

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2021.29.3.084>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

운항품질보증프로그램 이벤트 유형 및 심각도 우선순위 조사

김진호*, 이상기**, 문우춘***, 정현진****

Event Type and Severity Priority Survey of Airline Flight Operation Quality Assurance(FOQA) Program

Jin Ho Kim*, Sang Gee Lee**, Woo Choon Moon***, Hyun Jin Jeong****

ABSTRACT

Flight data from operational quality assurance programs plays a significant role in identifying factors as one of the key data in the development of proactive and preventive aviation safety management technologies based on data. The list of events in the flight quality assurance program recommended by the FAA differs from the list set and managed by airlines themselves and is based on the frequency of occurrence rather than the severity of individual events. In this work, we compared the list of FOQA events presented by the FAA with the list of some domestic airlines. We also investigate the severity priorities of events for airline captains and conduct research on how to improve the operation of the operational quality assurance program.

Key Words : Flight Operations Quality Assurance(운항품질보증프로그램), Airborne Data Recording Systems(공중데이터기록시스템), Safety Management Manual(항공안전관리매뉴얼), Event Type(이벤트 타입), Severity(심각도)

1. 서 론

항공안전 관리기술이 개선되어감에 따라 치명적 인명피해를 유발하는 항공 사고 비중은 감소 추세에 있으나 사고·준사고·항공안전장애에 해당하는 이벤트는 지속적으로 발생하고 있으며, 인적요소를 포함한 잠재되어 있는 위해요인들이 항공안전을 위협하고 있다.

이에 미국과 유럽을 중심으로 사전예방적 항공안전

관리체계로의 변화를 위해 다양한 시도와 노력이 이루어지고 있으며, 빅데이터를 기반으로 한 항공안전관리 시스템(미국: ASIAs, 유럽: Data 4safety)을 개발하여 운영 중이다.

현재 우리나라는 정부 및 항공사 등 개별 국가기관 및 이해관계자가 자체적으로 생산되고 관리하는 항공안전 데이터 중에서 국가항공안전데이터, 공중항적데이터, 운항품질보증프로그램, 안전보고, 자율보고, 공항운영 데이터 등 다양한 출처의 데이터를 수집, 분석하고 활용하여 과학적·예측적으로 항공안전을 관리하기 위한 기술 개발과 플랫폼 구축사업이 진행 중이다.

빅데이터를 기반으로 항공안전관리 기술을 개발하기 위해서 위해요인을 식별하고, 각 위해요인의 심각도와 빈도를 통해 위험 수준을 정량화하여 해당 위해요인을 경감시키려는 노력이 필요한데 FOQA(flight operational

Received: 06. Aug. 2021, Revised: 27. Sep. 2021,

Accepted: 28. Sep. 2021

* ㈜루다시스 대표

** ㈜루다시스 전임연구원

*** 항공우주산학융합원 첨단항공우주기술연구소장

연락처 E-mail : moon@iia.ci.or.kr

연락처 주소 : 인천광역시 연수구 갯벌로 36, 351호

**** 항공우주산학융합원 항공우주정보센터장

quality assurance)로 불리는 항공사의 운항품질보증 프로그램에 사용되는 비행데이터(flight data)가 위해 요인 식별 및 빈도의 정량화에 상당한 역할을 담당하고 있다.

운항품질보증 프로그램은 항공기로부터 수집된 비행 데이터를 비행단계별로 분석하여 표준 운항으로부터 벗어나거나, 정상범주를 벗어난 비행에 대한 데이터를 발췌하여 활용하는 시스템이다. 정해진 parameter의 기준치를 초과하는 상황을 통상 사건(event)이라 하고, 항공사는 자체적으로 관리대상이 되는 이벤트를 목록화하여 안전관리를 수행한다.

항공사에서 관리하는 이벤트 리스트는 각 항공사에서 식별하고 있는 사후적 위해요인에 근거하여 작성하고 있지만, 식별되지 않은 위해요인에 대한 분석의 어려움이 있다. 더불어 항공사에서 관리하는 이벤트는 그 발생빈도를 정량화하기는 용이하나, 이벤트별 심각도에 대한 정량화 부재로 관리 대상의 우선순위를 단순 발생빈도에 의존한다는 한계가 있다.

본 연구에서는 FAA에서 제시하고 있는 FOQA event 리스트와 국내 일부 항공사의 이벤트 리스트를 비교·분석하여 총 76개의 FOQA event 리스트를 도출하였다. 이에 대해 국내 2,974명(20년)의 기장과 국외에서 활동하고 있는 약 300명의 내국인 기장 등, 총 추정 3,300명의 기장 모집단 중 100명의 기장을 대상으로 설문조사를 수행하였다.

설문 항목으로는 총 비행시간, PIC 시간, 비행훈련 과정 등 개인 배경에 대한 조사와 더불어, FOQA event 항목을 5점 척도로 구분하여 각 이벤트별 심각도 수준을 파악하였다. 이를 통해 개인 배경별 이벤트를 인식하는 차이점과 이벤트 목록별 심각도를 도출하였다. 다만, 본 연구에서 각 이벤트의 심각도를 조사하고, 발생 빈도는 연구 범위에 포함하지 않는다.

II. 본 론

2.1 FOQA 정의 및 제도 개요

FOQA는 항공사들이 항공기가 운항 중에 발생한 상황을 전자적 기록 장치로 수집하고, 실제 비행 중에 어디에서 무슨 일이 있었는지를 분석하여, 사고로 연결될 가능성이 있는 안전 문제를 규명, 항공안전을 제고시키는 프로그램을 지칭한다.

FOQA 프로그램을 통해 항공사 및 종사자들은 타 정보와 달리 항공기 운항 상 수집되는 방대한 자료를

보다 객관적으로 정량화할 수 있으며, 발생하는 사건에 대한 정확한 자료 수집을 가능하게 해 준다.

FOQA의 초기 형태는 FDR(flight data recorder)의 호일 기록 장치에 5~30가지의 비행자료를 기록하여 분석한 것이 시초가 되었다.

1960년대에 영국 British Airway(BA)는 FDR를 통해 기록된 비행자료들을 분석해본 결과, BA에서 발생한 대부분의 사고들이 급작스레 발생한 것이 아니라, 발생 이전에 준사고 및 경미한 사고와 같은 전조 징후들이 지속적으로 발생하였다는 사실을 인지하였고, 이는 FOQA data 분석의 시초가 되었다.

1995년 7월 美 FAA는 항공 관련 주요 운영자들을 대상으로 자발적인 FOQA demo 프로젝트를 실시하였다. 해당 프로젝트는 안전운항 측면에서 유의미한 성과를 도출하였으며, 본 데모 프로젝트를 통해 FAA는 FOQA 운영에 대한 제도를 구축하였다.

FOQA 프로그램을 통해 수집된 데이터는 그 자체로서 항공사에게 불이익으로 작용하거나, 운항 상 실수를 저지른 조종사에게 징계의 수단으로 활용될 가능성이 있어, 수집된 데이터에 대한 비공개 원칙 필요성이 대두되었다.

美 FAA는 2001년 10월, 데이터의 비공개, 비처벌 원칙에 입각한 규칙(14 CFR Part 13.401)을 제정하였으며, 현재까지 FOQA를 통해 수집된 데이터는 운항 승무원의 실수를 처벌하거나 징계로 사용되지 않고, 운항 안전성 및 효율성 향상을 위해서만 활용되고 있다.

2.2 FOQA 데이터 구성

FOQA를 구성하는 데이터는 국가별, 항공사별로 일부 차이가 존재할 수 있지만, 기본 구성은 항공기 내·외부 데이터를 기록하는 ① 공중데이터 기록 시스템(airborne data recording systems), ② GDRA 시스템(ground data replay and analysis system), ③ 항공/지상 데이터 전송(air/ground data transfers)으로 구성되어 있다.

공중데이터 기록 시스템은 항공기 내부의 QAR(quick access recoder)과 같은 비행데이터 수집 장치 혹은 이와 유사한 기능을 수행하는 FDR을 통해 항공기 내·외부의 정보를 수집하고 기록한다. 데이터는 항공기 운항의 중요 요소를 측정하는 탑재형 센서를 통해 수집되고, 대부분의 센서 정보는 여러 데이터 버스(bus)를 통해 최종 목적지로 전송되며 각 연결 버스와 상호연결되어 수집된다.

GDRA 시스템은 원본 데이터를 분석에 적합한 형식으로 변환하고 시각화 자료를 생성하여 관련 운영자에게 제공하며, 항공 운송업자가 지정하는 작동 측정치¹⁾에 기초하여 원본 데이터에서 FOQA event를 추출한다. 원본 데이터의 분석은 항공사의 운영 표준(제조사의 항공기 운영 제한사항 등)에 의해 결정된 정상 운항 범주, 사건 발생 범주 또는 ROM²⁾(routine operational measurement)을 벗어나는 이벤트에 초점을 맞출 수 있다.

항공기와 지상 간의 FOQA 데이터 전송은 많은 인력과 비용을 요구한다. FOQA 운영자는 운영 프로그램의 요구 조건을 충족하는 프로세스를 정밀하게 구축해야 하는데, 데이터 전송 방식(지상·전자·무선 기반 전송) 및 데이터 유지관리 절차를 통해 데이터 전송 체계를 구축한다.

2.3. FOQA Event List

2.3.1 FAA의 FOQA Event List

FAA는 항공운송 업계의 안전문제를 해결하고, 잠재적인 안전 위협을 식별하기 위하여 FOQA 프로그램을 도입하였다. FAA Advisory Circular 120-82는 항공기 탑재 장비를 통해 발생하는 데이터를 총 61가지의 이벤트로 구분하였다.

본 연구는 FAA의 61가지의 이벤트를 비행 상황을 고려하여 7단계로 재분류하였다. 계류장에 주기된 항공기는 유도로를 지나 활주로에서 이륙하고, 계획된 고도로 상승 및 순항하여 목적지 공항(혹은 대체 공항)으로 하강·접근하여 최종적으로 착륙하는 일련의 과정을 거친다. 세부단계로는 ① 이륙 전 단계, ② 이륙 및 상승, ③ 순항, ④ 하강 및 접근, ⑤ 착륙, ⑥ 착륙 후, ⑦ 기타로 구분된다(Fig. 1).

2.3.1.1 이륙 전 단계

이륙 전 단계의 측정 이벤트는 총 6가지로 해당 변수들은 항공기가 이륙하기 전 수행하는 엔진점검, 지상 활주 등 결심속도 전후의 상황 속에서 발생하는 상태를 포함한다.

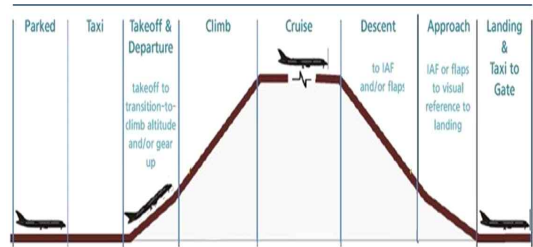


Fig. 1. Classification by flight phase

- (Excessive Power On the Ground) 지상에서 사람 또는 장비에 피해를 줄 수 있는 정도의 높은 파워 출력 설정
- (Excessive EGT-Start) 엔진 시동절차에서 매뉴얼 상의 EGT³⁾ 한계치 초과 상태.
- (Engine Over-temp) 운항 한계치를 초과한 EGT가 발생할 때의 이벤트
- (Takeoff Warning) TO Configuration 경고 알림음이 울린 경우
- (Rejected Takeoff-Low Speed) 이륙 활주가 시작되고 이륙이 사전에 정해진 속도보다 낮은 지점에서 단념되었음을 감지하는 이벤트
- (Rejected Takeoff-High Speed) 이륙 활주가 시작되었고, 이륙이 미리 정해진 속도 이상에서 단념되었음을 감지하는 이벤트

2.3.1.2 이륙 및 상승 단계

이륙 및 상승 단계의 이벤트는 총 14가지로 해당 변수들은 항공기가 이륙 직후 활주로 상공을 상승하는 순간부터 순항을 위한 상승을 마무리하는 단계 속에서 발생하는 이벤트를 포함한다.

- (Liftoff Speed High) 항공기의 VLOF 속도가 상대적으로 높은 상태인 이벤트
- (Liftoff Speed Low) 항공기의 VLOF 속도가 상대적으로 낮은 상태인 이벤트
- (Pitch High at Takeoff) 이륙 시 요구되는 피치각 대비 측정된 Pitch 각에 관한 이벤트
- (Takeoff Climb Speed High) 이륙 단계 중 요구되는 상승속도 보다 높은 상승속도를 감지하는 이벤트

1) 매개변수, 임계 값(예: 접근 시 분당 1,000피트를 초과하는 강하 속도) 등.

2) ROM은 특정 기간 또는 조건에 대해 지정된 매개변수의 변화에 대한 통계를 제공하고, 정상적인 항공기 운영 여부에 대한 귀중한 추세 정보를 제공.

3) EGT(exhaust gas temperature) 항공기 엔진의 연소실에서 연소된 후, 터빈 출구를 통해 배기되는 순간에 측정된 배기가스의 온도.

- (Takeoff Climb Speed Low) 이륙 단계 중 요구 상승속도보다 낮은 상승속도를 감지하는 이벤트
- (Early Flap Retraction) 플랩 수축 시작 고도에 도달하기 전의 플랩 수축을 감지하는 이벤트
- (Excessive Bank Angle at Takeoff) 뱅크 각도가 최대 허용 뱅크 각도를 초과하는 경우를 감지하는 이벤트
- (Turbulence Flaps Extended) 플랩 수축 전에 과도한 G-force를 감지하는 이벤트
- (Slow Initial Climb) Clean up-Altitude⁴⁾까지 상승 중 정상상승 속도보다 느릴 때 발생하는 이벤트
- (Abnormal Flap Retraction) 선택한 플랩 위치와 이전에 선택한 플랩 위치 사이의 느린 플랩 움직임을 감지하는 이벤트
- (Height Loss in Climb) 상승이 이루어지지 않고, 오히려 고도가 상실되는 상승 실패를 감지하는 이벤트
- (Climb Speed High) 상승속도가 10,000ft 이하에서 250kt보다 더 높은 값일 때를 감지하는 이벤트
- (Flap Limit Altitude) 최대 플랩 작동 허용 고도 이상에서 작동되는 경우를 감지하는 이벤트
- (Turbulence Flaps Up) 공중에 떠 있는 동안 과도한 G-force를 감지하여 난류 상황과의 조우를 나타내는 이벤트

2.3.1.3 순항 단계

순항 단계의 이벤트는 총 5가지로 해당 변수들은 항공기의 상승 단계가 종료되는 시점부터 착륙을 위해 하강을 시작하기 전까지의 상황에서 발생하는 상태를 포함한다.

- (Holding⁵⁾/ Excess Radar Vectoring) ATC 홀딩/레이더 유도로 인한 과도한 지연을 감지하는 이벤트
- (Operating Ceiling Exceeded) 허가된 최대 운항고도 이상에서의 항공기 운항을 감지하는 이벤트
- (Landing Gear Down Speed Exceeded(Mach)) 착륙기어가 하강 위치에 있는 상태에서 운항에 허용되는 최대 마하수를 초과하는 운항을 감지하는

이벤트

- (Mmo Exceeded) 항공기 계기상 최대 허용 마하수를 초과하는 마하수가 발생하였을 때를 감지하는 이벤트
- (Vmo Exceeded) 항공기 계기상 최대 허용 비행속도를 초과하는 비행 속도의 발생을 감지하는 이벤트

2.3.1.4 하강 및 접근 단계

FAA에서 설정한 하강 및 접근 단계의 이벤트는 총 20가지로 해당 변수들은 항공기가 착륙을 위해 하강을 시작하는 순간부터 최종 접근 절차상 착륙 직전의 상황에서 발생하는 상태를 포함한다.

- (High Descent Rate) 비정상적으로 높은 강하율을 측정하는 이벤트. 해당 이벤트는 다른 ATC 시설로 인해 발생할 수 있는 비정상적인 하강 속도를 포착하기 위해 고도 범위별로 세분화할 수 있다.
- (Excessive Speedbrake Usage) 하강 중 스피드 브레이크가 사용되는 시간을 측정하는 이벤트. 해당 이벤트는 특정 공항으로의 도착 절차를 평가하는 데 유용하다.
- (Approach Speed High) 계산된 최종 접근 속도를 초과하는 접근에 대한 작동을 감지하는 이벤트. 해당 이벤트는 고도별로 세분화되어야 한다. 고도별 범위는 HAT 1,000피트 이하, HAT 500~1,000피트 이하, HAT 50~500피트 이하, HAT < 50피트 이하이다.
- (Approach Speed Low) 계산된 최종 접근 속도보다 낮은 상태로 접근하는 상황을 감지하는 이벤트
- (Excessive Power Increase) 최종 접근 단계상 과도한 파워 증가를 감지하는 이벤트
- (Abnormal Configuration-Flaps/Speedbrake) 플랩과 스피드 브레이크의 동시 사용을 감지하는 이벤트
- (Abnormal Flap Extension) 플랩의 상태 변화 움직임이 느릴 경우 감지하는 이벤트
- (Landing Gear Down Speed Exceeded(IAS)) 랜딩 기어가 하강 위치에 있는 상태에서 항공기의 계기상 비행 속도가 최대 허용 비행 속도를 초과하는 경우를 감지하는 이벤트

4) 랜딩기어, 플랩 등 항공기 외장이 retract되는 고도.

5) Holding. 관제기관으로부터 추가 관제허가를 기다리는 동안 항공기를 지정된 공역 지점 내에 유지하는 사전 지정된 기동(대개 타원형 트랙 패턴).

- (Late Landing Flaps) 지정된 고도에 도달할 때까지 플랩이 착륙 위치로 이동하지 못한 상태를 감지하는 이벤트
- (Low Power on Approach) 사전 지정된 고도 이하에서 언스풀(unsPOOL)된 항공기 엔진 또는 언스풀 상태가 될 때까지의 파워 감소를 감지하는 이벤트
- (Landing Gear Operation) 계기속도가 랜딩기어를 접고 펼칠 수 있는 최대 속도를 초과하는 경우를 감지하는 이벤트
- (Operation Left of Localizer Centerline) 로컬라이저 중심선에서의 좌측 이탈을 감지하는 이벤트
- (Operation Right of Localizer Centerline) 로컬라이저 중심선에서의 우측 이탈을 감지하는 이벤트
- (Operation Above Glideslope) 활공각 위로의 이탈을 감지하는 이벤트
- (Operation Below Glideslope) 활공각 아래로의 이탈을 감지하는 이벤트
- (Descent Below MDA) 비정밀 접근에서 MDA 이하로 하강을 감지하는 이벤트
- (Flap Limiting Speed) 플랩 활용 시 운용 한계 속도를 초과하는 비행 속도를 감지하는 이벤트
- (Go Around) 항공기가 착륙을 위해 하강하는 도중 하강을 중단하고, 그 접근 방식에서 착륙하지 않았음을 감지하는 이벤트
- (ATC Go Around) ATC 지시에 의해 발생한 Go-around를 감지하는 event로 불안정한 접근 등으로부터 발생한 Go-around는 제외
- (Late Landing Configuration) 500ft HAT에서 항공기의 착륙 플랩 및 랜딩기어가 내려와 있지 않고, 잠금 위치로 고정되지 않는 상태 이벤트

2.3.1.5 착륙

하강 및 접근 단계의 이벤트는 총 11가지로 해당 변수들은 항공기가 활주로에 착륙하는 상황에서 발생하는 상태를 포함한다.

- (Tire Limiting Speed) 타이어 제한 속도를 초과

하는 운항을 감지하는 이벤트

- (Pitch High-Landing) 항공기의 후미가 지상과 접촉하는 각도에 따라 착륙 시 피치각을 측정하는 이벤트
- (Pitch Low-Landing) 초기 노즈-기어 터치다운 또는 3점 접지⁷⁾이 발생할 수 있는 항공기 노즈 다운 자세에서 항공기의 피치각을 측정하는 이벤트
- (Landing in a Crab) 터치다운 시 활주로에 항공기가 정렬되지 못한 경우를 감지하는 이벤트
- (Hard Landing) 터치다운 시 과도한 G-force를 측정하여 하드랜딩을 감지하는 이벤트
- (Bounced Landing) 터치다운에서 과도한 G-force가 측정되고 연달아 두번째 과도한 G-force가 측정되었을 때 발생하는 이벤트
- (Excessive Brake Usage) 정상 사용보다 많은 브레이크 사용을 감지하는 이벤트
- (Thrust Reverser Stowed) 착지 롤아웃 중에 역추력장치가 꺼지는(stowed) 속도를 측정하는 이벤트
- (Overweight Landing) 최대 허용 착륙 중량을 초과하는 상태에서의 착륙을 감지하는 이벤트
- (Abnormal/ Incorrect Landing Flaps) 항공기가 최소 요구되는 착륙 플랩 설정보다 낮은 각도의 플랩으로 착륙할 때 감지되는 이벤트
- (Runway/Taxi way Rough) 활주로/유도로 노면의 결함으로 인한 지상에서 발생하는 과도한 G-force를 측정하는 이벤트

2.3.1.6 착륙 후

하강 및 접근 단계의 측정 변수는 1가지로 해당 변수는 항공기가 활주로에 착륙 후 발생하는 상황을 포함한다.

- (Engine Reverse at Low Speed) 엔진 과열 및/또는 FOD⁸⁾ 흡입을 유발할 수 있는 저속에서의 엔진 후진 사용을 감지하는 이벤트.

2.3.1.7 기타

앞선 6단계의 이벤트에 속하지 않는 측정 변수는 총 4가지로 해당 변수들은 앞선 항공기 운항 단계별 발생

6) 언스풀(unsPOOL). 제트엔진이 적절한 rpm값으로 가속화 중일 때, 엔진이 적절한 rpm값에 없거나, 가속화되기 위하여 충분한 시간이 필요할 때를 의미한다.

7) 3점 접지. 항공기 2개의 주륜과 후륜(전륜)이 동시에 지면에 동시에 착륙함을 의미함.

8) FOD(foreign object damage); 엔진에 이물질이 흡입되어 가스터빈 엔진의 가스통로에 있는 구성품 파손시키는 것.

하는 상황뿐만이 아닌 어느 시점에서도 발생하는 상태를 포함한다.

- (Stick Shaker⁹⁾ Operation) 스틱 셰이커 작동 탐지 이벤트
- (GPWS Warning) GPWS 경고의 발생을 감지하는 이벤트
- (Engine Failure) 비행 중 엔진 고장/첫다운을 감지하는 이벤트
- (TCAS Advisory) TCAS 알람을 감지하는 이벤트

2.3.2 국내 3개 항공사 FOQA Event List

국내 항공사들은 자체적인 안전보안실을 운영하며 FOQA 데이터를 분석하고 있다. 본 조사는 국내 항공사 FOQA event 리스트 도출을 위해 다음과 같이 항공사별로 FOQA event 리스트를 비교·분석 후 나열하였다.

- FOQA 데이터 처리 특성상 관련된 정보는 기밀로 분류되므로, 각 항공사의 회사명은 A, B, C로 비식별화하였다.

항공사별로 FOQA event 목록은 대체로 상호 유사한 특징을 보이나, 항공사들은 FAA의 FOQA 리스트 외에도 독자적인 이벤트 목록을 활용하여 프로그램을 운용 중에 있다.

- FAA FOQA event 목록 중 일부는 3개 항공사와 거의 유사한 의미를 지니거나, 하나의 이벤트가 항공사에서는 2, 3가지의 개념으로 분화되어 활용되기도 한다.

(A 항공사) A 항공사는 총 49개의 FOQA event 목록을 가지고 있다. 이 중 FAA와 33개가 공통되며, 독자적으로는 16개 이벤트 목록을 활용 중이다.

- (공통 목록) Slow Speed Rejected T/O, Rejected T/O, Rotation Speed High, Rotation Speed Low, Rotation Pitch High, Climb out Pitch High, Climb Speed Low, Flap Retract Early, Excessive Bank, Altitude Loss During Climb, Flap Extended altitude over, Max Operating Altitude Over, L/G Extension Speed Over, MMO over, VMO over, Decent Rate High, Approach speed High, Approach Speed Low, Speed Brake with Flap, Speed Brake

used below 1,000ft, Localizer Deviation, Deviation Above G/S, Deviation Below G/S, Flap Placard Speed Over, Go Around, Delayed Landing Configuration Landing Gear, Pitch High, Pitch Low at T/D, Hard Landing Vertical G, Hard Bounced Landing, Stall Warning, GPWS, TCAS Warning, MAX Reverse at low speed.

- (독자 운영 목록) Abnormal T/O configuration, Auto-slat Extension, Delayed Runway Alignment, Flap 20 Auto-land, Flap 25 Auto-land, Height Excursion, High Lateral Acceleration, In-Flight Vert Acceleration, Long Flare, Maximum Delta Heading, Predictive windshear, Roll out Heading Stability, Single A/P Auto-land Detection, Slat Retract Early, SPEED Brake Used During Go Around, Toga Mode Engaged During Approach, NO G/A

(B 항공사) B 항공사는 총 45개의 FOQA event 목록을 가지고 있다. 이 중 FAA와 24개가 공통되며, 독자적으로는 총 21개의 이벤트 목록을 활용 중이다.

- (공통 목록) Rejected Take-off, Pitch High at Lift-Off, Roll exceedance in flight, Speed high at low altitude, Exceedance of flap altitude limit, Altitude exceedance, Speed exceedance MMO, Speed exceedance VMO, High rate of descent during approach, Speed high at gear down, Localizer deviation, Glideslope deviation between, Speed high in conf FLAP, Go Around, Late configuration setting at landing, Speed high at tire limit, Pitch High at Touch-Down, Pitch Low at Touch-Down, High vertical acceleration on ground, Bounced landing, Overweight landing, Incorrect configuration setting at landing, GPWS, TCAS Warning.

- (독자 운영 목록) Auto Landing, Autopilot off during cruise, Delayed braking, Early configuration change during initial climb, Heading deviation during take-off(above

9) Stick shaker. 항공기의 요크에서 신속하게 소음 및 진동을 발생시키도록 설계된 기계 장치로 운항승무원에게 공기역학적 실속이 감지되었음을 경고.

100kts until lift off), Heading deviation during landing(above 60kts), Heading excursion during landing, High Lateral Acceleration, High longitudinal acceleration on ground(Emergency Braking), Late heading change in final approach, Long flare, Long landing distance, Low fuel at landing, P-Valve Full > 25,000ft, Short landing distance, Speed high at landing exit, Speed high during taxi, Speed-brake use during final approach, Speed-brake use with high engine thrust, Touch and Go, Wind-shear warning

(C 항공사) C 항공사는 총 54개의 FOQA event 목록을 가지고 있으며, 이 중 FAA와 37개가 공통되며, 독자적으로는 17개 이벤트 목록을 활용 중이다.

- (공통 목록) Incorrect Takeoff Flap Configuration, Rejected Takeoff, Unstick speed high, Unstick speed low, High Pitch Angle at Takeoff, Excessive Bank Angle, High Climb Speed, Flap Altitude Limit Exceeded, Flap Altitude Limit Exceeded, Gear Down Speed Exceeded (Mach), MMO Exceedance, VMO Exceedance, High Rate of Descent, Approach speed High, Approach Speed Low, Excessive Power on Approach, Speedbrake and Flaps Extended, Gear Down Speed Exceeded, Late Landing Configuration - Flap, Low Power on Approach, Gear Up Speed Exceeded, Excessive Localizer Deviation, Excessive Glideslope Deviation - Above G/S, Excessive Glideslope Deviation - Below G/S, Flap Speed Exceeded, Go Around, Late Landing Configuration - Gear, Tire Speed Limit Exceeded, High Pitch Angle on Landing, Excessive Crab on Landing, Hard Landing, Overweight landing, Incorrect Landing Flap Configuration, Stick Shaker, GPWS, TCAS RA Warning, Reverser Use at Low Speed
- (독자 운영 목록) Auto Landing High Acceleration, Autopilot Disengaged above 15,000ft, Autopilot Disengaged Late on Approach, Autopilot Engaged Early on Takeoff, Early

Configuration Change, Excessive Lateral Acceleration in Flight, Excessive Taxi Speed, High Vertical Acceleration in Flight, High Vertical Acceleration in Flight-Flaps Extended, Long Flare, Low on Approach, Low Pitch Rate at Takeoff, Low Vertical Acceleration in Flight, Low Vertical Acceleration in Flight-Flaps Extended, Minimum Maneuvering Speed, Minimum Speed, Overweight Takeoff

전반적인 항공사들의 FOQA event 목록은 50개 전후로 그 목록의 수는 Table 1과 같이 유사하지만, FAA와 공통되는 항목에 있어서 항공사별로 차이점을 지닌다. 특히, B 항공사의 경우, A, C 항공사와 달리 약 50%에 해당하는 FOQA event 목록을 독자적으로 활용한다.

최종적으로 본 연구에서 활용하는 FOQA event는 FAA가 정한 61개의 이벤트와 국내 3개 항공사가 독자적으로 선정한 각각의 이벤트에 대해 전문성과 객관성을 갖춘 기장단 자문회의(항공사 기장 6명)를 통해 결정하였다. 중복되는 항목과 각 항공사의 정책에 의해 결정된 이벤트를 최대한 반영하고, 이벤트 중 운항 분야에서 크게 벗어난다고 판단되는 이벤트를 제외한 총 76가지 이벤트(FAA 59개, 항공사 17개)를 Table 2와 같이 심각도 우선순위의 측정 변수로 정하였다. 변수에 대해서는 이륙 전, 이륙 및 상승, 순항, 하강 및 접근, 착륙, 착륙 후, 기타로 총 7단계로 분류하였다.

국내 A~C 항공사 이벤트를 분석 후 도출한 17가지의 이벤트 목록은 다음과 같다.

- (Long Flare) 착륙 접지 조작 실패로 접지까지의 시간이 오래 걸린 경우
- (In-Flight Acceleration(Vertical, Lateral)) 어떤 원인이든 비행 중 Vertical 또는 Lateral Acceleration 높은 경우
- (On-Ground Acceleration(Lateral, Lontitudinal))

Table 1. Comparison of FAA and A~C airlines

	A 항공사	B 항공사	C 항공사
FAA-항공사 공통 목록	33	24	37
FAA-항공사 비공통 목록	16	21	17
총계	49	45	54

Table 2. List of FOQA events

구분 (항목수)	FOQA event list
이륙 전 (6)	Excessive Power on the ground, Excessive EGT-Start, Engine Overtemp, Takeoff Warning, Rejected Takeoff-Low Speed, Rejected Takeoff-High Speed
이륙 및 상승 (17)	Overweight Takeoff, Liftoff Speed High, Liftoff Speed Low, Pitch High at Takeoff, Takeoff Climb Speed High, Takeoff Climb Speed Low, Low Pitch Rate at Takeoff, Late Landing Gear Retraction, Early Flap Retraction, Excessive Bank Angle at Takeoff, Turbulence Flaps Extended, Slow Initial Climb, Abnormal Flap Retraction, Height Loss in Climb, Climb Speed High, Flap Limit Altitude, Tublence Flaps Up
순항(7)	In-Flight High Acceleration(Vertical, Lateral), Holding/Excess Radar vectoring, Minimum Maneuvering Speed, Operating Ceiling Exceeded, Landing Gear Down Speed Exceeded(Mach), Mmo Exceeded, Vmo Exceeded
하강 및 접근 (20)	High Descend Rate, Approach Speed High, Approach Speed Low, Excessive Power Increase, Abnormal Configuration Flaps/Speed Brake, Abnormal Flap Extension, Landing Gear Down Speed Exceeded(IAS), Late Landing Flaps, Low Power on Approach, Landing Gear Operation(SPD Exceeded Transit), Late Heading Change in Final Approach, Operation Left of Localizer Centerline, Operation Right of Localizer Centerline, Operation Above Glide Slope, Operation Below Glide Slope, Descend Below MDA, Flap Limiting Speed, Go Around, TOGA Mode Engaged during Approach(NO G/A), Late Landing Configuration
착륙 (16)	Long Flare, Tire Limiting Speed, Pitch High Landing, Pitch Low Landing, Landing in a Crab, Hard Landing, Bounced Landing, Touch and Go, Single A/P Autoland Detection, Low Fuel at Landing, Short Landing Distance, Excessive Brake Usage, Thrust Reverser Stowed, Overweight Landing, Abnormal/Incorrect Landing Flaps, Runway/Taxiway Rough
착륙 후 (3)	On-Ground High at Landing Exit, Speed High at Landing Exit, Speed High During Taxi
기타 (7)	Stick Shaker Operation, GPWS Warning, Windshear Warning, Engine Failure, TCAS Advisory, Engine Reverse at Low Speed, Speedbrake Use with High Thrust

Turn 속도나 Brake의 부적절한 사용으로 인한 G force

- (Late Heading Change in Final approach) Final상황에서 활주로 정대가 낮은 경우
- (Windshear Warning) W/S Warning이 울린 경우
- (Speedbrake Use with High Engine Thrust) go around시 또는 climb 중 high power에서 speedbrake 사용
- (Single A/P Autoland Detection) 하나의 auto pilot으로 자동착륙
- (TOGA Mode Engaged during Approach, NO G/A) 접근 중 복행 의도 없이 TOGA MODE engaged
- (Late L/G Gear Retraction) landing gear를 늦게 올린 경우
- (Low Fuel at Landing) 착륙 후 연료가 정해진 기준 미만
- (Short Landing Distance) 접지 거리가 짧은 경우
- (Speed High at Landing Exit) 착륙후 활주로 개방시 taxi speed
- (Speed high During Taxi) 구간별 Taxi 속도 초과
- (Touch and Go) 활주로에 접지 후 복행한 경우
- (Low pitch Rate at Takeoff) 이륙단계에서 상승률이 낮은 경우
- (Minimum Maneuvering Speed) minimum maneuvering speed 이하로 비행한 경우
- (Overweight Takeoff) MTOW을 초과하여 이륙한 경우

2.4 FOQA Event 심각도 우선순위 조사 방법

FOQA event 심각도 우선순위 조사는 개별 변수들에 대해 위험도를 등급화하고 이에 대하여 조종사의 경험과 지식에 기반한 평가 방식이 적합하다고 판단, 가장 집단을 표본으로 설정하여 설문조사를 진행하였다.

설문의 목적은 개별 FOQA event가 가지고 있는 심각도에 대한 항공사 기장의 인식을 확인하고 식별되지 않은 위해 요인 또는 전조 징후로 볼 수 있는 고위험군의 이벤트를 도출하는 것이다.

총 비행경력 및 주력기종의 다양성을 고려하여 추출한 전·현직 항공사 기장 중 100명을 대상으로 설문을 진행하였으며, 앞서 도출된 76가지 FOQA event를 5

점 척도로 파악하였다. 심각도의 기준은 매우 심각하다(5점), 대체로 심각하다(4점), 보통이다(3점), 별로 심각하지 않다(2점), 전혀 심각하지 않다(1점)로 정의하였다.

총 76가지의 FOQA event 목록 평가에 앞서, 표본 집단의 개인 경력, 비행환경 등의 요소에 따라 FOQA 평가 척도가 구별되는 특징을 분석하였다. 개인 배경 정보는 비행훈련 방식 혹은 이수 전공과 같은 개인정보와 더불어 총 비행시간, PIC 시간 등의 비행경력, 주력기종 및 근무지 형태 등이 포함되었다.

2.5 FOQA Event 심각도 설문결과

FOQA event에 대한 설문결과는 ① 개인 배경 분석, ② FOQA event 심각도 우선순위, ③ 비행 단계별 분석, ④ FAA AC 또는 항공사 자체 식별 이벤트 분석, ⑤ 이벤트 속성에 의한 분석으로 총 5개의 범주로 결과를 도출하였다.

2.5.1 개인 배경에 의한 심각도 우선순위 결과

개인 배경에 대한 설문은 다음의 항목에 대한 사항을 조사하였다.

- 초기 비행훈련(initial training) 방식
- 이수 전공
- 총 비행경력(근무 연도별)
- 총 비행시간(일반항공(GA) 포함)
- 총 기장 경력(PIC) 시간
- 교관 및 심사관 시간
- 최다 비행시간 보유 항공기
- 주력기종(ICAO 기종 분류)
- 주력기종(운영 특성별 기종 분류)
- 항공운송 사업형태(FSC, LCC 등)

개인의 배경별로 FOQA event 목록을 인식하는 심각도는 특히 '초기 비행훈련 방식'에서 의미 있는 분석 결과가 도출되었다. 초기 비행훈련 방식은 크게 세 가지로 나누어 분석하였는데, 항공사 자체 부기장 양성 프로그램인 Ab Initio에 의해 초기 훈련을 받은 경우(A), 군(공군, 해군, 육군)에서 초기 훈련을 이수한 경우(M), 항공유학 또는 국내 항공학교에서 교육을 받은 경우(U)이다. 항공사 자체양성 프로그램에서 훈련한 기장(A)이 3.57로 FOQA event 심각도를 가장 높게 평가하였고, 항공유학 또는 국내 항공학교를 이수한 기장(U)이 3.46, 이·착륙을 포함한 전 비행단계에서 초기 훈련을 군에서 받았던 기장(M)이 3.43으로 심각도를

가장 낮게 평가했다.

2.5.2 FOQA Event 심각도 우선순위

전체 76가지 이벤트의 총 평균은 3.5점, 표준편차는 0.55점으로 나타났다. 이 중 심각도 '상'의 수치 3.5점을 초과하는 항목은 총 39개로 Table 3과 같다. 이 중

Table 3. Severity 'High' FOQA event average

순위	FOQA event list	평균
1	Engine failure	4.40
2	Stick shaker operation	4.37
3	Pitch high landing	4.35
4	GPWS warning	4.33
5	Low fuel at landing	4.27
6	Late landing configuration	4.26
7	Operating ceiling exceeded	4.23
8	Bounced landing	4.23
9	Rejected take-off at high speed	4.20
10	Vmo exceeded	4.19
11	Mmo exceeded	4.13
12	Windshear warning	4.13
13	Descend below MDA	4.12
14	Pitch low landing	4.10
15	Pitch high at take-off	4.05
16	Tire limiting speed	4.00
17	Hard landing	4.00
18	Overweight take-off	3.95
19	Approach speed low	3.95
20	Low power on approach	3.94
21	Abnormal / incorrect landing flaps	3.91
22	Lift-off speed low	3.89
23	TCAS advisory	3.85
24	Flap limiting speed	3.83
25	Operation below glide slope	3.82
26	Single A/P autoland detection	3.82
27	Landing gear down speed exceeded(Mach)	3.81
28	Height loss in climb	3.78
29	Landing gear down-speed exceeded(IAS)	3.77
30	Overweight landing	3.77
31	Minimum maneuvering speed	3.76
32	Landing gear operation(SPD exceeded transit)	3.76
33	Excessive bank angle at take-off	3.74
34	Flap limit altitude	3.71
35	Late landing flaps	3.69
36	Speedbrake use with high engine thrust	3.64
37	High descend rate	3.55
38	Engine over temp	3.53
39	Take-off climb speed low	3.51

고위험군에 속하는 수치 4.0 이상의 항목은 총 17개가 도출되었다.

Table 4는 심각도 기준 '상' 외의 변수로서 3.5점

Table 4. Severity other than 'High' FOQA event average

순위	FOQA event list	평균	
40	Late heading change in final approach	3.43	
41	Long flare	3.37	
42	Operation above glide slope	3.36	
43	Landing in a crab	3.36	
44	Abnormal flap extension	3.34	
45	Take-off warning	3.33	
46	Speed high at landing exit	3.32	
47	Touch and go	3.30	
48	Short landing distance	3.27	
49	Abnormal configuration - Flaps/speed brake	3.26	
50	Excessive EGT-start	3.24	
51	Operation left of localizer centerline	3.21	
52	Abnormal flap retraction	3.18	
53	Excessive brake usage	3.17	
54	Approach speed high	3.16	
55	Operation right of localizer centerline	3.16	
56	Engine reverse at low speed	3.16	
57	Turbulence flaps extended	3.15	
58	Excessive power on the ground	3.13	
59	Excessive power increase	3.12	
60	In-flight high acceleration(vertical, lateral)	3.06	
61	Low pitch rate at take-off	3.03	
62	Early flap retraction	3.03	
63	Runway/taxiway rough	3.03	
64	On-ground high acceleration(lateral, longitudinal)	3.03	
65	Rejected take-off at low speed	3.01	
66	Turbulence flaps up	2.93	
67	Speed high during taxi	2.84	
68	TOGA mode engaged during approach, NO G/A	2.81	
69	Lift-off speed high	2.73	
70	Slow initial climb	2.69	
71	Thrust reverser stowed	2.64	
72	Take-off climb speed high	2.58	
73	Late landing gear retraction	2.54	
74	Holding/excess radar vectoring	2.45	
75	Climb speed high	2.19	
76	Go around	2.07	
전체 평균	3.50	표준편차	0.55

이하에 해당하는 FOQA event 현황이다.

전체 FOQA event에 대한 심각도 정규분포표는 다음의 그림과 같이 나타났다. 전반적으로 중간값인 3.0 점 부근에 가장 많은 분포를 보이며, 심각도 '상'에 해당하는 평균값 3.5점을 초과하는 부분에서도 넓은 분포를 보인다(Fig. 2).

2.5.3 비행단계별 심각도 우선순위

설문조사 시행 결과 비행단계별 심각도의 평균은 Fig. 3과 같다. 사고 및 준사고로 이어질 수 있는 비행 단계는 주로 이륙과 착륙 구간에서 발생한다. 반면, FOQA event의 심각도 우선순위 조사의 결과는 전 구간¹⁰⁾에 걸쳐서 발생할 수 있는 이벤트(예: Stick shaker operation, GPWS warning, Windshear warning, Engine failure, TCAS advisory, Speed brake use with high engine thrust)가 4.12점으로 가장 높은 심각도를 보인다.

착륙과 순항 또한 각각 3.7점으로 높은 심각도를 지니며, 하강 및 접근 3.5, 이륙 전부터 이륙 및 상승 구간은 각각 3.4, 3.2점으로 나타났다. 착륙 후의 단계에서는 비교적 낮은 심각도인 3.1점이 도출되었다.

대체로 순항, 하강 및 접근, 착륙, 전 구간으로 구분된 이벤트들은 편차가 크지 않으면서 심각도가 높은 것으로 나타났으나, 이륙 전, 이륙 및 상승, 착륙 후 단

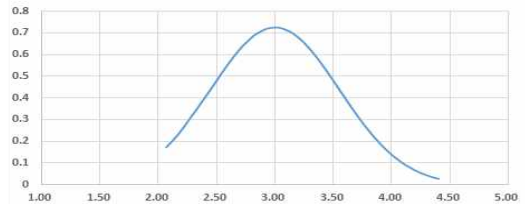


Fig. 2. Normal distribution table of overall FOQA event severity

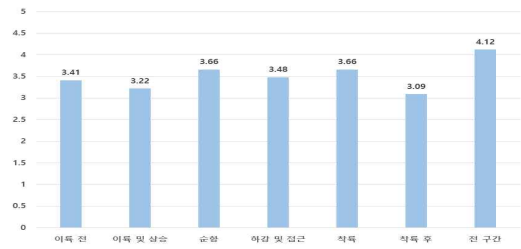


Fig. 3. Segment average for each flight phase

10) 전 구간은 비행의 모든 단계에서 '이륙 전'과 '착륙 후'를 제외한 이륙부터 착륙까지의 구간을 의미.

계의 분포는 응답자의 편차가 다소 크다.

비행단계별 정규분포는 Fig. 4와 같이 나타났다. 전반적으로 중간값인 3.00 부근에 가장 많은 분포를 보이며, 비행단계 중 이륙 전, 순항, 하강 및 접근, 착륙, 전 구간 단계는 심각도가 높은 분포를 보이고 기타 이륙 및 상승, 착륙 후 단계는 상대적으로 낮은 심각도 분포를 보인다.

2.5.4 FAA·국내 항공사 FOQA Event 심각도 비교 분석

2.5.4.1 FAA FOQA Event 심각도

FAA AC 120-82에 포함된 이벤트 리스트와 FAA AC 120-82에 포함되지 않았으나 항공사에서 자체적으로 식별하는 이벤트 리스트를 비교·분석하였다.

총 59개의 FAA FOQA event 중 33개(약 56%)의 항목이 심각도 상 기준인 3.5점을 초과하여 높게 나타났다며, 그 항목은 다음과 같다.

- Engine Over temp, Rejected Take-Off at High Speed, Overweight Take-Off, Lift-Off Speed Low, Pitch High at Take-Off, Take-Off Climb Speed Low, Excessive Bank Angle at Take-Off, Height Loss in Climb, Flap Limit Altitude, Operating Ceiling Exceeded, Landing Gear Down Speed Exceeded(Mach), Mmo Exceeded, Vmo Exceeded, High Descend Rate, Approach Speed Low, Landing Gear Down-Speed Exceeded(IAS), Operation Below Glide slope, Descend Below MDA, Flap limiting speed, Late Landing Configuration, Tire Limiting Speed, Pitch High Landing, Pitch Low Landing, Hard Landing, Bounced Landing, Overweight Landing, Abnormal /

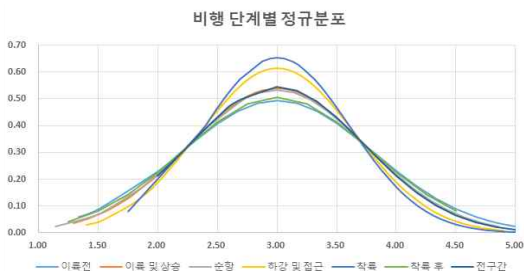


Fig. 4. Normal distribution table of FOQA event severity by flight stage

Incorrect Landing Flaps, Stick Shaker Operation, GPWS Warning, Engine Failure, TCAS Advisory

2.5.4.2 FAA 불포함, 항공사 자체 식별 FOQA Event

총 17개의 FAA AC 미포함 항목 중 6개(약 35%) 항목이 3.5점 이상으로, 심각도가 높게 나타났다.

- Overweight Take-Off, Minimum Maneuvering Speed, Minimum Maneuvering Speed, Single A/P Autoland Detection, Low Fuel at Landing, Windshear Warning, Speedbrake Use with High Engine Thrust

FAA AC에 포함되어 있지 않고 3개 항공사에서 자체적으로 식별하는 이벤트 중, 심각도가 3.5 이상으로 분류된 항목보다 FAA AC에 포함 되어있고, 3개 항공사에서도 공통적으로 식별하는 이벤트의 심각도가 높은 항목의 비율이 더 많은 모습을 보인다(Table 5).

항공사는 자체적으로 발생했던 사고, 준사고 및 항공안전장애에 대한 사후대응으로 FOQA event 항목을 선정하는 경향을 보이기 때문에, 심각도가 높은 것으로 분류되는 FAA AC에 포함된 이벤트들이 항공사 자체 식별 이벤트 목록에 포함되지 않은 사례가 있었다.

결과적으로, Table 6과 같이 FAA AC의 이벤트 목록이 항공사 자체 식별 이벤트보다 위험요소를 식별한다는 측면에서 잘 부합한다고 볼 수 있고, 반면에 항공사 자체적으로 식별하는 FOQA event의 경우 적정성에 대해 의문점이 제기된다.

Table 5. FAA-airline event flight stage comparison status

구분	총합	FAA event		항공사 event	
		FAA	FAA 심각도 상	항공사	항공사 심각도 상
이륙 전	6	6	2	-	0
이륙 및 상승	17	14	6	3	1
순항	7	5	4	2	1
하강 및 접근	20	18	10	2	0
착륙	16	11	7	5	2
착륙 후	4	1	0	3	0
기타	6	4	4	2	2
총합	76	59	33	17	6

Table 6. Items not included in FAA AC or airline FOQA event

구분	FOQA event list	평균
FAA AC 외의 특정 항공사 자체수집 고위험 이벤트	Overweight take-off	3.95
	Minimum maneuvering speed	3.76
	Single A/P autoland detection	3.82
	Low fuel at landing	4.27
	Windshear warning	4.13
항공사 미포함 이벤트 중 고위험 FAA AC 이벤트	Speedbrake use with high engine thrust	3.61
	Engine over temp	3.53
	Lift-off speed low	3.89
	Take-off climb speed low	3.51
	Height loss in climb	3.78
	Landing gear down speed exceeded(Mach)	3.81
	Approach speed low	3.95
	Landing gear down-speed exceeded(IAS)	3.77
	Late landing flaps	3.69
	Low power on approach	3.94
	Landing gear operation(SPD exceeded transit)	3.76
	Descend below MDA	4.12
	Tire limiting speed	4.00
	Pitch low landing	4.10
	Bounced landing	4.23
	Overweight landing	3.77
	Abnormal / incorrect landing flaps	3.91
	Engine reverse at low speed	3.16
	Stick shaker operation	4.37
	Engine failure	4.40

2.5.4.3 항공사 불포함, FAA 독립 식별 FOQA Event

FAA AC에는 포함돼 있으나 3개 항공사가 식별하고 있지 않은 이벤트의 경우에도 심각도가 3.5점 이상으로 분류되어 있는 이벤트가 존재한다.

- Engine Over temp, Lift-Off Speed Low, Take-Off Climb Speed Low, Height Loss in Climb, Landing Gear Down Speed Exceeded(Mach), Approach Speed Low, Landing Gear Down-Speed Exceeded(IAS), Late Landing Flaps, Low Power on Approach, Landing Gear Operation(SPD Exceeded Transit), Descend Below MDA, Tire Limiting Speed, Pitch Low Landing, Bounced Landing, Overweight Landing, Abnormal / Incorrect Landing Flaps, Engine Reverse at Low Speed, Stick Shaker Operation, Engine Failure

FAA AC에서 독립적으로 식별하고 있는 event 항목 중에도 높은 심각도를 보이는 이벤트가 19개가 존재하며, 이는 개별 항공사에서 추가적으로 FOQA event로 분류하여 식별해야 할 항목들이 있음을 의미한다.

2.5.4.4 시사점

FAA AC와 국내 3개 항공사의 FOQA event 리스트의 심각도를 분석해 본 결과, FAA AC에는 포함되지 않았으나 항공사에서 자체적으로 식별하는 리스트, 또는 FAA AC에는 포함되었으나, 항공사에서 자체적으로 식별하지 않는 리스트를 분류하였다. 각각의 리스트가 가진 심각도를 비교 분석한 결과, 심각도가 높다고 나타난 이벤트 즉, 경향성 및 전조 징후의 가능성이 높은 데이터가 양쪽 모두에서 제외된 모습을 보인다. 이는 전조 징후 식별 및 안전성 향상의 측면에서 국내 항공사에 권고할 수 있는 FOQA event 목록의 표준화가 필요함을 시사한다.

2.5.5 FOQA Event 속성 분류에 의한 심각도 우선 순위 결과

비행 전 구간에 걸쳐 FOQA event가 가지고 있는 속성을 세 가지로 분류하였다. 첫 번째는 항공기의 운영한계(performance limitation)를 초과(L)하는 이벤트, 두 번째는 이벤트 자체가 사고나 준사고에 해당하는 속성을 가진 경우(I), 세 번째는 사고나 준사고의 원인을 제공(E)하는 이벤트이다.

세 가지 속성으로 분류된 이벤트가 내포하고 있는 심각도의 우선순위를 분석함으로써, 이벤트가 사고나 준사고의 위험요인을 이해하고 전조 징후를 도출하는데 기여하고자 한다.

2.5.5.1 항공기의 Performance Limitation 초과(L) 및 사고나 준사고에 해당(I)하는 Event

Table 7과 같이 76가지 FOQA event 중 10개 항목이 항공기의 성능 기준 한계를 초과하는 이벤트로 분류되었다. 항공기 성능 기준을 초과한다는 것은 비행 한계(flight limitation)를 초과하는 것을 의미한다. 주로 항공기의 구조적 강도를 고려한 중량 제한의 의미를 내포하고 있어 flap과 landing gear의 구조에 지속적인 부담(stress)을 주어 기체 결함으로 연결될 수 있다.

반면 FOQA event 중 그 자체로 사고·준사고에 해당하는 속성을 가지고 있는 이벤트가 있다(Table 8).

Table 7. Aircraft performance limitation excess(L) event

순위	FOQA event list	평균
1	Operating ceiling exceeded	4.23
2	Vmo exceeded	4.19
3	Mmo exceeded	4.13
4	Tire limiting speed	4.00
5	Flap limiting speed	3.83
6	Landing gear down speed exceeded(Mach)	3.81
7	Landing gear operation(SPD exceeded transit)	3.76
8	Flap limit altitude	3.71
9	Turbulence flaps extended	3.15
10	Turbulence flaps up	2.93
전체 평균		3.77

Table 8. Accidents or sub-accidents(I) event

순위	FOQA event list	평균
1	Rejected takeoff at high speed	4.20
2	Descend below MDA, hard landing	4.12
3	Hard landing	4.00
4	Engine failure	4.40
5	TCAS advisory	3.85
6	Low fuel at landing	4.27
7	Overweight landing	3.77
전체 평균		4.08

총 7가지 이벤트로 Rejected Takeoff at High Speed, Descend Below MDA, Hard Landing, Engine Failure, TCAS Advisory, Low Fuel at Landing, Overweight Landing이다.

사고 혹은 준사고(I) 이벤트는 FOQA event 외에 항공기 자체적으로 표출되는 경고 메시지 등의 방식으로 식별이 가능하지만, 조종사가 상황을 인지한 후 체크리스트(QRH)나 각종 메뉴얼에 따라 정해진 절차를 수행해야 하므로 그 과정에서 또 다른 사고로 이어질 가능성이 높아서 심각도가 높게 나타난 것으로 보인다.

이러한 이유로 item 자체가 사고 준사고(I)에 해당하는 이벤트는 사고의 원인을 제공(E)하는 event나 항공기 performance limitation을 초과(L)한 이벤트의 속성을 함께 가지고 있다. 대표적으로 low fuel at landing과 overweight landing의 경우 세 가지 속성을 모두 내포한다. I에 해당하는 이벤트들은 평균치가 4.08로 3가지 유형 중 가장 높은 심각도를 보인다.

2.5.5.2 사고 및 준사고의 원인을 제공(E)하는 Event

사고 준사고의 원인을 제공(E)하는 event의 속성을 가진 이벤트는 Table 9와 같이 총 52개의 항목으로, 이륙, 강하 및 접근, 착륙의 구간에서 높은 심각도를 보이는 것으로 나타났다. 아울러 기타로 분류되어있던 항목 중 사고의 원인을 제공하는 event의 속성을 가진 항목들도 매우 높은 심각도를 보인다(Table 10).

사고 및 준사고로 이어질 수 있는 전조 징후를 식별하는데 'E' 속성을 가지고 있는 이벤트들을 주목할 필요가 있는데, L이나 I에 비해 항공안전지표 및 개선 목표와 연계되지 않을 확률이 높기 때문이다.

2.5.5.3 시사점

FOQA event 중 L, I, E 2가지 이상의 속성을 가지고 있는 FOQA event일수록 심각도가 높게 나타났다. 한가지 속성을 가진 event 중에는 특히 I가 가장 높고, 사고의 원인을 제공하는 이벤트인 E에서도 높은 심각도를 나타내고 있으며, 각각의 이벤트가 지니고 있는 속성에 따라 전조 징후가 되는 데이터를 도출하는 데 기반을 만드는 요건이 될 수 있으므로 주목할 필요가 있다.

Table 9. Events that provide the cause of accidents and sub-accidents(E)

순위	FOQA event list	평균
1	Stick shaker operation	4.37
2	Pitch high landing	4.35
3	GPWS warning	4.33
4	Late landing configuration	4.26
5	Bounced landing	4.23
6	Windshear warning	4.13
7	Pitch low landing	4.1
8	Pitch high at take-off	4.05
9	Approach speed low	3.95
10	Low power on approach	3.94
11	Abnormal / Incorrect landing flaps	3.91
12	Lift-off speed low	3.89
13	Operation below glide slope	3.82
14	Height loss in climb	3.78
15	Excessive bank angle at take-off	3.74
16	Late landing flaps	3.69
17	Speedbrake use with high engine thrust	3.61
18	High descend rate	3.55
19	Take-Off climb speed low	3.51
20	Late heading change in final approach	3.43
21	Long flare	3.37
22	Operation above glide slope	3.36
23	Landing in a crab	3.36
24	Abnormal flap extension	3.34
25	Take-off warning	3.33
26	Speed high at landing exit	3.32
27	Touch and go	3.3
28	Short landing distance	3.27
29	Abnormal configuration - flaps/speed brake	3.26
30	Operation left of localizer centerline	3.21
31	Abnormal flap retraction	3.18
32	Excessive brake usage	3.17
33	Operation right of localizer centerline	3.16
34	Approach speed high	3.16
35	Engine reverse at low speed	3.16
36	Excessive power on the ground	3.13
37	Excessive power increase	3.12
38	Low pitch rate at take-off	3.03

Table 9. Continued

순위	FOQA event list	평균
39	Early flap retraction	3.03
40	Runway / taxiway rough	3.03
41	On-Ground high acceleration(lateral, longitudinal)	3.03
42	Rejected take-off at low speed	3.01
43	Speed high during taxi	2.84
44	TOGA mode engaged during approach, NO G/A	2.81
45	Lift-off speed high	2.73
46	Slow initial climb	2.69
47	Thrust reverser stowed	2.64
48	Take-off climb speed high	2.58
49	Late landing gear retraction	2.54
50	Holding/ excess radar vectoring	2.45
51	Climb speed high	2.19
52	Go around	2.07
전체 평균		3.36

Table 10. Comparison of each flight phase for the severity of 'high' among accidents and sub-accidents

구분	FOQA event list	평균
이륙 및 상승	Pitch high at take-off	4.05
	Lift-off speed low	3.89
	Height loss in climb	3.78
	Excessive bank angle at take-off	3.74
	Take-off climb speed low	3.51
하강 및 접근	Late landing configuration	4.26
	Approach speed low	3.95
	Low power on approach	3.94
	Operation below glide slope	3.82
	Late landing flaps	3.69
착륙	High descend rate	3.55
	Pitch high landing	4.35
	Bounced landing	4.23
	Pitch low landing	4.10
기타	Abnormal / incorrect landing flaps	3.91
	Stick shaker operation	4.37
	GPWS warning	4.33
	Windshear warning	4.13
	Speedbrake use with high engine thrust	3.61

III. 결 론

항공기 사고는 하나의 불안정한 행동에 의해 발생하는 것이 아니라 보고되거나 인지되지 않은 수많은 유사 이벤트들에 의해 발생한다. 따라서 이러한 잠재적 불안전 요소를 발굴하여 해결 방안을 모색하고, 운항 안전성을 높이기 위해 지속적인 데이터 수집과 분석이 필요하다.

FAA AC에서 권고한 이벤트 목록과 국내 3개 항공사에서 관리하는 FOQA event를 비교·분석하고, FOQA event 자체가 가지는 심각도를 전·현직 내국인 항공사 기장에게 설문조사 한 결과는 세 가지 결론에 도달할 수 있었다.

첫째, 본론의 2.5.3 ‘비행단계별 심각도의 평균’에서 볼 수 있듯이 항공안전 성능지표(safety performance indicator) 상 사고·준사고·항공안전장애가 주로 발생하는 비행 단계는 이·착륙 및 접근 단계인 반면, FOQA event의 심각도 분석 결과, 순항(cruise)단계를 포함한 전 구간에 걸쳐서 일어날 수 있는 이벤트의 심각도가 높게 나타났다. 특히 순항(cruise)단계에서 stick shaker operation, operating ceiling exceeded, Vmo·Mmo exceeded과 같이 성능한계 초과 또는 구조적 결함을 유발할 수 있는 상황이 심각한 결과를 초래할 수 있다고 보았다.

둘째, FAA AC에서 권고하는 FOQA event 리스트와 항공사 자체 식별 리스트의 적정성에 대한 문제이다. 심각도가 높다고 분석된 event들이 FAA AC 또는 항공사의 목록에서 제외되어 있다는 것은, 중점적으로 분석해야 할 이벤트가 관리되지 않다가 사고가 일어난 후에 관리 목록에 올라가는 사후적 관리가 이루어지고 있음을 시사한다. FAA AC에서 지정한 FOQA event 목록과 같이 국내 항공사에 권고할 수 있는 FOQA event 목록의 표준화가 필요하다.

셋째, FOQA event들의 속성을 세 가지로 분류한 결과 복합적인 속성을 가지고 있는 FOQA event일수록 심각도는 높은 것으로 나타났다. 또한, 한가지 속성을 가진 event 중에는 특히 항공기 성능한계를 초과하는 이벤트(L)의 심각도가 가장 높지만 사고의 원인을 제공하는 이벤트(E)에서도 높은 심각도를 보이는 항목이 존재한다. 각각의 이벤트가 가지고 있는 속성에 따라 전조 징후가 되는 데이터를 도출하는 데 기반이 될 수 있으므로 주목할 필요가 있다.

본 연구에서는 발생빈도를 고려하지 않고 심각도만

으로 FOQA event를 분석했다는 점에서 그 한계점이 존재한다. 차후 후속 연구를 통해 항공안전 성능지표 상 사고 및 준사고를 중심으로 위험요소를 도출하고 각각의 위험요소에 해당하는 FOQA event를 top-down 방식으로 세분화하는 작업이 필요하다. 또한, 개별 FOQA event의 적정성 연구와 FAA AC에서 권고하는 FOQA event 목록과 같이, 국내 환경을 고려한 항공사에 공통으로 활용할 수 있는 FOQA event 목록 표준화를 위한 후속 연구도 필요하다.

후 기

본 연구는 빅데이터 기반 항공안전관리 기술 개발 및 플랫폼 구축사업(20BDAS-B158275-01)을 통해 수행되었습니다.

References

1. ICAO, "Assembly 35th Session, Protection of Voluntarily submitted Safety-Related", 2004.
2. FAA, "Advisory Circular 120-82 Flight Operational Quality Assurance", 2004.
3. FAA, "Perceptions and Efficacy of Flight Operational Quality Assurance (FOQA) Programs Among Small-Scale Operators", 2012.
4. FAA, "Designation of Flight Operational Quality Assurance(FOQA) Information as protected from public disclosure under 14 CFR Part 193", 2003.
5. Embraer, "The Role of FDM into Embraer's SMS", 2016.
6. ICAO, "Aviation Occurrence Categories", 2011.
7. CAA, "Flight Data Monitoring", 2013.
8. KKITS, "A study on developing airport risk assessment algorithm by FOQA data analysis and SMS", 2020.
9. KASL, "Privilege and Immunity of Information and Data from Aviation Safety Programs in Unites States", 2008.
10. KASL, "A Development Process Scheme of Domestic Avionics by Flight Data Recorder and Readout Methods", 2013.
11. KONI, "B777 Hard Landing Trend Analysis

- based on QAR(Quick Access Recorder) data analysis”, 2021.
12. KSAA, “Measures to prevent unstable access to improve aviation safety”, 2018.
 13. KASL, “A Study on Non disclosure Privileges and Sanction Waiver of the US Aviation Safety Data Program”, 2008.
 14. KSAS, “A study on the domestic avionics development process plan by using flight data records and readouts”, 2013.