

論文

활주로종단안전구역의 위험빈도 추정 연구

김도현*, 신동진**

A Study on Risk Frequency Estimation of Runway End Safety Area

Do-Hyeon Kim*, Dong-Jin Sheen**

Abstract

'Aviation Safety' is the state in which the risk of harm to persons or of property damage is reduced to, and maintained at or below, an acceptable level through a continuing process of hazard identification and risk management in the aviation field. 'Risk' is the assessed potential for adverse consequences resulting from a hazard and 'Risk assessment' involves consideration of both the frequency and the severity of any adverse consequence. This study focused on the risk frequency about a case airport which does not meet the 'Runway end safety area' requirement of ICAO SARPs and Korea standards and used 'RSA risk model' for estimating the risk frequency.

As results of this study, risk frequency of the runway end safety areas in the case airport is higher than that of 'Runway end safety area' requirement of ICAO SARPs and Korea standards, which means that alternatives for risk frequency mitigation to a level as low as reasonably practicable is required in the case airport. The optimum solution analysed from this study is to impose restriction of aircraft operation when the runway condition is poor(icing condition) and also it snows in the case airport.

Key Words : Aeronautical Study(항공학적 검토), Risk frequency(위험빈도), Risk estimation(위험추정), Runway end safety area(활주로종단안전구역), Risk model(위험평가모델)

1. 서론

국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization; ICAO)는 항공업무의 안전과 질서를 위해 계약국의 비행방식, 항공로, 항공종사자 규칙 등에 대한 관련 업무를 통일하기 위해 국제표준 및 권고사항(Standards and recommended practices; SARPs)을 설정하고 있다. 그러나 국가마다 물리적 특성 등 환경상의 문제로 SARPs나 자국 기준과 차이를 보이는 면제 및 예외사항

(Exemption or Exception)들이 현존하고 있다. 이러한 사항들은 언제든지 항공안전을 저해하지 않음을 입증할 수 있는 기회가 있으며 이를 입증하지 못하는 경우에는 해당 시설 또는 시스템의 개선을 통하여 최대한 기준에 충족하도록 하여야 한다.[1]

항공안전이란 항공분야에서 손실을 가져오는 위험요소를 감소시키고, 위험요소의 확인, 위험평가 그리고 위험관리의 연속적인 과정에서 검토하는 위험을 수용할 수 있는 수준이하로 유지하는 상태를 말한다.[2] 위험(Risk)은 '해로움이나 손실이 생길 우려가 있음 또는 그런 상태'로 정의할 수 있는데 이는 정성적이어서 위험수준을 추정하는데 사용될 수 없다. 따라서 정량적으로 위험을 정의할 필요가 있고, 이런 의미에서 '위

2010년 08월 28일 접수 ~ 2010년 09월 20일 심사완료

* 한서대학교 항공교통관리학과

연락처, E-mail:dhkim@hanseo.ac.kr

충남 태안군 남면 신운리 한서대학교 태안비행장

** 한서대학교 항공기계학과

험'은 '미래에 발생 가능한 손실'로 정의할 수 있다. 그러나 문제는 100% 정확하게 미래를 예견할 수가 없다는 것이다. 일반적으로 무엇을 예측한다는 것은 불확실성을 갖게 되며, 위험이란 미래의 불확실성을 측정하는 데 사용되는 개념으로 이해할 수 있다.[3]

ICAO의 항공기 사고/준사고 자료보고(Aircraft Accident/Incident Data Reports; ADREP)에서는 항공기가 착륙 또는 이륙 시 활주로 이전에 착륙하거나 과주한 경우 심각한 피해를 입게 된다고 제시한다. 따라서 이러한 피해를 최소화하기 위하여 활주로 착륙대 종단 너머로 추가적인 지역이 필요하게 된다.[4] ICAO는 이 지역을 활주로 종단안전구역(Runway end safety area)이라 하여 SARPs에 포함시키고 있고 국내에서는 비행장시설설치기준에서 관련 기준을 설정하고 있다.

현재 국내 지방공항 중에는 특정여건에 의하여 활주로종단안전구역에 관한 기준을 충족하지 못하는 공항들이 있다. 문제는 이들 공항에 취항하는 항공기가 가질 수 있는 위험수준이 어느 정도인지, 또한 해당 위험수준은 수용할 수 있는 수준인지 아닌지 판단할 수 있는 정량적 분석이 이루어지지 않고 운용되고 있다는 것이다.

따라서 본 연구에서는 이들 공항 중 한 공항을 사례공항으로 선정하여 위험빈도를 중심으로 해당 공항의 활주로종단안전구역이 지나는 위험빈도를 정량화하고자 한다. 이를 통하여 SARPs와 국내기준에 대비하여 미 충족된 활주로종단안전구역의 위험빈도수준이 어느 정도인지 파악하고 위험빈도를 완화시킬 수 있는 대안이 있는지 분석하여 최선의 대안을 제시하고자 한다.

II. 활주로종단안전구역

2.1. 기준의 검토

활주로종단안전구역은 접근활주로의 시단 앞쪽에 착륙하거나 종단을 지나쳐 버린 항공기의 손상을 줄이기 위하여 활주로 중심선의 연장선에 대칭으로 착륙대 종단 이후에 설정된 구역을 말한다.[5]

활주로종단안전구역에 관한 기준은 ICAO 부속서 14(비행장) 제3장 물리적 특성에서 규정하고 있다. 비행장분류번호가 3 또는 4인 경우나 1 또는 2로 계기활주로인 경우 반드시 활주로종단안전구역을 설치하게 되어있다. 길이는 활주로착륙대 종단으로부터 가능한 한(분류번호 3 또는 4의 경우, 240m, 1 또는 2인 경우 120m) 크게 확장되더라도 90m이상이어야 하고, 폭은 적어도 해당 활주로 폭의 2배이상으로 하되 가능한 경우 정지구역의 폭과 동일하게 설치하도록 규정하고 있다. 국내 비행장시설설치 기준도 ICAO와 마찬가지로 활주로종단안전구역에 관한 기준을 설정하고 있다.

Table. 1 활주로종단안전구역 기준

활주로종단 안전구역	ICAO 및 국내기준 (분류번호 3 또는 4)
폭	<ul style="list-style-type: none"> ○ 활주로폭 2배이상 : 90m(각 45m) ○ 권고-가능한한 정지구역폭과 동일 : 150m(각 75m)
길이	<ul style="list-style-type: none"> ○ 착륙대 종단 최소 90m이상 ○ 권고-가능한 한 240m까지 확장

활주로종단안전구역은 항공기의 활주로이탈피해를 최소화하기 위해 설정된 규정이다. 따라서 이 구역에 대한 위험빈도 추정은 활주로이탈 개념에서 접근함이 타당하다.

2.2 활주로이탈

ICAO와 EASA(European Aviation Safety Agency)의 활주로이탈(Runway Excursion)에 대한 정의는 다음과 같다.

「When an aircraft on the runway surface departs the end or the side of the runway surface(항공기가 활주로 측면이나 종단에서 이탈하는 것)」 [6]

이러한 활주로이탈은 종류에 따라 다시 측면이탈(Veer-Off)과 과주(Overrun)의 2가지로 구분되거나 착륙을 하는 항공기가 활주로 지역에서 이탈한다는 점에서는 궁극적으로 동일하다. 여기서 말하는 착륙(Stabilized Approach)이란 공항상공에서 계기비행기상상태(IMC)에서는 1,000피트, 시계비행기상상태(VMC)는 500피트 고도까지 안정적

으로 접근하는 것을 의미한다. 측면이탈은 안정적으로 착륙을 하던 항공기가 활주로의 측면으로 이탈하는 것을 말하며, 과주(Overrun)는 안정적으로 착륙을 하던 항공기가 활주로의 종단에서 이탈하는 것을 말한다.

본 연구에서는 측면이탈 및 과주와 함께 활주로의 전 착륙(undershoot)도 포함한 넓은 의미의 활주로이탈에 대해서 분석하였다.

III. RSA 위험평가모델 적용

3.1 RSA 위험평가 모델

RSA(Risk Safety Area) 위험평가 모델[7]은 2008년 Airport Cooperative Research Program(ACRP)의 하나로 FAA 지원 하에 개발된 정량적 위험평가 방법론이다. 과학적 근거와 통계적 이론을 바탕으로 활주로안전구역(Runway Safety Area; RSA)에서 활주로의 전 착륙(undershoots) 또는 과주(overruns)하는 항공기에 대한 위험수준을 평가하기 위한 확률론적 위험평가모델로, 1982년부터 2006년까지 RSA에서 발생한 주요 과주 및 활주로의 전 착륙 관련 ADREP를 바탕으로 관련 위험요소를 고려하여 개발되었으며, 운항자료(historical flight data)와 현재 또는 계획 중인 RSA의 규격으로 위험빈도 및 가능한 위험영향을 평가하고 공항에서의 고위험수준의 운항빈도를 계량화할 수 있는 확률분포를 산출할 수 있다.

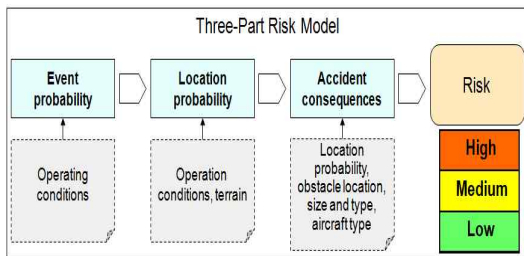


Fig.1 RSA 위험평가 모델의 평가방법

RSA 위험평가모델은 세 가지의 모델로 이루어진다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 사고확률(Event probability)모델은 항공기운항형태와 기상

조건에 따른 함수이고, 항공기가 주어진 위치에 있을 확률(Location probability)모델은 활주로종단으로부터의 거리에 관한 함수이며, 위험영향(Consequence)모델은 장애물의 유형, 위치 및 항공기 기종에 관한 함수이다. 이 세 가지 위험모델을 통하여 최종적으로 위험수준을 평가한다. 본 연구에서는 이 모델을 이용하여 위험빈도 추정을 중심으로 수행하였다.

위험빈도를 추정하기 위한 RSA 위험평가 모델 중 사고발생빈도 모델(Event probability Model)은 다음과 같다.

$$P(Accident Occurrence) = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots)}} \quad (1)$$

여기서, X_i 는 독립변수(예; ceiling, visibility, crosswind, tailwind, aircraft weight, Icing condition, snow 등)이고, b_i 는 회귀계수이다.

식(1)에서 $b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots$ 을 상수 b 로 가정할 때, 상수 b 의 모형은 다음 3가지로 나눌 수 있는데, 착륙중 과주(Landing Overrun; LDOR)하는 경우는 식(2)로 표현되며, 활주로의 전 착륙(Landing Undershoot; LDUS)하는 경우는 식(3)으로 그리고 이륙 중 과주(Takeoff Overrun; TOOR)하는 경우는 식(4)로 정의된다.

$$\begin{aligned}
 b = & -15.456 + 0.551(HaveyAcft) - 2.113(CommuterAcft) \\
 & - 1.064(MediumAcft) - 0.876(SmallAcft) \\
 & + 0.445(TurbopropAcft) - 0.857(ForeignOD) \\
 & + 1.832(CeilingHeight < 1,000ft) \\
 & + 1.639(CeilingHeight 1,001 - 2,500ft) \\
 & + 2.428(Visibility < 2SM) + 1.186(Visibility 2 - 4SM) \\
 & + 1.741(Visibility 4 - 6SM) + 0.322(Visibility 6 - 8SM) \\
 & - 0.532(Crosswind 2 - 5kt) + 1.566(Crosswind 5 - 12kt) \\
 & + 1.518(Crosswind > 12kt) + 0.986(ElectStorm) \\
 & + 1.926(IcingCondition) + 1.499(Snow) \\
 & - 1.009(Temp < 5C) - 0.631(Temp 5 - 15C) \\
 & + 0.265(Temp > 25C) + 1.006(NonhubApt) \\
 & + 0.924(SignificantTerrain)
 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
 b = & -14.9642 + 0.036(HaveyAcft) - 1.699(CommuterAcft) \\
 & - 0.427(MediumAcft) + 1.760(SmallAcft) \\
 & + 0.288(UserClass1) + 0.908(UserClass1) \\
 & - 1.042(ForeignOD) + 0.199(CeilingHeight < 1,000ft) \\
 & + 1.463(CeilingHeight 1,001 - 2,500ft) \\
 & + 2.074(Visibility < 2SM) + 0.069(Visibility 2 - 4SM) \\
 & - 0.185(Visibility 4 - 6SM) - 0.295(Visibility 6 - 8SM) \\
 & + 1.830(Fog) - 1.705(Rain) - 0.505(Temp < 5C) \\
 & - 0.874(Temp 5 - 15C) - 0.446(Temp > 25C) \\
 & + 2.815(IcingCondition) + 2.412(Snow)
 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 b = & -16.6515 + 0.721(HaveyAcft) - 0.619(CommuterAcft) \\
 & - 0.009(MediumAcft) - 1.669(SmallAcft) \\
 & + 1.336(UserClass1) + 1.052(UserClass2) \\
 & + 1.225(CeilingHeight < 1,000ft) \\
 & + 1.497(CeilingHeight 1,001 - 2,500ft) \\
 & + 0.201(Visibility < 2SM) - 1.941(Visibility 2 - 4SM) \\
 & - 0.366(Visibility 4 - 6SM) + 0.317(Visibility 6 - 8SM) \\
 & + 1.660(Fog) - 0.292(Crosswind 2 - 5kt) \\
 & + 1.598(Crosswind 5 - 12kt) + 1.781(Crosswind > 12kt) \\
 & - 0.536(Temp < 5C) - 0.507(Temp 5 - 15C) \\
 & + 0.502(Temp > 25C) + 1.805(IcingCondition) + 2.567(Snow)
 \end{aligned} \quad (4)$$

사고위치 모델(Location Model)은 사고 및 준 사고시 항공기의 활주로이탈 위치 자료를 바탕으로 착륙 중 과주하는 경우, 활주로이전 착륙하는 경우 및 이륙 중 과주하는 세 가지 경우에 대해 개발된 상보누적확률분포 모델이다.

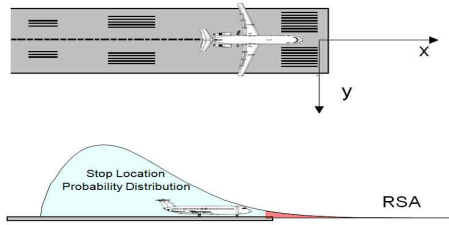


Fig. 2 사고위치모델의 개념

Fig. 2에서 x 는 활주로중심 연장선을 따라 활주로시단 또는 종단을 벗어난 거리이고, y 는 활주로중심 연장선으로부터 활주로시단 또는 종단을 벗어난 거리로, 사고 위치가 x 와 y 를 벗어날 확률은 식(5), (6)과 같이 산출한다.

$$P(\text{Location} > x) = e^{-ax^n} \quad (5)$$

$$P(\text{Location} > y) = e^{-by^m} \quad (6)$$

여기서, a, b, n, m 은 회귀계수이다.

상보누적확률분포를 바탕으로 x 및 y 의 사고위치 모델 및 결정계수(R2)을 정리하면, 다음의 식(7) ~ 식(12)와 같다.

착륙 중 과주(LDOR);

$$P(d > x) = e^{-0.004692x^{0.824513}}, R2=0.995 \quad (7)$$

$$P(d > y) = e^{-0.243692y^{0.388726}}, R2=0.934 \quad (8)$$

활주로이전착륙(LDUS)

$$P(d > x) = e^{-0.022078x^{0.585959}}, R2=0.991 \quad (9)$$

$$P(d > y) = e^{-0.19539y^{0.433399}}, R2=0.903 \quad (10)$$

이륙중 과주(TOOR)

$$P(d > x) = e^{-0.003364x^{0.807138}}, R2=0.985 \quad (11)$$

$$P(d > y) = e^{-0.181046y^{0.406544}}, R2=0.971 \quad (12)$$

3.2 적용 사례공항의 기본자료 설정

활주로종단안전구역의 위험빈도추정을 위해 선정된 사례공항은 2,000m×45m급 활주로 한 본과 Cat I 급 계기착륙시스템(ILS)을 갖춘 4C급 공항이다. 1996년 이후 2008년까지 연평균 약 12,300회의 운항실적을 보이고 있으며 취항기종은 A320-200, B737-800/900 및 B737-400으로 이륙소요거리는 2,000m이하, 착륙소요거리(wet조건)는 약 1,820m이하인 것으로 조사되었다.

항공기상청 공항기후통계자료를 근거로 1996년부터 2009년까지 시각별 계급별 시정(visibility) 발생빈도(총 관측횟수 : 87,019) 통계를 살펴보면 시정치 800m미만의 낮은 시정조건인 경우는 전체의 0.4%로, 하루 중 대부분(99.6%)은 시정치가 매우 양호한 상태에서 항공기가 운항하였음을 알 수 있으며, 바람성분 관련 통계의 경우, 풍속 5 노트 이하의 바람은 전체의 49.1%이고 활주로36방향의 풍향이 54.5%(320° ~ 40° 사이)로 가장 많아 주 활주로방향은 36방향임을 알 수 있고, 18방향은 14.3%로 분석되었다. 또한 최저운저고도(ceiling) 관련 통계에서는 1,500피트 이하가 전체의 2.3%로, 하루 중 97.7%가 최저운저고도 1,500피트 이상인 조건에서 항공기가 운항하는 것으로 조사되었다.

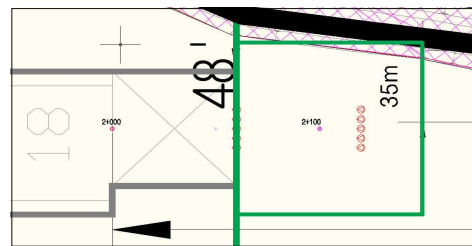


Fig. 3 활주로18 종단안전구역배치도

Fig. 3은 사례공항에서의 활주로종단안전구역을 나타내는데, 활주로종단안전구역이 ICAO 및 국내 기준(폭: 활주로 폭의 2배 이상, 길이: 착륙대종단 최소 90m이상)과 비교하여 길이가 최대 10m부족하고, 권고안(폭: 정지구역 폭과 동일, 길이: 가능한 240m까지)과 비교하였을 경우, 폭은

최대 40m, 길이는 60m가 부족한 것으로 조사되었다.

3.3 위험수용성 판단수준의 설정

사례 공항 활주로종단안전구역의 위험빈도 수용성 판단 기준을 설정하기 위하여 해당 공항의 기상통계자료를 포함한 실제 운영에 관한 데이터를 바탕으로, RSA 위험평가에 적용할 항공기운항형태와 기상조건변수를 정상운용조건(Normal operational condition; NOC)과 이례적운용조건(Anomalous operational condition; AOC)으로 구분하였다.

SARPs 및 국내기준에서 요구하는 활주로종단안전구역 규격에 대해 NOC와 AOC의 위험빈도를 추정하고 이 범위를 수용 가능한 위험빈도 기준으로 설정하였다. 따라서 사례공항의 활주로종단안전구역 위험빈도 수준을 추정하고 설정된 수용 가능한 위험빈도 수준과 비교하여 사례공항의 위험빈도 수준이 어느 정도인지 판단할 수 있고, 운항조건에 대한 제한으로 사례공항에서 항공기가 안전하게 운항할 수 있는 방안이 있는지 분석할 수 있는 기준을 마련하였다.

IV. 위험추정결과

4.1. 시나리오 설정

사례공항의 활주로종단안전구역 위험빈도를 추정하기 위하여 LDOR, LDUS, TOOR별로 가능한 모든 활주روی탈 시나리오를 다음과 같이 설정하였다.

• LDOR 시나리오

- 시나리오1(LO1): 활주로36로 착륙시 과주하여 활주로종단 연장선 외측 활주로종단안전구역 내에 위치한 개거배수로에 빠지는 경우
- 시나리오2(LO2): 활주로36로 착륙시 활주로종단안전구역 폭 범위 내에서 활주로종단안전구역의 종단 외측으로 과주하는 경우
- 시나리오3(LO3): 활주로36로 착륙시 활주로종단안전구역 폭 범위 외측으로 활주로종단안전구역의 종단으로부터 과주하는 경우

- 시나리오4(LO4): 활주로36로 착륙시 활주로종단과 활주로종단안전구역의 종단사이에서 청사측으로 과주하는 경우

- 시나리오5(LO5): 활주로18로 착륙시 활주로종단안전구역 폭 범위 내에서 활주로종단안전구역의 종단 외측으로 과주하는 경우

- 시나리오6(LO6): 활주로18로 착륙시 활주로종단안전구역 폭 범위 외측으로 활주로종단으로부터 과주하는 경우

• LDUS 시나리오

- 시나리오1(LU1): 활주로18 착륙시 undershoot하여 활주로종단 연장선 외측 활주로종단안전구역 내에 위치한 블록담과 충돌하는 경우

- 시나리오2(LU2): 활주로18로 착륙시 활주로종단안전구역 폭 범위 내에서 활주로종단안전구역의 종단 외측으로 undershoot하는 경우

- 시나리오3(LU3): 활주로18로 착륙시 착륙대 폭 범위 외측으로 활주로종단안전구역의 종단으로부터 undershoot하는 경우

- 시나리오4(LU4): 활주로18로 착륙시 활주로종단과 활주로종단안전구역의 종단사이에서 청사측으로 undershoot하는 경우

- 시나리오5(LU5): 활주로36로 착륙시 활주로종단안전구역 폭 범위 내에서 활주로종단안전구역의 종단 외측으로 undershoot하여 경우

- 시나리오6(LU6): 활주로36로 착륙시 활주로종단안전구역 폭 범위 외측으로 활주로종단으로부터 undershoot하는 경우

• TOOR 시나리오

- 시나리오1(TO1): 활주로36로 이륙시 과주하여 활주로종단 연장선 외측 활주로종단안전구역 내에 위치한 개거배수로에 빠지는 경우

- 시나리오2(TO2): 활주로36로 이륙시 활주로종단안전구역 폭 범위 내에서 활주로종단안전구역의 종단 외측으로 과주하는 경우

- 시나리오3(TO3): 활주로36로 이륙시 활주로종단안전구역 폭 범위 외측으로 활주로종단안전구역의 종단으로부터 과주하는 경우

- 시나리오4(TO4): 활주로36로 이륙시 활주로종단과 활주로종단안전구역의 종단사이에서 청사측으로 과주하는 경우

- 시나리오5(TO5): 활주로18로 이륙시 활주로종

단안전구역 폭 범위 내에서 활주로종단안전구역의 종단 외측으로 과주하는 경우

- 시나리오6(TO6): 활주로18로 이륙시 착륙대 폭 범위 외측으로 활주로종단으로부터 과주하는 경우

RSA 위험평가 모델은 위험빈도추정시 수학적 접근방법을 이용하여야 하므로 사례공항의 여건을 반영하여 설정된 시나리오의 수에 따라 연산이 복잡해진다. 따라서 본 연구에서는 RSA 위험평가모델의 알고리즘을 바탕으로 한 연산프로그램을 개발하여 위험빈도를 추정하였다.

4.2 추정결과

활주로종단안전구역의 기준은 ICAO 표준(Standards)과 권고안(Recommendation)으로 나눌 수 있다. 본 연구의 위험빈도 추정에서는 두 가지 기준을 모두 고려하여 분석하였으며 그 결과는 Table. 2와 같다.

Table. 2. 표준/권고안 대비 사례공항 위험빈도 추정결과

활주로종단안전구역	정상운영조건(NOC)	이례적운영조건(AOC)	비고
표준 (길이:90m 폭:90m)	LDOR 2.9339150e-7	LDOR 1.0598010e-3	
	LDUS 1.6907830e-7	LDUS 1.1476280e-3	
	TOOR 4.1143150e-8	TOOR 2.4763330e-4	
	위험 빈도 5.0361295e-7	위험 빈도 2.4550623e-3	
표준 대비 사례공항	LDOR 4.1799853e-7	LDOR 1.5099114e-3	
	LDUS 3.3828702e-7	LDUS 2.2961415e-3	
	TOOR 8.2314309e-8	TOOR 4.9543522e-4	
	위험 빈도 8.3859986e-7	위험 빈도 4.3014881e-3	
권고안 (길이:240m 폭:150m)	LDOR 1.8088650e-7	LDOR 6.5340570e-4	
	LDUS 1.1634980e-7	LDUS 7.8973060e-4	
	TOOR 1.0623830e-8	TOOR 1.8294570e-4	
	위험 빈도 3.0786013e-7	위험 빈도 1.6260820e-3	
권고안 대비 사례공항	LDOR 4.4430850e-7	LDOR 1.6049493e-3	
	LDUS 2.6195326e-7	LDUS 1.7780220e-3	
	TOOR 6.9227986e-8	TOOR 4.1667096e-4	
	위험 빈도 7.7548975e-7	위험 빈도 3.7996423e-3	

사례공항의 활주로종단안전구역 관련 위험빈도를 추정한 결과, 표준(길이:90m, 폭:90m)에 대비하여 활주로종단안전구역의 위험빈도는 정상운영조건기준으로 3.3498691e-7(1,000만 운항횟수 당 약 3.35회), 이례적 운영조건기준으로 1.8464258e-3(1,000운항횟수 당 약 1.85회)이 더 높은 것으로 추정되었다.

따라서 항공기가 연평균 약 12,300회 운항하는 이 공항의 경우 정상운영조건을 기준으로 하면, 약 242.7년에 1회가 더 발생할 수 있는 것으로 분석할 수 있다.

또한 권고안(길이:240m, 폭:150m)과 비교하면, 정상운영조건에서는 4.6762962e-7(1,000만 운항횟수 당 약 4.68회), 이례적 운영조건기준으로 2.1735603e-3(1,000운항횟수 당 약 2.17회)이 더

높은 것으로 분석되어 이는 사례공항의 정상운영조건을 기준으로 할 때 173.9년에 1회 더 발생할 수 있는 수준인 것으로 분석되었다. 또한 권고안과 비교한 위험빈도 결과는 표준에 비해서도 상승한 것을 알 수 있다. 그러나 표준과 권고안 간 위험빈도는 약 1.64:1의 비율로 권고안 수용시 위험빈도가 낮아지는 반면, 사례공항에 표준과 권고안 적용시 위험빈도는 약 1.08:1을 나타내 사례공항에서 표준규격을 적용하나 권고안을 적용하나 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.

활주로종단안전구역 표준을 대상으로 위험빈도를 추정한 세부내용을 살펴보면, 착륙시 과주하는 경우(LDOR)의 위험빈도는 정상운영조건시 1.2460703e-7, 이례적 운영조건시 4.5011040e-4이 더 발생할 수 있는 것으로 추정되었고, 활주로이전착륙(LDUS)의 경우는 각각 1.6920872e-7과 1.1485135e-3이 높은 것으로 추정되었다. 또한 이륙시 과주하는 경우(TOOR)의 위험빈도는 정상운영조건기준으로 4.1171159e-8, 이례적 운영조건기준으로 2.4780192e-4이 추가적으로 발생할 수 있는 것으로 추정되었다.

권고안을 대상으로 위험빈도를 추정한 세부내용을 살펴보면, 착륙시 과주하는 경우(LDOR)의 위험빈도는 정상운영조건시 2.6342200e-7, 이례적 운영조건시 9.5154360e-4이 더 발생할 수 있는 것으로 추정되었고, 활주로이전착륙(LDUS)의 경우는 각각 1.4560346e-7과 9.8829140e-4이 높

은 것으로 추정되었다. 또한 이륙시 과주하는 경우(TOOR)의 위험빈도는 정상운영조건기준으로 5.8604156e-8, 이례적 운영조건기준으로 2.3372526e-4이 추가적으로 발생할 수 있는 것으로 추정되었다.

4.3 위험빈도완화방안

위험빈도 완화방안으로 운영조건 제한방안을 분석하기 위해 운영조건 중 운고(ceiling height), 시정(visibility) 및 측풍(cross wind)조건을 사례공항의 기상조건 중 최악의 조건으로 설정하고 그 밖의 활주로상태 및 기상조건 변수를 조정하여 설정된 총 8개의 시나리오로 위험빈도 완화수준을 분석하였다. 각 시나리오의 운영조건은 다음과 같다.

- 시나리오 1 : Icing condition 조건인 경우
- 시나리오 2 : 시나리오 “1” 조건 + 눈(snow)
- 시나리오 3 : 시나리오 “1” 조건 + 안개(fog)
- 시나리오 4 : 시나리오 “1” 조건 + 비(rain)
- 시나리오 5 : 눈(snow) + 안개가 있는 경우
- 시나리오 6 : 비+안개조건에서 온도 5℃ 미만
- 시나리오 7 : 비+안개조건에서 5~15℃ 미만
- 시나리오 8 : 비+안개조건에서 25℃ 초과

사례공항 활주로종단안전구역을 대상으로 운영조건 변수를 다양하게 적용한 8가지의 시나리오 결과를 종합하면, 시나리오 2와 같은 운영환경을 제외하고는 모두 표준 및 권고안에서 규정하고 있는 활주로종단안전구역의 수용가능한 위험빈도 범위 내로 완화되는 것으로 분석되었다.

최악의 시나리오인 이례적 운영조건 및 시나리오 2 조건을 사례공항에 적용시킬 경우와 다른 7개의 시나리오를 비교하면, 활주로종단안전구역을 이탈하는 위험발생빈도관련 운영조건(상수 b 관련) 중 위험발생빈도에 가장 큰 영향을 미치는 변수(식(1)~(4) 참조)는 Icing condition과 snow로 분석되었다. 따라서 위험빈도 추정결과, 최적의 위험빈도 완화방안으로 두 변수가 상존하는 경우, 즉 활주로제동상태가 Poor이고 이때 눈이 오는 경우에 항공기 운항을 제한하면 현재 사례공항 활주로종단안전구역 규격에서도 SARPs 및 국

내기준 규격과 같은 위험수준 범위 내로 위험완화효과가 있는 것으로 분석되었다.

Table. 3 시나리오별 사례공항 위험빈도 추정결과

구분	위험발생빈도	수용여부	비고
시나리오 1	3.7806622e-4	수용가능범위	<수용가능한 위험발생빈도 범위> RESA(표준안): 5.0361295e-7 ~ 2.4550623e-3 RESA(권고안): 3.0786013e-7 ~ 1.6260820e-3
	3.9070907e-4		
시나리오 2	1.9731389e-3	수용가능범위	
	1.9699325e-3	수용범위초과	
시나리오 3	5.8201162e-4	수용가능범위	
	5.5068871e-4		
시나리오 4	3.5099453e-4	수용가능범위	
	3.6974605e-4		
시나리오 5	4.3973902e-4	수용가능범위	
	4.0955235e-4		
시나리오 6	5.7741299e-5	수용가능범위	
	5.9338841e-5		
시나리오 7	7.9848279e-5	수용가능범위	
	8.2996441e-5		
시나리오 8	1.9605369e-4	수용가능범위	
	2.0378527e-4		

V. 결론

위험평가는 주어진 환경 하에서의 위험빈도 및 위험영향분석을 통하여 위험 프로파일을 산출하는 것을 의미하며, 위험관리란 주어진 환경에서의 대안을 제시하고 각 대안의 위험 및 장단점을 평가하여 그 결과에 따라 최적의 대안을 선정하는 것을 의미한다. 따라서 위험 수준을 평가하기 위해서는 발생빈도와 그 영향을 계량적으로 분석하는 것이 무엇보다도 중요하다. 현재 국내 공항중에는 활주로종단안전구역에 관한 기준을 충족하지 못하는 공항들이 있다. 본 연구는 이들 공항 중 사례공항을 선정하여 해당 공항의 활주로종단안전구역 위험빈도수준이 어느 정도인지 추정하고 최적의 대안이 무엇인지 평가하고자 수행하였다.

이를 위해 ICAO의 SARPs 및 국내 비행장시 설설치기준에서 제시하는 활주로종단안전구역의 규격이 가지는 위험빈도수준을 RSA 위험평가모델로 평가하여 이를 통상적으로 수용할 수 있는 수준으로 설정하고 이 규격을 충족하지 못하는

사례공항을 선정하여 이 공항이 지니는 특정환경에 대한 위험빈도를 설정치와 비교하였다. 이와 같은 방법으로 최적의 위험완화방안이 존재하는지 분석한 결과, 운영조건을 제한하는 방안 즉 활주로의 제동상태가 poor상태(Icing condition)이고 이때 눈(snow)이 오는 조건에서 운항을 제한하면, 국내·외 규정에서 설정한 활주로종단안전구역이 가지는 위험빈도수준을 유지할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 김도현, 고영학, “항공운항을 위한 항공학적 검토 및 위험평가 지침개발에 관한 연구”, 한국항공경영학회지 제6권 제2호, 2008.6
- [2] ICAO, “Doc 9859 - Safety management system manual”, 2008
- [3] 박창규, 하재주, “확률론적 안전성 평가”, 브레인코리아, 2003
- [4] ICAO, “Doc 9157-Airport design Manual Part I -Runway”, 2006
- [5] 국토해양부, “비행장시설설치기준(국토해양부고시 제2009-346호)”, 2009
- [6] Flight safety foundation, “Reducing the risk of runway excursion“, 2009
- [7] TRB, ACRP Report 3 - Analysis of Aircraft overrun and undershoots for Runway Safety Areas, 2008