

크랩랜딩(Crab Landing) QAR(Quick Access Recorder) 비행 데이터 통계분석 모델

Crab Landing QAR (Quick Access Recorder) Flight Data Statistical Analysis Model

전 제 형 · 김 현 덕*

한국항공대학교 항공운항학과

Jeon Je-Hyung · Kim Hyeon-deok*

Department of Aeronautical Science & Flight Operations, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do, 10540, Korea

[요 약]

항공산업은 기술적인 혁신을 통해 안전성을 향상했으며, 항공 당국의 안전 규제와 감독을 통해 비행안전을 강화해 왔다. 항공산업의 안전 접근 방식이 항공기 시스템 전체에 대한 체계적인 접근 방식으로 발전함으로써 항공사는 새로운 안전 관리시스템을 구축하게 되었다. 항공기의 기술적 결함이나 비정상적인 데이터는 사고로 이어질 수 있는 전조 징후가 될 수 있으며, 이러한 징후를 조기에 식별하고 대처함으로써 사고 발생의 위험을 감소시킬 수 있다. 따라서 비정상적인 전조 징후의 관리는 데이터 기반 의사결정을 촉진하고, 항공사의 운영 효율성 및 안전수준을 강화하는 데 있어 필수적인 요소이다. 본 연구에서는 항공기 착륙 시에 활주로 이탈로 이어질 수 있는 크랩랜딩 이벤트의 패턴과 원인 분석을 위한 사전적 분석 단계에서 QAR (quick access recorder) 비행 데이터 통계 분석 모델을 제시하여 착륙 이벤트의 전조 징후와 원인을 식별 및 제거하는 안전관리의 효율성을 제고하고자 한다.

[Abstract]

The aviation has improved safety through technological innovation and strengthened flight safety through safety regulations and supervision by aviation authorities. As the industry's safety approach has evolved into a systematic approach to the aircraft system, airlines have established a safety management system. Technical defects or abnormal data in an aircraft can be warning signs that could lead to an accident, and the risk of an accident can be reduced by identifying and responding to these signs early. Therefore, management of abnormal warning signs is an essential element in promoting data-based decision-making and enhancing the operational efficiency and safety level of airlines. In this study, we present a model to statistically analyze quick access recorder (QAR) flight data in the preliminary analysis stage to analyze the patterns and causes of crab landing events that can lead to runway departures when landing an aircraft, and provide a precursor to a landing event. We aim to identify signs and causes and contribute to increasing the efficiency of safety management.

Key word : Crab landing, FDA (flight data analysis), Machine learning, Regression analysis, Safety management.

<https://doi.org/10.12673/jant.2024.28.2.185>



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 31 March 2024; Revised 25 April 2024

Accepted (Publication) 28 April 2024 (30 April 2024)

*Corresponding Author; Hyeon Deok Kim

Tel: +82-2-300-0084

E-mail: hyeondkim@kau.ac.kr

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

Boeing(2023)의 항공사고 통계 요약에 따르면 1960년 이후 연간 항공 사고율과 사망 사고율은 크게 감소하였고, 1990년 이후에는 연간운항 횟수 대비 항공사고 건수, 항공사고 사망 건수 등을 고려하면 항공기의 안전성은 크게 향상되었다는 사실을 그림 1에서 확인할 수 있다[1].

항공산업은 기술적인 혁신을 통해 항공기의 안전성을 향상했으며, 항공기 시스템, 자동조종장치(auto pilot system), 날씨 예측 기술, 안전 시스템 등이 개발되었고 항공사들은 유지보수와 승무원 교육에 투자하여 안전한 운항을 보장하기 위해 노력해 왔다. 또한 국내의 항공 당국의 엄격한 안전 규제와 감독을 통해 항공 안전을 강화했으며 안전 규정을 준수하도록 강조하고 사고사태의 조사를 통해 안전관리의 개선을 촉진해 왔다[2].

이처럼 항공산업의 안전 접근 방식은 항공기 기술과 관련된 문제를 깊이 이해하는 것으로부터 항공기 시스템 전체에 대한 체계적인 접근 방식으로 발전하게 되었고, 항공사가 안전 관리 시스템(SMS; safety management system)을 구축하도록 요구하는 법률로 이어졌다.

ICAO (2013)의 SMM (safety management manual) Doc 9859에 의하면 위험을 식별하는 세 가지 방법론으로 사후적 대응 방법론, 사전 예방방법론, 예측방법론을 제시하고 있으며, 최근 국제사회의 안전 관리 추세는 데이터 기반의 전조 징후 탐색과 잠재적 위험 식별을 통해 안전 관리를 개선하는 예측적 관리로 변화하고 있다[3].

항공기의 기술적 결함이나 비정상적인 비행 데이터는 사고로 이어질 수 있는 중대한 전조 징후가 될 수 있다. 이러한 징후를 조기에 식별하고 대처함으로써 사고 발생 위험을 현저히 감소시킬 수 있다. 따라서 전조 징후의 관리는 데이터 기반 의사 결정을 촉진하고 항공사의 운영 효율성 및 안전수준을 강화하는 데 있어 필수적인 요소이다.

본 연구에서는 항공기 착륙 시에 활주로 이탈로 이어질 수 있는 크랩랜드잉 이벤트의 패턴과 원인 분석을 위한 사전적 분석 단계에서 QAR (quick access recorder) 비행 데이터의 통계분석 모델을 제시하여 이벤트의 전조 징후와 원인을 식별 및 제거하는 안전관리의 효율성을 높이고자 한다.

II. 이론적 고찰

2.1 Quick Access Recorder (QAR)

QAR 데이터는 비행 중에 발생하는 다양한 성능 매개변수,

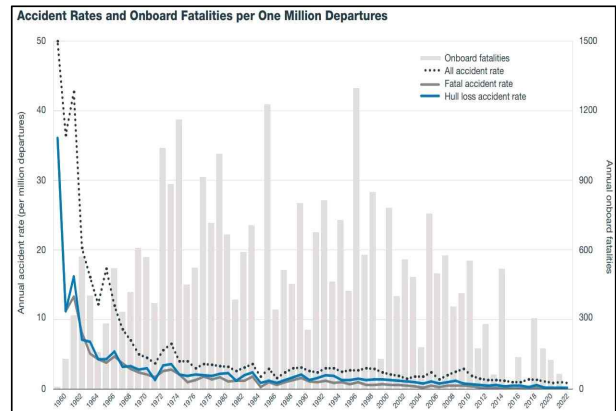


그림 1. 항공사고의 변화율(Boeing, 2023)
Fig. 1. Rate of change in aviation accidents (Boeing, 2023).

환경 매개변수 및 운영 매개변수를 기록할 수 있으며, 비행 중에 발생하는 항공기 이벤트 분석에 사용된다. 항공사들은 이러한 QAR 데이터를 활용하여 비행안전 관리와 운항 품질을 개선하여 항공기의 사고 예방과 비행안전을 강화할 수 있다[4].

QAR 데이터의 샘플링 속도는 일반적으로 1/4Hz에서 16 Hz 사이에 있으며 연속적인 시계열 데이터로 기록되고 가변 기압 고도와 같은 다양한 파라미터에 대한 정보를 포함하고 있다.

데이터가 기록되는 방식 및 데이터의 포맷은 미국의 항공 무선통신협회 (ARINC; Aeronautical Radio, Incorporated)의 표준에 따라 정의되며 두 가지 주요 표준인 ARINC573/717 및 ARINC767로 구분된다. ARINC573/717은 상대적으로 오래된 표준으로 대부분의 항공기 유형에서 사용되며 ARINC767은 최신 항공기 유형에서 사용된다. 본 논문에서 사용된 QAR데이터는 ARINC717 방식의 로직을 사용하고 있다.

2.2. QAR 데이터 기록방식

ARINC717은 디지털 비행 데이터 획득 장치 (DFDAU: digital flight data acquisition unit)와 디지털 비행 데이터 레코더 (DFDR; digital flight data recorder) 간의 통신을 정의하는 표준으로 이 버스를 통해 레코딩 해야 하는 모든 다양한 데이터가 전송된다.

데이터는 4개의 서브 프레임으로 구성되고 각각 1초의 길이를 가지며 이들은 4초의 한 프레임을 구성한다. 각 서브 프레임에는 12비트씩 64개 또는 128개, 256개의 워드가 포함되며 각 서브 프레임은 고유한 동기화 워드로 시작한다[5].

QAR 데이터의 디코딩은 바이너리 스트림, 즉 수신된 0과 1의 순서를 전송하는 것을 의미한다. 디코딩은 DFL (data frame layout)이 필요하며 이진형식에서 공학단위로 변환해야 한다. 매개변수의 정확도를 유지하기 위해 이 변환은 단순한 수학적

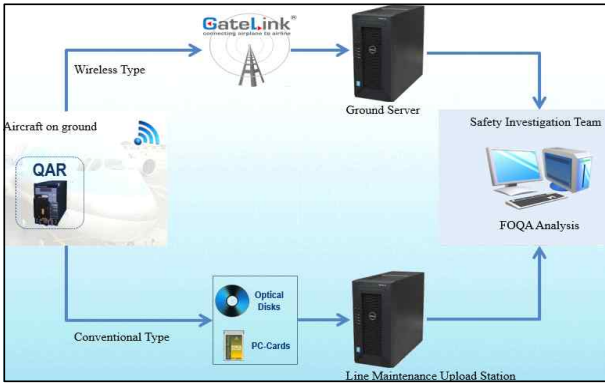


그림 2. 비행 데이터 모니터링 과정
Fig. 2. Flight data monitoring process.

변환만으로는 처리되지 않을 수 있다. 이진값 X 를 10진수로 변환하고 DFL에서 주어진 변환규칙에 따라 아핀선형방정식 $Y = A_0 + A_1 - X$ 를 적용한다. Y 는 파라미터의 공학단위 값으로 표시되며 변수 A_0 및 A_1 는 DFL에 의해 주어진 상수이다. 이러한 디코딩 프로세스를 통해 QAR 데이터를 이해 가능한 형식으로 변환하고 비행 데이터 분석 및 모니터링에 활용할 수 있다[6].

2.3. 비행 데이터 모니터링 프로그램

항공기로부터 수신되는 비행 데이터를 관리, 저장, 디코딩 및 분석하려면 전용 비행 데이터 분석 (FDA; flight data analysis) 프로그램이 필요하며, 이 프로그램의 가장 주요 기능은 비행 데이터의 스트리밍을 처리하여 데이터를 체계적으로 저장하는 것이다 (ICAO, 2021)[4].

또한 FDA는 비행 데이터를 읽을 수 있는 값으로 변환하여 분석하는데 수동 분석과 자동분석으로 나누어진다. 항공사의 모든 항공편에 대한 수동 분석은 현실적으로 불가능하므로 대부분 자동으로 분석된다. 이중 분석 데이터가 임계값 기준치를 넘을 때에는 이벤트로 발췌되어 안전 지표 (incident metric)를 통한 사전적인 예방 안전 관리가 이루어진다[7].

항공사의 안전을 담당하는 부서는 비행 데이터가 표준운항 절차 (SOP; standard operating procedure)를 벗어나 안전에 중대한 위협이 될 때는 추가적인 안전 조치를 취할 수 있으나, FDA 프로그램은 안전 증진을 목표로 하는 비 처벌적 시스템임을 강조해야 한다. FDA 프로그램은 안전 문제를 신속하게 파악하고 개선하는 도구로서만 사용되어야 하며 운항승무원에게 불이익 등의 처벌적인 조치를 하여서는 안 된다.

항공사의 방대한 비행 데이터에는 운항승무원이 수행하는 모든 중요한 행위가 직간접적으로 내재 되어 있다. 따라서 비행 데이터를 분석할 때는 운항승무원 및 기타 관련 당사자의 개인 정보보호가 철저히 유지되어야 한다[3].

아울러 항공사는 정기적으로 비행 데이터의 경향성을 분석하여 비행안전 상태를 모니터링하고 안전 관리의 개선을 위해

사용하고 있으며, 국제항공운송협회 (IATA; International Air Transport Association)의 FDX (flight data exchange) 프로젝트와 EOFDM (European Operators Flight Data Monitoring) 워킹 그룹은 비행 데이터의 분석을 통한 이벤트의 전조 징후를 탐색하는 방법을 연구하고 있다.

2.4 크랩랜딩(Crab Landing) 이벤트 정의

크랩(crab) 비행은 운항승무원의 측풍 접근을 위한 테크닉 (technique) 중의 하나로 조종사가 접근(approach) 비행을 하는 동안 활주로 중앙선 (center line)의 트랙(track)을 유지하기 위해, 항공기의 heading(heading)을 풍상(up wind) 쪽으로 향하는 비행 상태를 말한다.

크랩 비행은 항공기의 자세를 수평으로 유지하는 것이 특징이며, 착륙 접지 시에는 항공기 기축선을 활주로 중앙선과 일치시키는 디크랩 (de-crab) 조치가 필요하다. 이때 항공기 기축선이 활주로 중앙선으로부터 5도를 초과하여 벗어난 상태로 지면에 접지하는 경우에는 항공기의 구조적인 문제를 일으킬 수 있고, 또한 활주로 이탈 사고의 원인이 될 수 있다. 따라서 항공사는 안전관리의 일환으로 이러한 이벤트를 크랩랜딩으로 분류하여 관리하고 있다.

III. 실증분석

3.1 크랩랜딩 이벤트 분석 방법

본 연구에서는 항공기 착륙 중에 활주로 이탈을 발생시킬 수 있는 크랩랜딩 이벤트 데이터의 특성과 전조 징후의 세부 계측 값 (Parameters) 차이를 확인하고, 해당 이벤트의 발생 인과관계를 파악하기 위하여 분산분석, 상관관계분석, 회귀분석을 활용한 데이터 분석을 그림 3.과같이 수행하였다.

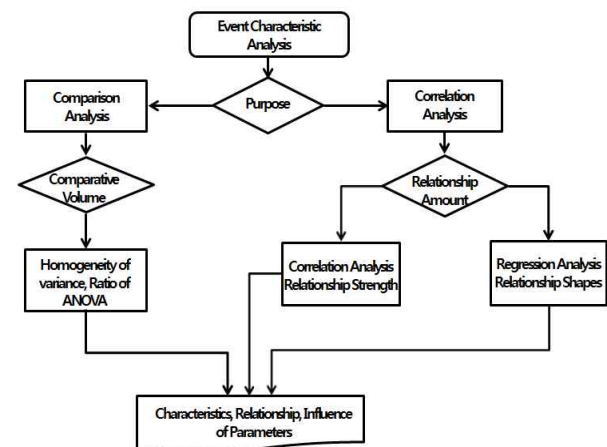


그림 3. 이벤트 특성 분석 방법
Fig. 3. Event characteristic analysis method.

표 1. 매개변수의 정의

Table 1. Definition of parameters.

Parameters	Definition
Pitch Altitude	The angle between the fuselage axis and the horizontal plane
Pitch Command	The angle manipulated to adjust the pitch
Roll Altitude	Tendency of actual aircraft rolling axis angles to change
Roll Command	The angle manipulated to adjust the roll
Rudder Altitude	The changing rotation angle of the rudder Changing Yaw direction around horizontal axis
Rudder Pedal Position	The angle manipulated to adjust the Rudder
Drift Angle	The angle between aircraft path and heading
Computed Airspeed	The speed at standard atmosphere pressure relationship between speed and dynamic pressure
Ground Speed	The actual speed at which the aircraft is traveling along the ground
Vertical Speed	The aircraft speed in the vertical direction
Heading_True_Mag	The angle pointing in the direction of travel of the aircraft
Angle Of Attack LH	The angle between chord line and airflow left
Angle Of Attack RH	The angle between chord line and airflow right
Throttle Lever Angle Eng 1	The throttle lever angle relative to the engine the angle of throttle lever represents thrust
Wind Direction	The Direction of wind
Wind Speed	The speed of wind
Radio Height1(RALT)	The difference in displayed altitude between aircraft antenna and ground station

3.2 이벤트 분산분석

본 연구에서는 크랩랜딩 이벤트와 정상 착륙 편수 간에 영향을 미치는 매개변수의 특성과 관계를 분석하고자 2019년부터 2023년까지의 약 34만 건의 비행 데이터를 전처리 과정을 통해 결측치를 처리하고 정제하였다. 계측값 중 분석에 활용한 것은 전조 징후와 관련하여 정량 변수, 상관관계를 고려하여 최종적으로 17개의 매개변수를 선정하였으며, 각 매개변수의 정의는 표1.의 내용과 같다.

또한 공항, 활주로, 기종, 기상(풍속), 고도 등의 요인에 의존성 (dependency)을 가지고 있다는 점을 고려하여 블록화를 수행하여 표2의 내용과 같다.

표 2. 매개변수의 블록화

Table.2. Staking of parameters

LV.1 Airport	LV.2 RWY	LV.3 Aircraft	LV.4 Wind	LV.5 Altitude
Jeju (CJU)	07	A321F	15kts Below	300ft
	25			200ft
Gimpo (GMP)	14			100ft
	32		50ft	
Gimhae (PUS)	18		15kts Above	30ft
	36			15ft
				0ft

정제된 데이터는 일원 배치 분산분석 (one-way ANOVA)을 수행하였으며 연구의 모형은 아래의 수식과 같이 설정하였다.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \tag{1}$$

여기서 Y_{ij} 는 i 번째 착륙 이벤트에서 j 번째 비행 데이터 측정값이며 μ 는 모든 착륙 이벤트의 평균을 나타내는 전체 평균이고 τ_i 는 i 번째 착륙 이벤트의 효과를 나타낸다. ϵ_{ij} 는 오차항으로 측정값과 착륙 이벤트 효과 사이의 잔차 오차를 나타내며 임의의 변동을 포함하고 있다.

이러한 일원 배치 분산분석의 결과가 통계적으로 유의하고 어떤 착륙 이벤트에서 평균 차이가 나타나는지를 자세히 조사하기 위해 사후 검증 (post-hoc)을 수행하였으며, 종합적인 분산 분석 결과에 따른 유의미한 변수는 그림 4.와 같다.

이러한 운항 변수들은 크랩랜딩 이벤트에 기여하는 유의미한 변수로 볼 수 있으며 p-값이 낮을수록 유의 확률이 높다는 것을 의미한다. 회색 바는 집단 간의 차이의 유의확률 아래의 평균값을 나타내며 빨간색 선과 점은 유의확률 95% 이상의 값을 나타낸다. 파란색 막대는 유의확률이 고빈도, P-값 mean 값의 비율 상위를 나타내고 있다.

항공기의 기수 (heading) 41.8%의 비율로 가장 높은 빈도를 나타내었고 편류각 (drift angle) 40.56%, 대지속도 (ground speed) 26.01%, 받음각 (angle of attack) 24.15%, 항공기 선회 자세 (roll attitude) 20.58%, 방향타 위치 (rudder position) 20.23% 순으로 영향을 미치며, 98% 이상의 높은 유의 확률을 나타내

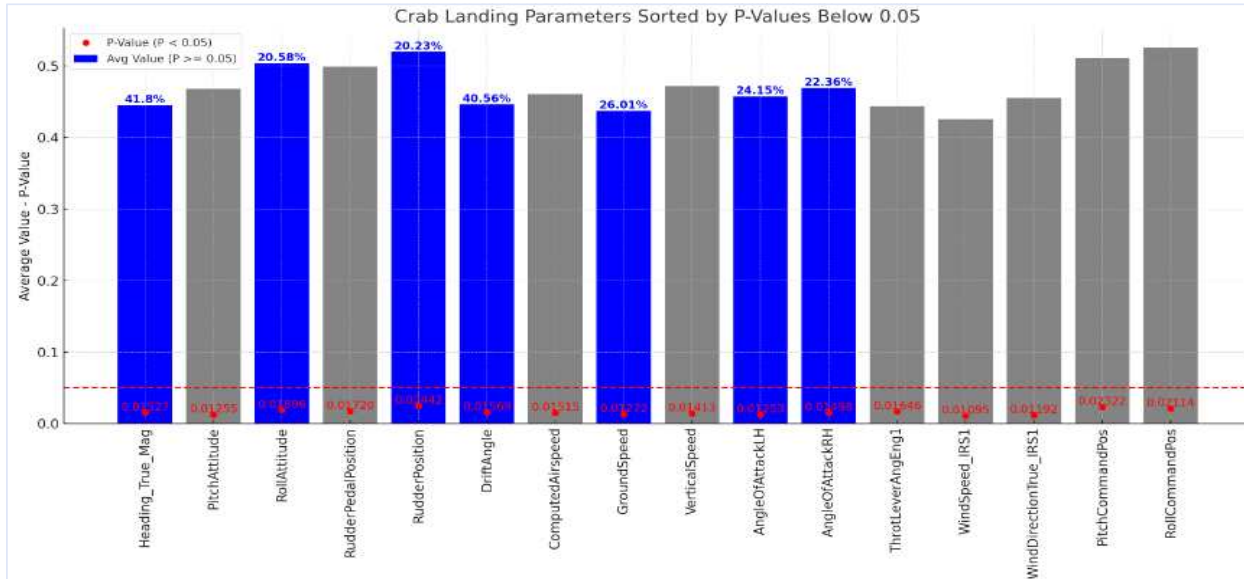


그림 4. 크랩랜딩 분산 분석 결과

Fig.4. Crab Landing variance analysis results.

었다. 또한 고도별로는 0 ft (약 17.61%), 30 ft (약 14.09%), 50 ft (약 13.89%), 300 ft (약 12.72%)를 나타내었다.

3.3 이벤트 상관관계 분석

본 연구에서는 일원 배치 분산분석(One-way ANOVA)을 통해 얻은 결과를 바탕으로 착륙 이벤트와 매개변수 간의 관련성 및 특성 차이를 고려하여 상관관계를 분석하고자 매개변수를 선택하였다. 이 매개변수는 착륙 이벤트에 영향을 미치며 정성적 또는 정량적 데이터 모두 사용할 수 있다. 선택한 매개변수와 착륙 이벤트 간의 상관관계를 분석하기 위해 연구의 모형은 아래의 수식과 같이 설정하였다.

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{1ij} + \beta_2 X_{2ij} + \dots + \beta_p X_{pij} + \epsilon_{ij} \quad (2)$$

Y_{ij} 는 i 번째 착륙 이벤트에서 j 번째 비행 데이터 측정값이며 β_0 는 모형의 절편(intercept)을 나타낸다. $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ 는 각 매개변수(X_1, X_2, \dots, X_p)의 회귀계수를 의미하며 $X_{1ij}, X_{2ij}, \dots, X_{pij}$ 는 i 번째 착륙 이벤트에서 j 번째 비행 데이터의 각 매개 변수값이다. ϵ_{ij} 는 오차항으로 예측된 값과 실제 측정값 사이의 잔차 오차를 나타내며 임의의 변동을 포함하고 있다.

회귀계수를 통해 각 매개변수가 착륙 이벤트에 미치는 영향의 방향과 크기를 파악할 수 있으며, 양의 상관관계는 한 변수가 증가하면 다른 변수도 증가한다는 것을 나타내고 음의 상관관계가 있다면 한 변수가 증가하면 다른 변수는 감소한다.

따라서 회귀분석에 앞서 다중공선성 (multicollinearity)을 해

결하기 위한 주목적으로 상관관계분석을 실시하였다.

다중공선성은 계측값 간 상관관계가 높은 경우에 발생할 수 있는 문제로서 계측값들이 회귀 계수의 분산을 크게 만들어 계수의 신뢰도가 떨어지게 하며 회귀모형의 안정성을 해치고 모수 추정의 정확도를 낮출 수 있다.

다중공선성 문제를 해결하기 위해 몇 가지 일반적인 방법이 존재하는데 상관관계가 강한 변수를 제거하거나 주성분 분석(PCA)과 같은 차원 축소 기법을 적용하여 변수의 수를 줄이면서 정보를 보존할 수 있다. 또는 정규화 (regularization)를 적용하여 릿지(Ridge) 회귀)나 라쏘(Lasso) 회귀) 기법을 사용할 수 있다[8].

본 연구에서는 상관분석을 통해 다중공선성이 있는 독립 변수들중에서 상관관계가 강한 변수들을 제거하는 방법을 사용하였고 연구에서 사용된 변수를 대상으로 개별 계측값들이 상호 간의 상관관계가 있는지 파악하기 위하여 상관분석을 실시하였다.

그림 5의 상관관계 분석 결과에 의하면 세부 조건에 따라 차이는 있으나, 대부분 그룹에서 받음각(AOA; angle of attack)은 동일 계측값으로 판단할 수 있을 만큼 높은 상관관계 약 0.8의 수치를 나타냈고, 항공기 기수(heading)와 편류각(drift angle) 간의 데이터는 그룹별로 차이가 있으나 대부분 약 0.8의 수치로 높은 상관관계를 나타냈다. 또한 항공기의 받음각과 피치각도(pitch attitude) 간의 상관관계는 0.6 이상으로 확인되었다.

- 1) 회귀 계수의 크기를 제한함으로써 모형을 정규화하는 방법이다.
- 2) 높은 차원의 데이터에 유용한 모델 정규화 방법이다.

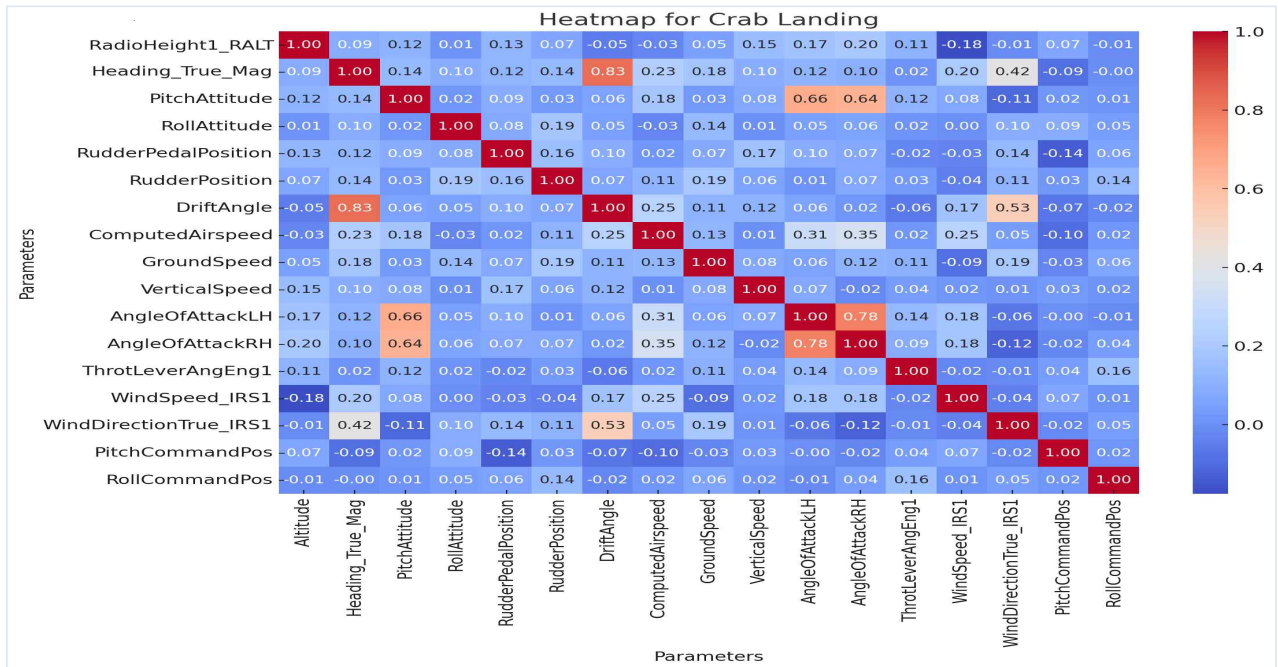


그림 5. 크랩랜딩 상관관계 분석 결과
 Fig. 5. Crab landing correlation analysis results.

크랩랜딩 이벤트를 공항별로 살펴보면 제주공항에서는 항공기 받음각과 피치 각도 간의 상관관계가 높게 나타났으며, 특히 활주로 25방향에서는 방향타의 양 (rudder command)과 방향타 위치 (rudder position) 간의 상관관계를 확인할 수 있었으며, 김포공항은 활주로 14방향에서 항공기 기수와 바람의 방향 (wind direction) 간의 상관관계를 확인할 수 있었다. 김해공항에서는 활주로 36방향에서 편류각 과 바람 방향과의 상관관계를 확인하였다.

3.4 이벤트 회귀분석

상관분석 결과를 고려 회귀모형에서 AOA RH, Heading, Drift Angle을 변수에서 제외하고 14개 계측값을 독립변수로 선택하였고 회귀분석을 수행하기 위한 수식은 다음과 같다.

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{1ij} + \beta_2 X_{2ij} + \dots + \beta_p X_{pij} + \tau_1 I_1 + \tau_2 I_2 + \dots + \tau_k I_k + \epsilon_{ij} \quad (3)$$

Y_{ij} 는 i 번째 착륙 이벤트에서 j 번째 비행 데이터 측정값으로 이 값은 종속 변수로서 비행 데이터의 특정 특성을 나타낸다. $X_{1ij}, X_{2ij}, \dots, X_{pij}$ 는 여러 독립변수 (매개변수 값)이며, β_0 는 모델의 절편은 다른 모든 독립변수가 0일 때의 예상 평균 비행 데이터값을 나타낸다.

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ 는 각 매개변수 (X_1, X_2, \dots, X_p)의 회귀계수이며, 해당 매개변수가 비행 데이터에 미치는 영향의 크기와 방

향을 나타낸다. 양의 회귀계수는 해당 매개변수가 비행 데이터를 증가시키는 방향으로 영향을 미치며, 음의 회귀계수는 그 반대를 의미한다.

$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k$ 는 각 착륙 이벤트의 효과를 나타내고 이러한 효과는 해당 착륙 이벤트가 비행데이터에 어떠한 영향을 미치는지를 나타낸다. 이진 변수 I_1, I_2, \dots, I_k 를 통해 특정 착륙 이벤트에 속하는 경우는 1 그렇지 않은 경우는 0으로 나타낸다.

계산된 Nagelkerke R^2 값의 경우 0.76을 수렴하였다. 이는 모델이 착륙 유형의 변동성을 상당 부분 설명할 수 있음을 의미하며 모델이 제공하는 예측의 설명력이 비교적 높음을 나타낸다. 또한 AUC (area under the curve) 값이 0.79~0.83을 보여주고 있으며 이는 세 가지 유형의 착륙 상태를 구별하는 데 있어서 비교적 높은 정확도와 신뢰도의 수치를 나타낸다.

아래의 그림 6.은 이벤트에 대한 각 변수의 회귀계수와 그 유의성을 종합적으로 보여주고 있다. 풍속 (wind speed)과 풍향 (wind direction)은 모두 양의 회귀계수를 가지고 있으며 이는 이벤트 발생에 영향을 미친다는 것을 나타낸다.

선회 각도 (roll attitude), 선회 양 (roll command)의 경우에도 양의 회귀계수를 가지고 있으므로 선회 각과 선회의 양이 증가할수록 크랩랜딩이 발생할 가능성이 커짐을 의미한다.

반대로 방향타의 각도 (rudder attitude)와 방향타의 위치 (rudder pedal position)의 경우에는 음의 회귀계수를 나타낸다. 이는 회귀계수가 증가할수록 크랩랜딩이 발생 가능성을 낮추는 것에 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 피치 각도 (pitch attitude)의 경우에는 회귀계수가 양수를 나타내지만, 상대적으로

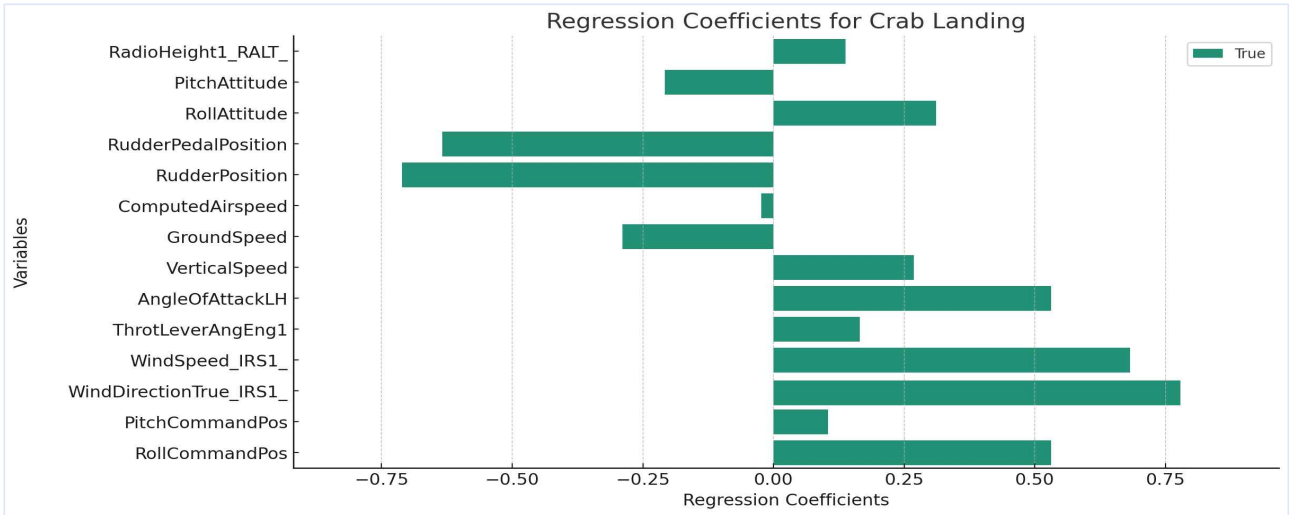


그림 6. 크랩랜딩 회귀분석 종합결과

Fig 6. Comprehensive results of crab landing regression analysis.

로 적은 값을 가진다. 이는 피치각도의 변화가 다른 변수들에 비해 이벤트에 미치는 영향력이 상대적으로 적다는 것이다.

V. 결 론

본 연구에서는 활주로 이탈(runway excursion) 사고의 전조 징후가 될 수 있는 크랩랜딩 이벤트의 발생 원인과 영향 요인을 규명하고자 QAR 데이터를 활용하여 분산분석, 상관관계 분석, 및 회귀분석을 실시하여 다음과 같은 이벤트의 특징을 도출하였다.

분산분석 결과에 의하면 이벤트에 가장 영향을 미치는 요인으로 항공기 기수(heading), 편류각도(drift angle), 대지속도(ground speed), 받음각(angle of attack), 선회자세(roll attitude), 방향타 위치(rudder position) 순으로 집단 간에 높은 유의성을 보였다. 이는 항공기 접지 단계에서 조종사가 항공기의 기수를 활주로 중앙선과 일치시키기 위해서 고려하여야 할 우선순위를 말해주고 있다. 고도별로는 0 ft, 30 ft, 50 ft, 300 ft 이하 저고도에서의 빈도가 주를 이루었다.

이벤트 상관관계 분석에 의하면, 제주공항에서는 항공기 받음각(angle of attack)과 피치 각도(pitch attitude) 간의 상관관계가 높게 나타났으며, 특히 RWY 25 접근 및 착륙 단계에서 방향타의 양(rudder command)과 방향타 위치(rudder position) 간의 상관관계를 확인할 수 있었다.

이는 제주공항 접근 중에 해안선(sea bank)를 지나가는 시점에서 항공기의 일시적인 상승(lift up) 현상이 발생함으로 인한 항공기의 받음각과 피치의 변화를 설명해 주고 있다.

회귀분석 결과로는 풍속과 풍향의 경우는 모두 양의 회귀계수를 가지며 이들 변수의 증가는 크랩랜딩의 발생 가능성을 높인다. 반면 방향타 각도(rudder attitude)와 방향타 위치(position)은 음의 회귀계수를 나타내고 있으며, 계수 값이 증가

할수록 이벤트의 발생 가능성이 작아지는 것을 의미한다. 이는 풍향과 풍속의 변화에서 조종사가 항공기를 디크랩(de-crab) 하는 과정에서 충분하지 않은 방향타(rudder)의 조작이 이벤트의 주요 원인임을 도출하였다.

종합적으로 항공기 기수(heading), 편류각도(drift angle), 대지속도(ground speed) 그리고 풍향과 풍속의 변화가 중요한 매개변수로 나타났다.

운항승무원의 대부분은 풍향과 풍속의 변화가 클 때 에너지를 동반한 착륙(power on landing)을 선호함으로써 항공기의 자세를 제어하고 안전한 착륙을 도모한다고 판단한다. 그러나 분석 결과를 보면 에너지의 증가는 자세제어를 위한 조작과 상관관계가 높고 풍속과 풍향의 영향이 더해지면서 평소의 착륙 자세를 유지하기 어려워진다는 사실이 확인되었다.

이처럼 항공사는 안전관리시스템(SMS)의 일환으로 비행 데이터 모니터링 프로그램을 통해 수집된 항공기의 비정상적인 데이터를 분석하여 사고의 전조 징후 탐색과 잠재적 위험을 식별하여 사전에 제거하는 예측적 안전관리를 목적으로 하고 있다. 본 연구에서는 착륙 과정에서 활주로 이탈로 이어질 수 있는 크랩랜딩 이벤트 QAR 데이터 통계분석 모델의 결과에 따른 위험요소(hazard)를 식별할 수 있었으며, 이를 사전에 제거하는 안전관리의 효율성을 제고하였다는 시사점을 가진다.

Reference

[1] Boeing. Statistical summary of commercial jet airplane accidents. [Internet]. Available: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2023-10/statsum_summary_2022.pdf.

[2] A. Lališ and P. Vittek, "Safety KPIs-monitoring of safety performance," *MAD-Magazine of Aviation Development*, Vol.

- 2, No. 11, pp. 9-12, Oct. 2014.
- [3] International Civil Aviation Organization. Doc 9859 AN/474 Safety Management Manual (SMM). Approved by the Secretary General and published under his authority. Third Edition, Montréal, Québec: International Civil Aviation Organization. 2013.
- [4] International Civil Aviation Organization. Manual on flight data analysis programmes (FDAP), (2nd Edition), Vol. 10000 AN/501. Doc. Montréal, Québec: International Civil Aviation Organization. 2021.
- [5] M. D. Sudolsky, "IVHM solutions using commercially-available aircraft condition monitoring systems," in *Aerospace Conference*, Big Sky: MT, pp. 1-8, Mar. 2007.
- [6] F. Schwaiger and F. Holzapfel, "Fast decoding of ARINC 717 flight data recordings," in *AIAA Scitech 2021 Online Virtual Forum*, pp. 25-34, Sep. 2021
- [7] International Civil Aviation Organization. Manual on flight data analysis programmes (FDAP) (First edition). Vol. 10000 AN/501. Doc. Montréal, Québec: International Civil Aviation Organization. 2014
- [8] A. Alin, "Multicollinearity," *WIREs Computational Statistics*, Vol. 2, No. 3, pp. 370-374, May, 2010.



전 제 형 (Jeon Je-Hyung)

2009년 03월 ~ 2012년 04월 항공우주연구원(추진기관, 로터팀 연구원)
2014년 2월 : 한국항공대학교 운항관리학과(이학석사)
2015년 - 현재: 한국항공대학교 운항관리학과(박사과정)
2016년 05월 - 현재: 에어부산 안전보안실FOQA Analyst/과장
※ 관심분야 : Flight data analysis, SMS, 안전문화



김 현 덕 (Kim Hyeon-Deok)

1999년 3월 ~ 2020년 2월 : 대한항공 (B737 & B777 기장)
2017년 5월 ~ 2020년 2월 : 대한항공 안전보안실 Fleet Manager & 항공기 사고조사관
2011년 2월 : 한국항공대학교 운항관리학과(이학석사)
2023년 8월 : 한서대학교 운항관리학과 (이학박사)
2020년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공운항학과 부교수
※ 관심분야 : Flight data analysis, 사고조사, SMS