “Conforming with ICAO safety oversight standards,” *Journal of Air Transport Management*, Vol. 10, No. 4, pp. 249-255., Jul. 2004.

[3] Zhou, T., Zhang, J., and Baasansuren, D., “A hybrid HFACS-BN model for analysis of Mongolian aviation professionals' awareness of human factors related to aviation safety,” *Sustainability*, Vol. 10, No. 12, pp. 249-255, Nov.

2018.

[4] Choi, Y. C., “Perceptions about Aviation Safety Management System in the Airline's Pilot and Aero-Mechanic,” *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol. 16, No. 3, pp. 15-20., Sep. 2018.

[5] Insua, D. R., Alfaro, C., Gomez, J., Hernandez-Coronado, P., and Bernal, F., “A framework for risk management decisions in aviation safety at state level,” *Reliability Engineering & System Safety*, Vol.179, pp. 74-82., Nov. 2018.

[6] Oster Jr, C. V, Strong, J. S., and Zorn, C. K., “Analyzing aviation safety: Problems, challenges, opportunities,” *Research in Transportation Economics*, Vol. 43, No. 1, pp. 148-164, Jul. 2013.

[7] Lee, K. S., “A comparative study on the awareness of aviation safety between Korea and major air transport countries,” *Aviation Management Society Of Korea*, Vol. 5, No. 1, pp. 29-44, Feb. 2007.

[8] Lim, J. J., Han., J. H., and Lee., H. C., “Improvement of Safety Management System in Air Transportation Industry,” *Aviation Management Society Of Korea*, Vol. 13, No. 6, pp. 55-76, Dec. 2015.

[9] Lim, J. J., and Lee., H. C., “An Empirical Study of Effective Operations for Safety Information System in Transportation Industry -The Case of Domestic Transportation Management Systems,” *Aviation Management Society Of Korea*, Vol. 14, No. 5, pp. 97-120, Oct. 2016.

[10] Liou, J. J. H., Yen, L., and Tzeng, G. H., “Building an effective safety management system for airlines,” *Journal of Air Transport Management*, Vol. 14, No. 1, pp. 20-26, Jan. 2008.

[11] Chang, Y. H., and Yeh, C. H., “A new airline safety index,” *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 38, No. 4, pp. 369-383, May. 2004.

[12] Lee, W. K., “Risk assessment modeling in aviation safety management,” *Journal of Air Transport Management*, Vol. 12, No. 5, pp. 267-273, Sep. 2006.

[13] So, J. S., and Lee., C. K., “A Legal Study on Safety Management System,” *Korea Society of Air & Space Law and Policy*, Vol. 29, No. 1, pp. 3-32, Jun. 2014.

[14] Ahn, J. H., Song., B. H., and Choi., Y. J., “A Study on the Composition and Application of Risk Based Aviation Safety Oversight Checklist,” *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol. 28, No. 2, pp. 71-77, Jun. 2020.

[15] ICAO, “ICAO DOC 9859 Safety Management Manual,” 2018.

[16] Panagopoulos, I., Atkin, C., and Sikora, I., “Developing a

- performance indicators lean-sigma framework for measuring aviation system's safety performance," *Transportation Research Procedia*, Vol. 22, pp. 35-44, 2017.
- [17] Roelen, A. L. C., and Klompstra, M. B., "The challenges in defining aviation safety performance indicators," *International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference*, Helsinki, Finland, pp. 25-29, Jun. 2012.
- [18] Kaspers, S., Karanikas, N., Roelen, A., Piric, S., and Boer, R. J. De, "How does aviation industry measure safety performance? Current practice and limitations," *International Journal of Aviation Management*, Vol. 4, No. 3, pp. 224-245, Mar. 2019.
- [19] Chen, W., and Li, J., "Safety performance monitoring and measurement of civil aviation unit," *Journal of Air Transport Management*, Vol. 57, pp. 228-233, Oct. 2016.
- [20] Pasman, H., and Rogers, W., "How can we use the information provided by process safety performance indicators? Possibilities and limitations," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 30, pp. 197-206, Jul. 2014.
- [21] Panagopoulos, I., Atkin, C. J., and Sikora, I., "Lean Six-Sigma in Aviation Safety: An implementation guide for measuring aviation system's safety performance," *Journal of Safety Studies*, Vol. 2, No. 2, 2016.
- [22] ICAO, "ICAO Annex 19", 2016.
- [23] Hsu, Y. L., Li, W. C., and Chen, K. W., "Structuring critical success factors of airline safety management system using a hybrid model," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 46, No. 2, pp. 222-235, Mar. 2010.
- [24] Ioannou, C., Harris, D., and Dahlstrom, N., "Safety management practices hindering the development of safety performance indicators in aviation service providers," *Aviation Psychology and Applied Human Factors*, Published Online, Sep. 2017.
- [25] O' Connor, P., Cowan, S., and Alton, J., "A comparison of leading and lagging indicators of safety in Naval aviation," *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 81, No. 7, pp. 677-682, Jul. 2010.
- [26] O' Connor, P., O' Dea, A., Kennedy, Q., and Buttrey, S. E., "Measuring safety climate in aviation: A review and recommendations for the future," *Safety Science*, Vol. 49, No. 2, pp. 128-138, Feb. 2011.
- [27] Groeneweg, J., "Controlling the Controllable, Preventing Business Upsets," *Global Safety Group*, pp. 1-528, 2002.
- [28] Wagenaar, W. A., Groeneweg, J., Hudson, P. T. W., and Reason, J. T., "Promoting safety in the oil industry," *The ergonomics society lecture presented at the ergonomics society annual conference*, Edinburgh, pp. 13-16, 1994.
- [29] Hollnagel, E., "Cognitive reliability and error analysis method (CREAM)," *Elsevier*, pp. 1-287, 1998.
- [30] Aczél, J., and Saaty, T. L., "Procedures for Synthesising Ratio Judgements," *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 27, pp. 93-102, Mar. 1983.
- [31] Saaty, T. L., "The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation," *RWS Publications*, pp. 1-192, 1990.



김 준 환 (Jun-hwan Kim)

한국항공대학교 생산관리 석사
항공안전기술원 데이터분석연구센터 연구원
※관심분야 : 항공안전관리, 데이터 분석, 서비스 품질 관리



백 현 진 (Hyun-jin Paek)

한국항공대학교 항공교통학과 석사
항공안전기술원 데이터분석연구센터 연구원
※관심분야 : 항공교통관리, 항공안전관리, 데이터 분석



이 종 원 (Jong-won Lee)

한양대학교 경영학 박사
김포대학교 마케팅경영과 조교수
※ 관심분야 : 항공경영, 마케팅



안 주 현 (Joo-hyun Ahn)

한국항공대학교 항공운항관리학과 박사수료
항공안전기술원 데이터분석연구센터 선임연구원
※ 관심분야 : 항공안전, 위험기반안전감독, 빅데이터 분석