

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2022.30.4.145>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

항공안전데이터를 사용한 위해요인 위험도 정량적 평가기법

백현진*, 김준환*, 임재진*, 전성진*, 최영재*

Quantitative Safety Risk Assessment using Aviation Safety Data

Hyunjin Paek*, Jun Hwan Kim*, Jae Jin Lim*, Sungjin Jeon*, Young Jae Choi*

ABSTRACT

To manage State Safety Program (SSP) in a more integrative and proactive manner, an aviation safety authority of the state shall detect and assess the risk of emerging or hidden safety hazards before they provoke accidents or incidents(ICA0, 2018). In case of South Korea, safety risk assessment is conducted by calculating the likelihood and severity of the hazard following ICAO's safety management manual. It is reasonable to extract the safety risk likelihood by calculating the number of occurrence caused by the hazard. However, it is ambiguous to assess the safety risk severity defined as the extent of harm that might be expected to occur as a consequence of the identified hazard. In this paper, a safety risk assessment method which quantitatively calculates the risk of hazard using aviation safety data(i.e. aviation safety mandatory report, etc.) is proposed. By utilizing the proposed method, the existing process that safety risk is being subjectively assessed by safety inspectors can be supplemented. So that essential aviation safety policy decision making can be accomplished by the accurate result of safety risk assessment.

Key Words : State Safety Program(국가항공안전프로그램), Safety Risk Assessment(항공안전 위험도 평가), Hazard(항공안전 위해요인), Safety Management System(항공안전관리시스템), Aviation Safety Data(항공안전데이터), Aviation Safety Mandatory Report(항공안전 의무보고), Safety Performance Indicator(국가항공안전성과지표)

1. 서 론

안전사고의 발생이 대규모 인적·물적 피해를 동반하는 항공산업에서 적정 수준의 안전성을 확보하는 것은 산업의 생존과 직결되는 중요한 문제이다(Kim et al., 2021; Oster et al., 2013; Ostroumov et al.,

2020). 항공기 사고를 예방하기 위해서는 사고 발생 이전에 위해요인을 식별하고, 해당 요인의 위험도를 경감하며, 지속적으로 위험도를 모니터링하는 '선제적 안전관리체계'를 도입해야 한다. 현재 미국을 포함한 다수의 항공 선진국에서는, 선제적 안전관리를 이룩하기 위하여 다분야의 항공안전데이터를 수집·통합·분석하고, 위해요인을 사전에 발굴하며, 그것의 위험도를 체계적으로 관리하는 항공안전관리시스템을 적극적으로 활용하고 있다.

국제민간항공기구(ICAO; International Civil Aviation Organization)는 항공안전관리시스템의 핵심 요소 중 하나를 데이터 기반 의사결정 시스템으로 제시

Received: 09. Nov. 2022, Revised: 18. Nov. 2022,

Accepted: 29. Nov. 2022

* 항공안전기술원 데이터분석연구센터

연락처 E-mail : yj.choi@kiast.or.kr

연락처 주소 : 서울특별시 강서구 하늘길 38 김포국제공항 국제선청사 313호

하고 있으며, 이를 위해 회원국들이 다분야의 안전 데이터를 통합적으로 수집, 저장, 분석, 공유할 수 있는 안전 데이터 수집 및 처리 시스템(SDCPS; safety data collection and processing system)을 구축하도록 권고하고 있다(ICA0, 2018). 데이터 기반 의사결정 지원 시스템은 발생 가능한 위험을 이벤트 발생 이전에 감지하여 탄력적인 대응 방안을 모색할 수 있도록 지원한다는 점에서 그 의미가 있다(Araz et al., 2020; Chung et al., 2020; Ning et al., 2021).

우리 항공당국은 ‘항공안전 빅데이터 플랫폼 개발을 위한 연구개발사업(국토교통과학기술진흥원, 2020)’ 및 ‘통합항공안전데이터 수집분석시스템 운영사업(국토교통부, 2021)’ 등을 통해 항공안전데이터를 통합적으로 수집·분석하여 항공안전을 저해할 수 있는 위해요인(hazard)을 사전에 발굴하고, 안전활동을 통해 위해요인을 관리하고자 노력하고 있다. 하지만 위해요인이 항공안전에 얼마만큼 심각한 영향을 미치는지, 또는 정부에서 수립한 안전정책이나 항공사 등에서 수행하는 안전활동이 위해요인의 위험도를 감소시키는 데 얼마만큼 효과적이었는지 평가하는 방식은 리스크 패널 회의 등을 통한 정성적인 방식에만 의존하여 이루어지고 있다. 즉, 항공안전감독관, 항공사 안전보안실 담당자 또는 서비스제공자의 항공안전관리체계(SMS; safety management system) 담당자 등 항공안전 이해관계자들이 모여 주관적 의견 또는 경험에 기반하여 위험도 평가를 수행한다. 또한, 위해요인의 위험도 평가를 위한 방법론에 관한 연구가 여전히 부족한 실정이며, 이에 따라 위험도 도출 과정에 대한 명확한 근거를 제시하는 데 한계가 존재한다.

국내 규정에서는 위험도 평가(SRM; safety risk assessment) 수행 시, 발생빈도와 심각도(severity)에 따라 위험도를 계산하도록 명시하고 있으며(국토교통부, 2020), 이는 가장 일반적으로 통용되는 확률론적 접근방식이다(Hadjimichael, 2009). 발생빈도의 경우, 정량화된 수치로 드러나는 이벤트 발생 건수를 집계함으로써 비교적 객관적인 평가결과를 도출할 수 있다. 하지만 심각도의 경우, 국토교통부 및 서비스 제공자의 항공안전관리시스템 담당자 등 항공안전 이해관계자들이 회의를 통해 위험도 평가를 수행하는 등 전적으로 정성적인 방식에 의존하여 평가를 수행하고 있다. 정성적 심각도 평가방식은 평가자의 경험을 반영한 직관적인 결과를 제공한다는 장점이 있지만, 평가자별 주관에 따라 평가결과가 달라질 수 있으므로, 평가결과

의 일관성이 떨어진다는 단점이 존재한다. 또한, 평가자의 경험과 전문성의 분야 및 수준을 동일화할 수 없어, 태생적으로 다양한 분야의 요인을 복합적으로 고려 시 동일 평가 결과를 얻기 어렵다는 한계점을 가진다. 이러한 한계점을 보완하고, 국가 항공안전당국 및 서비스 제공자의 안전활동 이행 효과에 관한 과학적·객관적 평가 기준을 제공하기 위하여, 본 연구에서는 데이터 기반 위험도 정량적 평가기법을 제안하고자 한다.

II. 항공안전 위험도·안전성과 관리

2.1 위험도 관리 절차

항공기 운항은 인적요인, 기술적 요인, 환경적 요인 등 매우 복잡하고 다양한 요인에 영향을 받는다. 이에 따라 항공기 운항 절차 전반에서 발생하는 위험 또한 매우 다양한 유형으로 발생한다(Denney et al., 2019; 김준환 et al., 2020). 위험도 관리(risk management)의 목표는 이러한 요인을 사전에 식별하고, 그 상대적 영향을 측정하며, 이에 대한 이해관계자의 인지도를 높여 위험 완화 조치를 추구할 수 있는 충분한 정보를 제공하는 것이다(Hadjimichael, 2009).

국가항공안전당국은 ‘국가항공안전프로그램’ 및 ‘항공안전데이터 처리 및 활용에 관한 규정’에 따라 위험도 관리 업무를 수행하고 있다. 해당 규정들은 위험도 관리 업무를 ‘지속적으로 변화하는 운영조건 속에서 변화 또는 새롭게 출현하거나 영향력이 증가하는 위해요인을 사전에 식별하고, 이에 대한 위험도를 경감하기 위한 활동’으로 정의하고 있다. 해당 절차는 크게 ① 위해요인 식별, ② 위험도 평가, ③ 위험도 경감, ④ 수용 가능한 안전수준 유지라는 4단계로 구분된다(Fig. 1 참조). 본 연구에서 제시하는 위험도 평가기법은 상기 절차 중에서도 가장 핵심인 ‘위험도 평가’에 해당한다. 위험도 평가 기준을 명확하게 수립함으로써 관리가 필요한 위해요인을 객관적으로 식별하고, 위험도 재평가 과정을 통해 안전활동 이행 효과를 과학적으로 분석할 수 있다. 또한, 제안된 평가기법은 전 항공분야(운항, 관제, 정비, 공항, 항행 등)에서 수집되는 안전 데이터를 기반으로 평가결과를 도출함으로써, 항공산업을 구성하는 전반 요소를 복합적으로 고려한다.

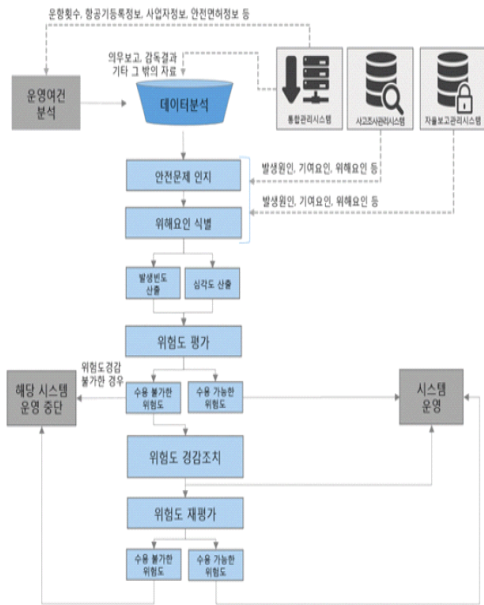


Fig. 1. Procedures for aviation safety risk management

2.2 위험요인 식별

위험도 관리 업무를 수행하는 데 있어서, 가장 선행되는 절차는 위험요인을 식별하는 것이다. 국내 항공안전법 제2조 10의2에서는 위험요인을 ‘항공기 사고, 준사고 또는 항공안전장애를 발생시킬 수 있거나 발생 가능성 확대에 기여할 수 있는 상황, 상태 또는 물적·인적 요인 등’으로 정의하고 있다(국토교통부, 2021). ICAO에서는 위험요인을 ‘항공기 사고 및 관련 사건을 유발하거나 발생시킬 가능성이 있는 상태나 물체’로 정의하고 있다(ICAO, 2016, 2018). 기존 연구에서는 안전관리의 핵심을 ‘영향력이 있는 주요 위험요인을 식별하고, 이를 관리하는 것’이라고 하였다(e.g. Hadjimichael, 2009; Lee, 2006; Netjasov and Janic, 2008; Shyur, 2008; McFadden and Towell, 1999). 국내 항공당국에서는 Table 1과 같은 형태의 위험요인 등록부(Hazard register) 시스템을 운영함으로써 항공사

Table 1. Example of hazard register

| 위험요인 | | 위험요인 분류 | | 출처 | | 잠재 결과 |
|-------|-------------------|---------|-------|-------|--------------|----------|
| 명칭 | 내용 | 대분류 | 중분류 | 출처 | 식별일 | |
| 피로 관리 | 항공종사자 등 개인의 피로 관리 | 운항 정비 | 인적 요인 | 의무 보고 | 2022. 01.01. | 조종 제어 상실 |

나 공항공사 등 서비스 제공자뿐만 아니라, 항공안전 감독관 등 모든 항공안전 이해관계자가 식별한 위험요인을 분류하여 관리하고 있다.

2.3 위험도 평가

효과적인 안전관리를 이행하기 위해서는 위험요인을 식별하는 것을 넘어, 그것의 위험도를 심층적으로 분석하기 위한 방법론이 필요하다(McFadden and Towell, 1999; Shyur, 2008). 현재 국내 해당 규정에 따르면, 위험요인의 위험도는 ① 발생빈도와 ② 심각도를 기반으로 계산된다. 발생빈도는 해당 위험요인이 유발한 항공안전 이벤트가 얼마나 자주 발생하는지를 의미하며, 심각도는 해당 위험요인으로 인하여 발생할 수 있는 이벤트의 물적·인적 피해 정도나 운영상에 끼친 영향 등을 의미한다(국토교통부, 2021). 발생빈도와 심각도 평가 기준은 각각 Table 2, Table 3과 같으며, 발생빈도와 심각도 평가결과에 따른 위험도 분류기준은 Table 4와 같다(국토교통부, 2020).

위험요인 발생빈도의 경우, 해당 위험요인이 유발한 이벤트의 발생 건수를 측정하여 Table 2에 제시된 정량적 기준에 따라 산출하므로, 불특정 다수의 평가자가 평가를 수행하더라도, 비교적 일관된 평가결과를 산출할 수 있다. 하지만 심각도의 경우, 현재까지 정량적인 평가 기준이 없으므로 전적으로 항공안전데이터 처리 및 활용에 관한 규정 제6조에서 정의하는 ‘리스크패널’ 등 항공안전 협의체에서 도출된 전문가 의견에 따라 평가하고 있다(국토교통부, 2020a). 하지만 산업안전

Table 2. Likelihood of occurrence results by hazard

| 구분 | 발생빈도 | 정량적 판정 기준 | |
|----|------------------------------|-------------------------|----------------|
| | | 1회 이상 발생하는 비행시간 | 2백만 비행시간으로 환산 |
| 5 | 매우 높음 (Frequent) | ~1만 시간 미만 | 일 단위 |
| 4 | 높음 (Occasional) | 1만 시간 이상~10만 시간 미만 | 2주 단위 |
| 3 | 보통 (Remote) | 10만 시간 이상~100만 시간 미만 | 월~분기 단위 |
| 2 | 낮음 (Improbable) | 100만 시간 이상~1,000만 시간 미만 | 반기~연간 단위 |
| 1 | 매우 낮음 (Extremely Improbable) | 1,000만 시간 이상~ | 5년 이상에 해당하는 단위 |

Table 3. Severity of occurrence results by hazard

| 구분 | 위험 구분 | 인명 피해 | 항공기 파손 | 운영상 영향 | 위해요인 평가결과 |
|----|----------------------|------------------|------------------------|---|---|
| A | 매우 심각 (Catastrophic) | 사망자 발생 | 항공기 전파 | - | 항공기 사망 사고 또는 위해요인이 이에 준하는 막대한 영향을 미치는 경우 |
| B | 위험 (Hazardous) | 중상자 발생 | 항공기 대파 또는 주요 구성품 손상 | 안전한계 축소 및 종사자의 업무 불가능을 야기하는 신체적 고통 및 업무량 부하 | 항공기 비사망 사고 또는 위해요인이 이에 준하는 막대한 영향을 미치는 경우 |
| C | 중요 (Major) | 경상자 발생 | 항공기 대파 (주요 구성품 손상을 제외) | 안전한계 축소에 따른 정상 업무 수행 불가 | 항공기 준사고 및 운항상 영향이 상당한 경우 |
| D | 경미 (Minor) | 경상자 발생 (감항성 비영향) | 손상 발생 | 원인미상 또는 불필요한 운영제한 발생 및 비상 절차 사용 | 항공안전장애 이나 운항상 영향이 미미한 경우 |
| E | 매우 경미 (Negligible) | 해당 없음 | 비손상 | 거의 없음 | 항공안전장애 이나 운항상 및 탑승자 위험으로 발전되지 않는 경우 |

Table 4. Safety risk level and tolerability

| 위험도 | 수용가능성 | 발생빈도 및 심각도 인덱스 | 위험 경감 조치 수준 |
|----------|----------|--------------------------------|--------------------------|
| 1등급 (심각) | 수용 불가 | 5A, 5B, 5C, 4A, 4B, 3A | 최우선적 경감조치 또는 운영중단 |
| 2등급 (경계) | 수용가능성 검토 | 5D, 4C, 3B, 2A, 1A | 경감조치 실시를 통해 수용 가능 |
| 3등급 (주의) | 수용가능성 검토 | 5E, 4D, 3C, 3D, 2B, 2C, 1A, 1B | 전문가 검토를 통해 경감조치 없이 수용 가능 |
| 4등급 (경미) | 수용 가능 | 4E, 3E, 2D, 2E, 1C, 1D, 1E | 경감조치 불필요 |

* 위험도가 1A인 경우는, 전문가 의견 등을 고려하여 2등급 또는 3등급으로 구분 가능

분야 연구자들은 전통적인(정성적인) 위험도 평가 방식 보다는 과학적·정량적 위험도 평가 방식의 도입이 필요하다고 지적하고 있으며, 두 방식의 상호보완 관계를 통해 보다 나은 안전관리가 가능함을 시사하고 있다(e.g. Han and Weng, 2011; Scorzini and Leopardi, 2017; Zolotukhin and Gudmestad, 2002). 또 다른 연구에서는 정성적 위험평가 방식이 가지는 평가 기준의 주관성, 평가 근거의 미흡함, 위험관리 성능 저하 및 추적관리의 어려움과 같은 한계점을 지적하였다 (Fung et al., 2012).

이에, 본 연구에서는 항공안전 위해요인의 심각도를 정량적으로 평가하기 위한 방법론을 제안하고자 하며, 해당 기법을 통해 위험도 평가결과의 객관성과 일관성을 부여하고자 한다. 제안된 평가기법의 경우, 해외 국가의 항공산업 특성이나 타 산업안전 분야의 특성을 고려하여 산식의 가중치 및 매개변수를 조정함으로써, 국내 항공안전분야뿐만 아니라 국외 항공안전분야 및 타 산업안전분야에 활용될 수 있을 것이다.

2.4 안전성과 관리 절차

국토교통부 항공안전정책과에서는 국가항공안전프로그램(state safety program, SSP)을 시행하여, 매년 국가 항공안전에 위해를 가할 수 있는 위해요인을 관리하고, 항공안전을 증진하기 위한 안전활동을 계획·추진한다. 국가항공안전당국은 항공안전 이해관계자들이 이행한 계획된 안전활동이 위험도 경감에 얼마나 효과가 있었는지, 안전관리시스템이 제 기능대로 작동하는지 여부를 평가하는 등 안전보증(safety assurance) 활동을 수행한다(국토교통부, 2020b).

국가항공안전프로그램 시행에 따른 안전성과를 보다 정확하게 측정하고, 안전수준을 허용 가능한 범위 내로 유지하기 위해서는, 위험도를 정량적이고 객관적으로 평가할 수 있는 접근방식이 필요하다. 이 과정에서도 제안된 평가기법을 활용할 수 있다.

III. 위험도 정량적 평가기법

3.1 사용 데이터

본 연구에서 제안하는 위험도 평가기법에 사용되는 입력 데이터는 ‘항공안전법 제2조 10의4’에서 정의하는 12종의 항공안전데이터이다. 해당 데이터는 항공기 사고·준사고 데이터, 의무보고·자율보고 데이터 및 항

공안전감독 데이터 등 항공안전의 유지 또는 증진을 위해 사용되는 데이터를 의미한다(국토교통부, 2021a).

제안된 기법에 사용되는 입력 데이터의 시간적 범위가 길수록, 생성 범위가 넓을수록, 특정 위험요인이 유발할 수 있는 다양한 유형의 안전 이벤트가 평가결과에 반영된다. 즉, 다양한 대량의 데이터가 사용될수록 위험도 평가결과에 대한 신뢰성이 더 높다고 할 수 있다. 위험도 평가는 국가 항공안전 성과관리의 효율성과 효과성을 고려하여 주기적으로 수행되어야 하며, 평가 주기는 위험도 평가결과에 관한 협의를 수행하는 항공안전협의회(리스크패널) 개최 주기와 동일한 분기 단위(1년에 4회 수행)를 적용한다. 예를 들어, 2022년 2분기 위험도 평가 시에는 2022년 1월 1일부터 6월 30일까지(또는 2019년 6월 30일부터 2022년 6월 30일까지) 수집된 데이터를 사용하며, 필요에 따라 입력 데이터의 시간적 범위를 조정할 수 있다. 세부 연구 절차는 Fig. 2와 같다.

3.2 위험요인 식별

항공안전데이터를 수집한 이후에는, ‘항공안전데이터 처리 및 활용에 관한 규정 제49조’에 따라 해당 데이터와 관련된 위험요인을 식별한다. 예를 들어, 항공기 사고·준사고·안전장애 관련 데이터에는 해당 이벤트와 관련된 항공편 정보, 이벤트 유형, 발생개요 및 조치사항 등에 관한 정보를 포함한다. 안전감독·자율

Table 5. Hazard identification example

| 순번 | 항공안전 이벤트 | 위험요인1 (주요인) | 위험요인2 (기여요인) | 위험요인3 (간접요인) |
|----|----------|----------------|---------------------|------------------|
| 1 | 활주로 침범 | 관계절차 및 허가 준수 | 운항분야 개인의 경험, 훈련, 역량 | 인지 및 상황인식 |
| 2 | 유도로 오진입 | 지상활주 속도 및 방향관리 | 인지 및 상황인식 | 활주로, 유도로 설계 및 배치 |
| 3 | 하드랜딩 | 측풍 | 접근 경로 관리 | - |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |

보고 데이터 등에는 감독결과, 시정조치 및 안전 이벤트에 관한 정보를 포함한다. 본 연구진은 조종사, 관제사, 정비사 등 항공종사자 경력을 일정 수준 이상 보유한 전문가 집단을 구성하여, 해당 이벤트를 유발한 위험요인 및 감독결과·자율보고 내용과 관련한 위험요인을 식별하는 작업을 규정에 따라 수행하였다. 이때 사용하는 위험요인 목록은 등 규정 시행규칙 [별표9]에 따른 목록을 사용하였으며(국토교통부, 2020a), Table 5에 나타난 예시와 같이 각 이벤트에 대해 ‘항공안전데이터 처리 및 활용에 관한 규정 제51조’에 따라 사건의 주요 발생원인 등을 식별하였다. 식별과정에서 분석의 정확성을 확보하기 위하여, 의무보고 데이터에 기재된 이벤트 발생개요 및 조치사항으로부터 직접적으로 도출할 수 있는 위험요인을 최대 3개(주요인, 간접요인, 부가요인) 식별하도록 하였다.

3.3 발생빈도 평가

항공안전 이벤트에 대한 위험요인을 식별한 이후에는, 위험요인의 발생빈도를 평가한다. 발생빈도의 경우, 각 위험요인이 유발한 항공안전장애 등급 이상의 이벤트(항공기 사고·준사고, 항공안전장애) 발생 건수를 집계하고 규정상 기준(Table 2)을 최대한 준용하여 Table 6과 같은 기준에 따라 발생빈도를 평가하였다. 예를 들어, ‘인지능력’이라는 위험요인이 유발하는 항공안전 이벤트가 최근 1년 동안 2건의 준사고와 24건의 항공안전장애를 유발하였다면 ‘인지능력’ 요인의 발생빈도는 4점으로 평가한다.

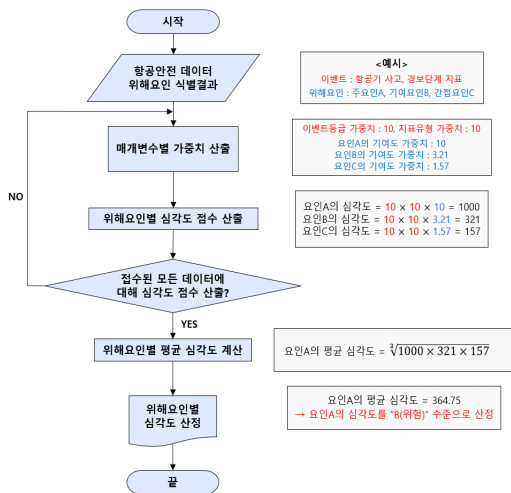


Fig. 2. Procedures of proposed method for hazard severity assessment

Table 6. Likelihood of occurrence results by hazard (amended)

| 점수 | 발생빈도 | 정량적 판정 기준 |
|----|---------------------------------|--|
| 5 | 매우 높음 (Frequent) | 일 단위로 발생 (1년에 365건 이상의 이벤트 유발) |
| 4 | 높음 (Occasional) | 약 2주 단위로 발생 (1년에 26건 이상, 365건 미만의 이벤트 유발) |
| 3 | 보통 (Remote) | 약 월~분기 단위로 발생 (1년에 4건 이상, 26건 미만의 이벤트 유발) |
| 2 | 낮음 (Improbable) | 약 반기~년 단위로 발생 (1년에 1건 이상, 4건 미만의 이벤트 유발) |
| 1 | 매우 낮음 (Extremely Improbable) | 1년 이상 단위로 발생 (1년에 1건 미만의 이벤트 유발) |

3.4 심각도 평가 - 매개변수 설정

제안된 위험도 평가기법에서 심각도를 평가할 때 사용하는 매개변수는 ① 이벤트 등급, ② 지표 유형, ③ 기여도이다. 먼저 이벤트 등급은 Table 3과 같은 심각도에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 요소로 고려되었다.

항공안전 이벤트 등급은 현행 규정에 따라 항공기 사고 및 준사고, 항공안전장애 등으로 구분되며, 이는 실제적으로 인명이나 항공기 구조상 손실의 규모, 운영 또는 안전상 미친 영향을 고려한 것이다. 두 번째 매개변수인 지표 유형은 활주로 이탈(runway excursion), 공중충돌(mid-air collision) 등 ICAO에서 정한 고위험 이벤트 유형(high risk occurrence category) 중 국토교통부에서 모니터링하고 있는 이벤트 유형(항공안전성과지표)을 대상으로, 실제 국내외에서 발생한 주요 이벤트 발생 유형을 반영한 것이다. 이는 ICAO에서 3년마다 운영하는 글로벌항공안전계획(GASP) 또는 국내에서 매년 시행하는 국가항공안전프로그램을 통해 설정하고 있다. 마지막 매개변수인 기여도의 경우, 각 항공안전 이벤트로부터 식별된 위해요인이 실제 이벤트 발생에 얼마만큼 영향을 미쳤는지 고려한 것이다. 즉, 특정 위해요인이 해당 이벤트 발생에 미친 영향의 정도를 심각도 산정에 반영한 것이다.

심각도 평가는 다음과 같은 3가지 과정으로 이루어진다. 첫 번째, 데이터 분석 결과나 감독관 조사 결과 등을 바탕으로 항공안전 이벤트에 대한 발생등급 및 지표 유형을 확인하고, 해당 이벤트 발생에 기여한 위

해요인들(1~3개)에 대한 매개변수별 가중치를 산출한다. 두 번째, 식별된 위해요인별로 3개의 매개변수에 대한 가중치를 곱하여 심각도 점수를 계산한다. 세 번째, 해당 연도(또는 최근 3년)에 누적된 모든 항공안전 데이터에 대해 상기 과정을 수행하며, 위해요인별로 산출된 심각도 점수에 대한 평균을 계산하여, 해당 위해요인에 대한 최종적인 심각도를 산출한다. 특정 위해요인이 어떤 때에는 항공기 사고와 같이 심각도가 높은 안전 이벤트를 유발할 수 있는 반면, 또 다른 때에는 항공안전장애와 같이 비교적 심각도가 낮은 안전 이벤트를 유발할 수 있다. 제안된 방법에서는 위해요인이 유발하는 안전 이벤트들에 대한 심각도의 평균값을 계산함으로써, 그 위해요인이 유발하는 다양한 유형의 안전 이벤트를 고려한 최종적인 심각도를 산출할 수 있다. 이때 평균값은 산술평균 대신에 기하평균을 사용한다. 기하평균을 사용하는 이유는, 각 값들에 대한 대소의 영향을 경감하기 위함이며, 각 값들의 결합적 성격이 더 잘 나타나기 때문이다(Kim et al., 2008). 이후, Table 7과 같은 기준에 따라 해당 위해요인에 대한 최종 심각도 평가결과를 산정한다.

하나의 항공안전 이벤트 발생에는 다수의 위해요인이 복합적으로 작용한다. 예를 들어, Table 5의 첫 번째 이벤트(활주로 침범)의 경우, ① 관제절차 및 허가 준수, ② 운항분야 개인의 경험, 훈련 및 역량, ③ 인지 및 상황인식이라는 3가지 요인이 해당 이벤트를 유발하였다. 이 중에서도 첫 번째 요인으로 식별된 “관제절차 및 허가 준수”라는 요인은 해당 이벤트가 발생한 주요 요인으로 작용하였으며, 조종사의 역량과 관련된 요인이나, 상황인식 및 인지 능력에 관한 요인은 부가적으로 작용한 요인이다. 제안된 평가기법에서는 각 위해요

Table 7. Severity of occurrence results by hazard (amended)

| 구분 | 심각도 | 정량적 판정 기준 (1,000점 만점) |
|----|-------------------------|--------------------------|
| A | 매우 심각 (Catastrophic) | 1,000점 이상 |
| B | 위험 (Hazardous) | 1,000점 미만, 127.99점 이상 |
| C | 중요 (Major) | 127.99점 미만, 67.96점 이상 |
| D | 경미 (Minor) | 67.96점 미만, 7.93점 이상 |
| E | 매우 경미 (Negligible) | 7.93점 미만 |

인의 이벤트 발생 기여도를 고려함으로써, 하나의 이벤트를 유발한 복수의 위험요인에 대한 위험도 평가를 가능하도록 하였고, 항공안전 이벤트 발생에 주요 원인이 되는 위험요인을 효과적으로 식별하고자 하였다.

본 연구에서는 항공안전 의무보고 데이터 등 항공안전 이벤트가 발생한 이후 수집되는 사후적 데이터뿐만 아니라 자율보고, 정기·수시 항공안전감독결과 등 이벤트가 발생하지 않아도 수집되는 안전 데이터를 입력 데이터로 사용한다. 따라서 이벤트 등급을 크게 ① 항공기 사고, ② 항공기 준사고, ③ 항공안전장애, ④ 자율보고, ⑤ 그 외(안전감독 등)으로 구분하였다. 이후, 항공기 사고·준사고와 같이 비교적 인명피해 정도나 항공기 파손 정도가 심각한 등급은 높은 가중치를 부과하며, 자율보고·안전감독과 같이 인명피해나 항공기 파손 정도가 경미하거나 없는 등급은 낮은 가중치를 부과한다.

올해의 경우, 작년에 국가 항공안전 핵심리스크로 선정된 활주로 이탈, 난기류 조우로 부상 등이 항공안전성과지표로 지정되었다. 각 지표는 항공기 운항량 대비 지표 발생 건수(발생률)에 대한 감축 목표치가 존재하며, 각 지표의 위험 수준은 해당 지표의 연간 누적

발생률 및 월간 발생률 등에 따라 Table 8과 같이 평가한다. 이후, 특정 위험요인이 유발한 이벤트의 지표 해당 여부 및 위험 수준(지표 해당 시)에 따라 가중치를 부과한다. 만약, 해당 이벤트가 지표에 해당하며, 위험 수준이 '경보 단계'에 해당하면 높은 가중치를 부과하며, 위험수준이 '안정 단계'이거나 지표에 해당하지 않는 경우엔 낮은 가중치를 부과한다.

3.5 심각도 평가 - 가중치 도출

제안된 기법을 사용하여 위험도를 산출하기 위해서는 상기 매개변수에 대한 가중치를 설정해야 한다. 본 연구에서는, 가중치를 설정할 때 실제 항공안전 이해관계자들이 현장에서 체감하는 심각도를 최대한 반영하고자, AHP(analytic herarchy process) 기법을 사용하여 가중치를 설정하였다. AHP 기법은 설문조사를 통해 요인 간 심각도를 상대적으로 비교하여 각 요인에 대한 심각도를 정량적으로 도출하는 방법이다. 설문 대상은 조종사·관제사·정비사 등 항공종사자, 국토교통부 항공안전정책 및 안전관리시스템(SMS) 담당자, 항공안전분야 연구원, 항공사 안전보안실 관계자 등 65명의 항공안전 이해관계자로 구성하였다. 해당 표본을 대상으로 2022년 7월 15일부터 31일까지 지면 설문조사를 실시하였으며, AHP 분석을 위한 구조화된 설문지를 활용하였다.

설문지는 3개의 매개변수(이벤트 등급, 지표 유형, 기여도)에 대해 각 요인을 쌍대비교하는 설문으로 구성하였다. 쌍대비교 항목의 척도는 평가요인을 왼쪽 및 오른쪽에 두고 평행하게 나열한 뒤 중앙에 기준 값(1)을 위치시키고, 중앙에서 왼쪽과 오른쪽 끝으로 9까지의 값을 부여하였다. 예를 들어, 'X' 요인과 'Y' 요인을 쌍대비교하는 경우, 두 요인이 동일한 심각도를 가진다고 판단한다면, '1'을, 'Y'가 'X'에 비해 약간 더 심각하다고 생각하면 오른쪽 '3'을, 꽤 더 심각하다고 생각하면 오른쪽 '5'를, 매우 더 심각하다고 생각하면 오른쪽 '7'을, 극히 더 심각하다고 생각하면 오른쪽 '9'를 선택하도록 하였다(Fig. 3 참조).

Table 8. Safety performance and risk level for safety performance indicator

| 구분 | 위험수준 |
|-------|---|
| 안정 단계 | - 연간 누적 발생률이 목표치 미만 |
| 관심 단계 | - 연간 누적 발생률이 목표치 이상 - 그리고, 당월 발생률 γ 미만 |
| 경보 단계 | - 당월 발생률 γ 이상 - 또는, 최근 2개월 연속 월간 발생률 β 이상 - 또는, 최근 3개월 연속 월간 발생률 α 이상 |

α : 과거 36개월 평균 발생률 + 1*표준편차(1SD)
 β : 과거 36개월 평균 발생률 + 2*표준편차(2SD)
 γ : 과거 36개월 평균 발생률 + 3*표준편차(3SD)
 (표준편차는 월간 발생률을 기준으로 계산)

| 평가항목 | 극히 심각 | | | | | | | | | 중계심각 | 극히 심각 | | | | | | | | | 평가항목 |
|------|---------|---|---------|---|--------|---|---------|---|----|------|---------|---|--------|---|---------|---|---------|---|--|------|
| | ⑨ | ⑧ | ⑦ | ⑥ | ⑤ | ④ | ③ | ② | ① | | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | | |
| X | 극히 더 심각 | | 매우 더 심각 | | 꽤 더 심각 | | 약간 더 심각 | | 중등 | | 약간 더 심각 | | 꽤 더 심각 | | 매우 더 심각 | | 극히 더 심각 | Y | | |

Fig. 3. Structure of questionnaires

조사 대상으로부터 응답을 얻어 낸 후, 비교 대상에 대하여 왼쪽에 위치한 요인을 더 중요하게 인식할 경우 그 값을 정수로, 오른쪽에 위치한 요인을 더 중요하게 인식할 경우 해당 값을 역수로 변환하여 그 값을 분수로 기록하였다. 이후, 행렬의 역수성을 유지하기 위해 기하평균(geometric mean)하여 AHP 분석을 실시하였다(Aczel and Saaty, 1983).

설문 응답자 65명의 인적 특성은 다음과 같이 분석되었다. 성별은 남성 65.0%(42명), 여성 35.0%(23명)로 나타났으며, 연령은 20대 20.0%(13명), 30대 57.0%(37명), 40대 18.0%(12명), 50대 2.0%(1명), 60대 이상 3.0%(2명)로 나타났다. 학력은 대학교 졸업 74.0%(48명), 대학원 석사 졸업 23.0%(15명), 대학원 박사 졸업 3.0%(2명)로 나타났다(Table 9).

요인 간 심각도를 비교하기 위해 활용한 AHP 분석 기법은 각 설문 항목에 대하여 조사 대상자가 얼마나 일관된 응답을 하였는가에 따라 결과의 신뢰성을 확보할 수 있다. 본 연구에서는 조사 대상자의 응답에 대한 신뢰도를 검증하기 위해 일관성 비율(CR: consistency ratio)을 확인하였다. 보편적으로 일관성 비율이 0.1 이하의 값인 경우, 일관성을 확보하였다고 판단한다(Saaty, 1990). 본 연구에서의 일관성 비율을 계산한 결과, 모든 설문에 대한 일관성 비율이 0.1 이하로 나타났으며, 분석 결과에 있어 신뢰성을 확보하였다고 할 수 있다(Table 10-12).

이벤트 등급에 해당하는 요인 간 심각도를 분석한 결과, 항공기 사고가 57.0%로 가장 심각한 요인으로 도출되었다. 다음으로 항공기 준사고(25.1%), 항공기안

Table 9. AHP respondent properties

| 구분 | 빈도 | 백분율 | |
|----|--------|-----|------|
| 성별 | 남성 | 42 | 65.0 |
| | 여성 | 23 | 35.0 |
| 연령 | 20대 | 13 | 20.0 |
| | 30대 | 37 | 57.0 |
| | 40대 | 12 | 18.0 |
| | 50대 | 1 | 2.0 |
| | 60대 이상 | 2 | 3.0 |
| 학력 | 대학교 졸업 | 48 | 74.0 |
| | 석사 졸업 | 15 | 23.0 |
| | 박사 졸업 | 2 | 3.0 |

Table 10. Severity of occurrence level perceived by respondents

| 구분 | 요인 | 심각도 (인식) | 순위 |
|------------|-------------|----------|----|
| 이벤트 등급 | 항공기 사고 | 0.570 | 1 |
| | 항공기 준사고 | 0.251 | 2 |
| | 항공안전장애 | 0.093 | 3 |
| | 자율보고 | 0.045 | 4 |
| | 그 외(안전감독 등) | 0.041 | 5 |
| CR = 0.088 | | | |

Table 11. Severity of safety performance indicator type perceived by respondents

| 구분 | 요인 | 심각도 (인식) | 순위 |
|------------|------|----------|----|
| 지표 유형 | 경보지표 | 0.595 | 1 |
| | 관심지표 | 0.237 | 2 |
| | 안정지표 | 0.104 | 3 |
| | 지표 외 | 0.064 | 4 |
| CR = 0.070 | | | |

Table 12. Severity of contribution to the occurrence perceived by respondents

| 구분 | 요인 | 심각도 (인식) | 순위 |
|------------|------|----------|----|
| 기여도 | 주요인 | 0.677 | 1 |
| | 보조요인 | 0.217 | 2 |
| | 간접요인 | 0.106 | 3 |
| CR = 0.085 | | | |

전장애(9.3%), 자율보고(4.5%), 그 외(4.1%) 순으로 심각도가 도출되었다. 다음으로 지표 유형 요인들에 대한 심각도를 파악해보았다. 경보지표가 59.5%로 심각도가 가장 높게 인식되었으며, 관심지표 23.7%, 안정지표 10.4%, 지표 외 6.4% 순으로 심각도가 인식되었다. 기여도의 경우, 주요인이 67.7%로 심각도가 가장 높게 나타났으며, 보조요인(21.7%), 간접요인(10.6%) 순으로 심각도가 인식되었다.

심각도 산정 시 계산의 편의성을 확보하고, 사용자가 심각도 수치를 명확하게 구분할 수 있도록 요인별

가중치 범위를 재설정(scaling)하였다. AHP 분석 결과에서 각 매개변수에 대한 요인별 가중치의 최소값은 0 이고 최대값은 1이었으나, 최소값은 0으로 유지하고, 최대값은 10으로 설정하여 모든 요인의 수치를 조정하였다. 각 매개변수별 요인의 최종 가중치는 Table 13 과 같다.

위험요인의 심각도를 계산할 경우 우선 해당 요인이 초래한 이벤트들에 대하여 각각 심각도를 계산한다. 예를 들어, Table 14와 같이 '상황인식 및 인지 능력'이라는 위험요인이 항공안전장애를 유발하였다고 하자. 이벤트 발생 직후, 안전보고 데이터가 접수되며, 분석원 또는 감독관이 해당 이벤트에 대한 발생 경위 조사한 결과, 지표 유형이 '관심지표'이며, 해당 위험요인이 '주요인'으로 작용한 것으로 분석하였다고 하자. 이러한 경우, 각 매개변수별 가중치는 Table 13과 같이 부여하며, 결과적으로 '상황인식 및 인지능력'이라는 위

Table 13. Applying weights for the proposed safety risk assessment method

| 구분 | 요인 | 가중치 |
|--------|-------------|------|
| 이벤트 등급 | 항공기 사고 | 10 |
| | 항공기 준사고 | 4.40 |
| | 항공안전장애 | 1.63 |
| | 자율보고 | 0.79 |
| | 그 외(안전감독 등) | 0.72 |
| 지표 유형 | 경보지표 | 10 |
| | 관심지표 | 3.98 |
| | 안정지표 | 1.75 |
| | 지표 외 | 1.08 |
| 기여도 | 주요인 | 10 |
| | 보조요인 | 3.21 |
| | 간접요인 | 1.57 |

Table 14. Example of calculating risk (single event)

| 위험요인 | 유발 이벤트 | | |
|--------------|--------|--------|------|
| | 구분 | 결과 | 가중치 |
| 상황인식 및 인지 능력 | 이벤트 등급 | 항공안전장애 | 1.63 |
| | 지표 유형 | 관심지표 | 3.98 |
| | 기여도 | 주요인 | 10 |

$$\text{심각도} = 1.63 \times 3.98 \times 10 = 64.874$$

Table 15. Example of calculating risk (multiple event)

| 위험요인 | 유발 이벤트 | |
|--------------|--------------------------|-------|
| | 결과 | 위험도 |
| 상황인식 및 인지 능력 | 이벤트1 (사고, 관심지표, 주요인) | 398 |
| | 이벤트2 (장애, 관심지표, 보조요인) | 20.82 |
| | 이벤트3 (장애, 경보지표, 주요인) | 163 |

$$\text{위험도} = \sqrt[3]{398 \times 20.82 \times 163} = 110.54$$

험요인의 심각도는 '64.874'로 계산된다.

상기 경우와 같이 위험요인이 특정 기간 동안 1건의 이벤트를 유발할 수 있지만, 보통의 경우에는 다수의 이벤트를 유발한다. 즉, 1개의 위험요인에 대하여 심각도가 2개 이상 산출될 수 있다. 이때는 산출한 심각도 값들에 대한 기하평균 값을 해당 위험요인의 대한 심각도로 평가한다. 예를 들어, Table 15와 같이 '상황인식 및 인지 능력'이라는 위험요인이 3개의 이벤트를 유발한 경우, 각 이벤트에 대한 심각도를 계산하고, 그 값들에 대한 기하평균을 계산하여 최종적인 심각도를 산출한다.

3.6 심각도 평가 - 등급 구분

상기 과정을 통해 위험요인별 심각도를 산출한 이후에는, 해당 값을 기반으로 심각도 등급을 평가해야 한다. 심각도 등급을 평가하기 위해서는 심각도 값에 대한 등급 구분 기준(threshold)이 필요하다.

본 연구에서는 심각도 등급에 대한 구분 기준을 설정하기 위하여, 통계적 기법을 활용하였다. 각 매개변수에 대한 요인의 조합은 총 60개의 경우의 수(이벤트 등급 5가지×지표 유형 4가지×기여도 3가지)이며, 주어진 가중치를 활용하여 점수를 계산한 결과는 Table 16과 같다. 계산된 점수 순서대로 60가지 경우를 균등하게 5 분할하여 심각도 등급을 부여하면 A등급 구간에 상위 1~12순위의 경우의 수가 포함된다. 즉, 1순위(사고, 경보지표, 주요인)와 12순위(자율보고, 경보지표, 주요인)가 같은 등급으로 평가된다. 하지만 1순위의 점수는 1000점, 15순위의 점수는 78.95점으로 그 차이가 매우 크며, 1순위의 이벤트 등급은 항공기 사고이고 12순위는 '자율보고' 등급이기 때문에 실무적 관점

에서 1순위와 12순위를 같은 등급으로 평가하기에 무리가 있다. 즉, 단순히 최고점부터 최저점까지의 점수를 균등하게 5 분할하여 심각도 등급을 부여하게 되면 규정에서 정의하는 심각도의 정의를 반영하기 어렵다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 데이터 집합을 분포화하여 나타내는 박스 플롯(box plot)을 활용하여 심각도 등급을 구분하였다. 박스 플롯은 일련의 데이터를 사분위 수(quartile)의 최소·최대값으로 구분하며, 데이터 집합의 분산, 왜도, 이상치(outlier)를 쉽게 식별할 수 있다. 또한, 비교적 극단적인 값에 영향을 받지 않고 데이터 집합을 구분화할 수 있다는 장점이 존재하기 때문에(Frigge et al., 1989), Table 16

Table 16. Calculation results in each case using the AHP weight

| 순위 | 이벤트 등급 | 지표 유형 | 기여도 | 점수 | 심각도 등급 |
|----|--------|-------|------|--------|---------|
| 1 | 사고 | 경보지표 | 주요인 | 1.000 | A(매우심각) |
| 2 | 준사고 | 경보지표 | 주요인 | 440.35 | B(위험) |
| 3 | 사고 | 관심지표 | 주요인 | 398.32 | B(위험) |
| 4 | 사고 | 경보지표 | 보조요인 | 320.53 | B(위험) |
| 5 | 준사고 | 관심지표 | 주요인 | 175.40 | B(위험) |
| 6 | 사고 | 안정지표 | 주요인 | 174.79 | B(위험) |
| 7 | 안전장애 | 경보지표 | 주요인 | 163.16 | B(위험) |
| 8 | 사고 | 경보지표 | 간접요인 | 156.57 | B(위험) |
| 9 | 준사고 | 경보지표 | 보조요인 | 141.15 | B(위험) |
| 10 | 사고 | 관심지표 | 보조요인 | 127.67 | C(중요) |
| 11 | 사고 | 지표 외 | 주요인 | 107.56 | C(중요) |
| 12 | 자율보고 | 경보지표 | 주요인 | 78.95 | C(중요) |
| 13 | 준사고 | 안정지표 | 주요인 | 76.97 | C(중요) |
| 14 | 안전감독 | 경보지표 | 주요인 | 71.93 | C(중요) |
| 15 | 준사고 | 경보지표 | 간접요인 | 68.95 | C(중요) |
| 16 | 안전장애 | 관심지표 | 주요인 | 64.99 | D(경미) |
| 17 | 사고 | 관심지표 | 간접요인 | 62.37 | D(경미) |
| 18 | 준사고 | 관심지표 | 보조요인 | 56.22 | D(경미) |
| 19 | 사고 | 안정지표 | 보조요인 | 56.03 | D(경미) |
| 20 | 안전장애 | 경보지표 | 보조요인 | 52.30 | D(경미) |
| 21 | 준사고 | 지표 외 | 주요인 | 47.37 | D(경미) |
| 22 | 사고 | 지표 외 | 보조요인 | 34.48 | D(경미) |
| 23 | 자율보고 | 관심지표 | 주요인 | 31.45 | D(경미) |

Table 16. Continued

| 순위 | 이벤트 등급 | 지표 유형 | 기여도 | 점수 | 심각도 등급 |
|----|--------|-------|------|-------|---------|
| 24 | 안전감독 | 관심지표 | 주요인 | 28.65 | D(경미) |
| 25 | 안전장애 | 안정지표 | 주요인 | 28.52 | D(경미) |
| 26 | 준사고 | 관심지표 | 간접요인 | 27.46 | D(경미) |
| 27 | 사고 | 안정지표 | 간접요인 | 27.37 | D(경미) |
| 28 | 안전장애 | 경보지표 | 간접요인 | 25.55 | D(경미) |
| 29 | 자율보고 | 경보지표 | 보조요인 | 25.31 | D(경미) |
| 30 | 준사고 | 안정지표 | 보조요인 | 24.67 | D(경미) |
| 31 | 안전감독 | 경보지표 | 보조요인 | 23.06 | D(경미) |
| 32 | 안전장애 | 관심지표 | 보조요인 | 20.83 | D(경미) |
| 33 | 안전장애 | 지표 외 | 주요인 | 17.55 | D(경미) |
| 34 | 사고 | 지표 외 | 간접요인 | 16.84 | D(경미) |
| 35 | 준사고 | 지표 외 | 보조요인 | 15.18 | D(경미) |
| 36 | 자율보고 | 안정지표 | 주요인 | 13.80 | D(경미) |
| 37 | 안전감독 | 안정지표 | 주요인 | 12.57 | D(경미) |
| 38 | 자율보고 | 경보지표 | 간접요인 | 12.36 | D(경미) |
| 39 | 준사고 | 안정지표 | 간접요인 | 12.05 | D(경미) |
| 40 | 안전감독 | 경보지표 | 간접요인 | 11.26 | D(경미) |
| 41 | 안전장애 | 관심지표 | 간접요인 | 10.18 | D(경미) |
| 42 | 자율보고 | 관심지표 | 보조요인 | 10.08 | D(경미) |
| 43 | 안전감독 | 관심지표 | 보조요인 | 9.18 | D(경미) |
| 44 | 안전장애 | 안정지표 | 보조요인 | 9.14 | D(경미) |
| 45 | 자율보고 | 지표 외 | 주요인 | 8.49 | D(경미) |
| 46 | 안전감독 | 지표 외 | 주요인 | 7.74 | E(매우경미) |
| 47 | 준사고 | 지표 외 | 간접요인 | 7.42 | E(매우경미) |
| 48 | 안전장애 | 지표 외 | 보조요인 | 5.63 | E(매우경미) |
| 49 | 자율보고 | 관심지표 | 간접요인 | 4.92 | E(매우경미) |
| 50 | 안전감독 | 관심지표 | 간접요인 | 4.49 | E(매우경미) |
| 51 | 안전장애 | 안정지표 | 간접요인 | 4.47 | E(매우경미) |
| 52 | 자율보고 | 안정지표 | 보조요인 | 4.42 | E(매우경미) |
| 53 | 안전감독 | 안정지표 | 보조요인 | 4.03 | E(매우경미) |
| 54 | 안전장애 | 지표 외 | 간접요인 | 2.75 | E(매우경미) |
| 55 | 자율보고 | 지표 외 | 보조요인 | 2.72 | E(매우경미) |
| 56 | 안전감독 | 지표 외 | 보조요인 | 2.48 | E(매우경미) |
| 57 | 자율보고 | 안정지표 | 간접요인 | 2.16 | E(매우경미) |
| 58 | 안전감독 | 안정지표 | 간접요인 | 1.97 | E(매우경미) |
| 59 | 자율보고 | 지표 외 | 간접요인 | 1.33 | E(매우경미) |
| 60 | 안전감독 | 지표 외 | 간접요인 | 1.21 | E(매우경미) |

과 같이 산출된 점수 간 수치의 차이가 큰 경우에 효과적으로 사용될 수 있다.

박스 플롯을 통해 사분위 수를 계산한 결과, 1분위 수는 7.93, 2분위 수는 23.86, 3분위 수는 67.96으로 산출되었다. 3분위 수이자 박스의 상위 경계인 67.96 이상의 값을 보이는 데이터는 이상치로 분류할 수 있다. 해당 값은 기대 변동보다 극단적인 값을 보이는 것으로, 현행 규정에 따라 해석하면, 심각도가 중요(C) 등급 이상의 단계인 것으로 간주할 수 있다. 이후 최대 값인 1,000점을 기준으로 A등급과 B등급을 구분하였고, 상자의 상위 수염(upper whisker)을 기준으로 B등급과 C등급을 구분하였다. 상자 내부인 67.96부터 7.93까지의 범위는 전체 데이터 집합의 1분위 수부터 3분위 수까지로, 해당 범위에 속하는 데이터는 D등급으로 구분하였다. 마지막으로, 7.93부터 최소값인 1.21 범위 내에 있는 데이터는 E등급으로 구분하였다(Fig. 4 참조).

박스 플롯을 통해 심각도 등급을 구분한 이후, Table 17과 같이 관련 규정에서 정의한 심각도 등급에 대한 의미적 구분과 실제 데이터를 통해 도출한 이벤트 주요 발생유형(이벤트 등급, 지표 유형, 주요인 기준)을 비교하였다. 결과적으로 규정상 정의에 따른 물적

Table 17. Severity threshold

| 심각도 | 규정상 정의 | 점수 구분 | 주요 유형 (주요인 기준) |
|--------------|---|------------------------|------------------------------|
| A (매우심각) | · 사망자 발생 · 항공기 전파 · 운영 불가 | 1,000 이상 | · 사고 · 경보지표 |
| B (위험) | · 중상자 발생 · 항공기 주요 구성품 손상 · 운영상 막대한 영향 | 1,000 미만, 127.99 이상 | · 사고, 준사고 · 경보지표, 관심지표 |
| C (중요) | · 경상자 발생 · 항공기, 인력 등에 피해 발생 · 운영 효율 및 대응능력 감소 | 127.99 미만, 67.96 이상 | · 안전장애 · 경보지표, 관심지표 |
| D (경미) | · 경상자 발생 · 감항성 비영향 · 운영상 제한 발생 및 비상절차 가동 | 67.96 미만, 7.93 이상 | · 안전장애, 자율보고 · 안정지표, 지표 외 |
| E (매우 경미) | · 인력피해없음 · 항공기 비손상 · 운영상 영향 거의 없음 | 7.93 미만 | · 안전감독 · 지표 외 |

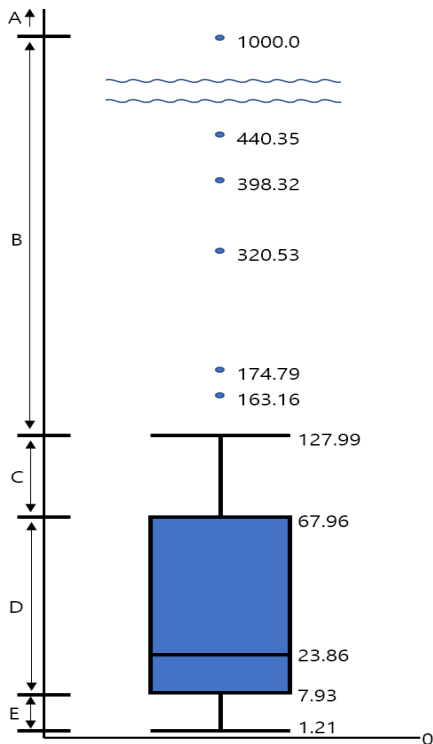


Fig. 4. Box plot result in each case

· 인적 피해 및 운영상 끼친 영향의 정도와 실제 발생한 이벤트 유형이 유사하게 나타남을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

4.1 연구 활용방안

본 연구에서 제안한 위험도 평가기법을 사용하여 2021년 운송부문 항공안전 위험요인에 대한 위험도 평가를 수행한 결과, 항공기 접근경로 관리 등 총 10개의 위험요인이 관리가 필요한 주요 위험요인(위험도가 주의등급 이상인 위험요인)으로 도출되었다. 정비분야에서는 항공기 정비(발동기) 등 2개의 요인이 주요 위험요인으로 나타났다. 관제분야의 경우, 무인항공기(드론) 관련 장애 등 3개의 요인이, 그리고, 공항분야에서는 활주로, 유도로 가용 여부 등 2개의 요인이 주요 위험요인으로 도출되었다.

특정 위험요인이 다수의 항공안전 이벤트를 유발하거나, 인적·물적 피해 규모가 큰 이벤트를 유발하는 경우, 해당 위험요인의 발생빈도 및 심각도가 높아진다. 즉, 특정 위험요인이 유발한 이벤트 발생 건수와

이벤트 유형에 따라 위험도가 높아질 수 있으며, 위험도가 높은 위해요인 목록을 국가 항공안전당국에 제시함으로써 해당 요인에 대한 관리·감독 강화가 필요함을 인지시켜 줄 수 있다.

또한, 제안된 기법을 통해 도출한 위험도 평가결과를 국가 항공안전당국이 분기마다 개최하는 리스크패널 회의에서 활용할 수 있다. 정성적인 방식에만 의존하여 주요 위해요인을 식별하는 기존 방법과 달리, 실제 데이터를 기반으로 도출한 주요 위해요인을 분야(운항, 관제, 공항 등)별 안전관리 담당관에게 제시함으로써, 보다 효율적으로 위험도 경감 대책을 마련하고, 국가 차원의 항공안전 증진을 도모할 수 있다. 실제 안전관리 담당관들이 현장에서 체감(잠재적 결과 등을 고려)하는 위험도와 본 기법을 통해 도출한 위험도 평가결과를 비교·분석함으로써 위험도 평가결과에 대한 전문가의 견해와 객관성을 모두 확보할 수 있다. 이와 더불어, 안전관리 전문가의 의견을 수렴하여, 본 기법에서 사용하는 매개변수 및 가중치 등을 조정하거나 사용하는 데이터의 범위를 조정하는 등의 과정을 통해 기법 자체를 고도화시킬 수도 있다.

4.2 시사점

위험도 평가 방식은 크게 정성적 위험도 평가방식과 정량적 위험도 평가방식으로 나눌 수 있다. 정성적 위험도 평가의 경우, 사람의 인식에 기반하여 위험의 발생 가능성과 심각성을 평가하는 방법으로, 근무 현장 등 업무의 최전선에서 위해가 될만한 요인을 제거하고, 물질·인적 자원을 효율적으로 배분하는 목적으로 주로 활용된다. 정량적 위험도 평가의 경우, 데이터에 기반하여 위험의 발생 가능성과 심각성을 정량적으로 평가하는 방법으로, 그동안 축적된 데이터에 기반하여 향후 위해가 될만한 요인을 사전에 객관적으로 식별하여 안전 문제의 발생을 사전에 방지하는 목적으로 주로 활용된다.

국내 항공안전 분야의 경우, 기존에는 정성적인 방식에만 의존하여 위험도 평가를 수행하였다. 본 연구에서는 항공안전데이터를 기반으로 위해요인에 대한 위험도를 정량적으로 평가하는 기법을 제시함으로써, 기존 정성적 위험도 평가방식을 보완하고, 국가 항공안전에 위해가 될 만한 요인을 사전에 식별하여 국가 항공안전당국의 예측적 안전관리 수행을 지원하고자 하였다.

마지막으로, 본 연구진들은 안전관리를 목적으로 한 위험도 평가결과를 도출할 때 제안된 정량적 평가기법

과 더불어 기존 방식인 정성적 평가방식을 함께 활용하기를 권고한다. 비록 데이터 기반의 정량적 위험도 평가기법이 정성적인 방식에 비해 더 객관적이고 일관된 평가 결과를 제공하지만, 현장에서 종사자들이 직접 체감하는 위험도가 해당 데이터에 반영되지 않았을 수 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위하여 리스크 패널 회의 등을 통해 각 분야 종사자들이 느끼는 위험도를 최종 위험도 평가 결과에 추가 반영할 필요가 있다. 또한, 새로운 유형의 안전 데이터가 수집될 때마다 제안된 기법에서 사용하는 매개변수나 가중치를 조정하여 해당 데이터를 위험도 평가에 활용할 수 있어야 한다.

후 기

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 “빅데이터 기반 항공안전관리 기술개발 및 플랫폼 구축”(20BDAS-B158275-01)의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

References

1. Kim, J. H., Lim, J. J., and Lee, J. R., “A study on the analysis of aviation safety data structure and standard classification”, *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 28(4), 2020, pp.89-101.
2. Oster Jr, C. V., Strong, J. S., and Zorn, C. K., “Analyzing aviation safety: Problems, challenges, opportunities”, *Research in Transportation Economics*, 43(1), 2013, pp.148-164.
3. Ostroumov, I., Marais, K., Kuzmenko, N., and Fala, N., “Triple probability density distribution model in the task of aviation risk assessment”, *Aviation*, 24(2), 2020, pp.57-65.
4. Li, L., Das, S., John Hansman, R., Palacios, R., and Srivastava, A. N., “Analysis of flight data using clustering techniques for detecting abnormal operations”, *Journal of Aerospace Information Systems*, 12(9), 2015, pp.587-598.
5. Singh, A., and Kaushik, A., “Knowledge based retrieval scheme from big data for aviation industry”, 2015 International Conference on Computational Intelligence and

- Communication Networks (CICN), 2015, pp. 918-923.
6. Walker, G., "Redefining the incidents to learn from: Safety science insights acquired on the journey from black boxes to flight data monitoring", *Safety Science*, 99, 2017, pp.14-22.
 7. ICAO, "ICAO Doc 9859 Safety Management Manual 4th edit", 2018.
 8. Araz, O. M., Choi, T. M., Olson, D. L., and Salman, F. S., "Data analytics for operational risk management", *Decision Science*, 51(6), 2020, pp.1316-1319.
 9. Chung, S. H., Ma, H. L., Hansen, M., and Choi, T. M., "Data science and analytics in aviation", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 134, Online Published.
 10. Ning, S., Sun, J., Liu, C., and Yi, Y., "Applications of deep learning in big data analytics for aircraft complex system anomaly detection", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 235(5), 2021, pp.923-940.
 11. KAlA, "Announcement of Implementation of Big Data-based Aviation Safety Management and Security Certification Technology Development Project in 2020".
 12. Aviation News, "Enhancing data-driven aviation safety..." Operation of the Aviation Safety Data Analysis and Research Center, 2021.
 13. MOLIT, "Regulations on the Processing and Utilization of Aviation Safety Data", 2020a.
 14. Hadjimichael, M., "A fuzzy expert system for aviation risk assessment", *Expert Systems with Application*, 36(3), 2009, pp.6512-6519.
 15. Denney, E., Pai, G., and Whiteside, I., "The role of safety architectures in aviation safety cases", *Reliability Engineering & System Safety*, 191, 2019, Online Published.
 16. MOLIT, "Aviation Safety Act", 2021.
 17. ICAO, "Annex 19 - Safety Management", 2016.
 18. Lee, W. K., "Risk assessment modeling in aviation safety management", *Journal of Air Transport Management*, 12(5), 2006, pp.267-273.
 19. Netjasov, F., and Janic, M., "A review of research on risk and safety modelling in civil aviation", *Journal of Air Transport Management*, 14(4), 2008, pp.213-220.
 20. Shyur, H. J., "A quantitative model for aviation safety risk assessment", *Computers & Industrial Engineering*, 54(1), 2008, pp.34-44.
 21. McFadden, K. L., and Towell, E. R., "Aviation human factors: A framework for the new millennium", *Journal of Air Transport Management*, 5(4), 1999, pp.177-184.
 22. Han, Z. Y., and Weng, W. G., "Comparison study on qualitative and quantitative risk assessment methods for urban natural gas pipeline network", *Journal of Hazardous Materials*, 189(1-2), 2011, pp.509-518.
 23. Scorzini, A. R., and Leopardi, M., "River basin planning: From qualitative to quantitative flood risk assessment: The case of Abruzzo Region (central Italy)", *Natural Hazards*, 88(1), 2017, pp.71-93.
 24. Zolotukhin, A. B., and Gudmestad, O. T., "Application of fuzzy sets theory in qualitative and quantitative risk assessment", *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 12(04), Online Published.
 25. Fung, I. W. H., Lo, T. Y., and Tung, K. C. F., "Towards a better reliability of risk assessment: Development of a qualitative & quantitative risk evaluation model (Q2REM) for different trades of construction works in Hong Kong", *Accident Analysis & Prevention*, 48, 2012, pp.167-184.
 26. MOLIT, "State Safety Program", 2020b.
 27. Aczel, J., and Thomas L. Saaty, "Procedures for synthesising ratio judgements", *Journal*

- of *Mathematical Psychology*, 27, 1983, 93-102.
28. Saaty, Thomas. L., "The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation", 2nd ed., Pittsburgh, PA: RWS Publications, 1990.
29. Kim, H., Lee, H., and Park, M., "Quantitative risk assessment methodology for construction site", *Korean Institute of Construction Engineering and Management*, 2008, pp.463-466.
30. Frigge, M., Hoaglin, D. C., and Iglewicz, B., "Some implementations of the boxplot", *The American Statistician*, 43(1), 1989, pp. 50-54.