

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2021.29.4.045>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

활주로시단이설에 따른 착륙대 위험발생빈도 변화 연구

김도현*, 장효석**

A Study on the Variation in the Risk Probability of Runway Strips due to the Runway Displaced Threshold

DoHyun Kim*, Hyoseok Chang**

ABSTRACT

A runway safety area (RSA) is defined as the surface surrounding the runway prepared or suitable for reducing the risk of damage to airplanes in the event of an undershoot, overshoot, or excursion from the runway. The Runway Stripe is a defined area including the runway stopway, if provided, intended firstly to reduce the risk of damage to aircraft running off a runway, and secondly, to protect aircraft flying over it during takeoff or landing operations. This study used 2 RSA analysis models: RSARA and LRSARA. The analysis utilizes historical data from the specific airport and allows to take into consideration specific operational conditions to which movements are subject, as well as the actual or planned RSA conditions in terms of dimensions, configuration, and boundaries defined by existing obstacles. This study applied the RSA and LRSA risk assessment models to a domestic airport that do not meet the criteria required by standards for aerodrome physical characteristics. The airport is considering a method to secure the runway strip standard through the displaced threshold. This study intends to confirm through quantitative risk estimation whether meeting facility standards through the runway displaced threshold leads to a positive change in risk mitigation.

Key Words : Risk Probability(위험발생빈도), Risk Assessment Model(위험평가모델), Runway Strip(착륙대), Runway Excursion(활주로이탈), Runway Displaced Threshold(활주로시단이설)

1. 서 론

활주로안전구역(runway safety area; RSA)은 이착륙하는 항공기가 활주로이탈상황이 발생했을 때 그 손상을 줄이기 위하여 설정된 활주로를 둘러싼 일정 구역을 말한다[1]. 착륙대는 활주로와 항공기가 활주로를

이탈하는 경우 항공기와 탑승자의 피해를 줄이기 위하여 활주로 주변에 설치하는 안전지대로서, 비행장의 분류기준에 따라 법규정에서 정하는 크기로 이루어지는 활주로 중심선에 중심을 두는 직사각형의 지표면 또는 수면을 말한다[2].

2010년부터 2019년까지의 항공기 사고통계[3]에 따르면, 전세계 제트항공기에 의해 발생한 치명적 사고 즉, 사고 발생 후 30일 이내 치명적 상해(fatal injury; 사망자 발생)가 발생한 사고 중 65%가 항공기 이·착륙 단계에서 발생하며, 이 단계에서 발생한 탑승사망자는 전체의 47%를 차지한다고 보고되었다. 비록 많은 항공

Received: 17. Nov. 2021, Revised: 06. Dec. 2021,
Accepted: 08. Dec. 2021

* 한서대학교 항공교통물류학과 교수

** 한서대학교 항공교통물류학과 조교수

연락처 E-mail : daniel.chang@hanseo.ac.kr

연락처 주소 : 충남 태안군 남면 고평로 한서대학교 태안비행장

기 사고가 인적오류와 같은 위험요인에 의해 발생하지만, 활주로를 포함한 비행장의 물리적 환경 또한 치명적 사고의 발생주기와 심각도에 영향을 미치는 중요한 요인이 되기도 한다[4].

영국 런던의 Southend 공항은 활주로중단안전구역의 권고기준인 활주로 중심선의 연장선에 대칭으로 착륙대 중단 이후 240m 확보를 위해 2009년에 활주로 05-23시단을 각각 236m, 224m 이설하였다[3][5]. 활주로 길이가 1,856m에 불과하고 B767급 항공기가 운항하는 이 공항은 RSA 관련 공항설계기준을 충족시킴으로써 항공기의 활주로이탈에 따른 위험을 수용 가능한 수준까지 확보할 수 있다고 판단한 것이다.

RSA 위험평가 개선모델은 2011년 ACRP(Airport Cooperative Research Program) 보고서-50으로 발간된 정량적 위험추정 방법론이다[6]. 이 모델은 1982년부터 2009년까지 RSA에서 발생한 주요 활주로이탈 관련 사고 및 준사고 자료를 바탕으로 모델화되었다. 또한, ACRP 보고서-107은 기존의 RSA 위험평가 모델에서 분석하기 어려웠던 활주로 측면이탈(veer-off)의 위험을 추정할 수 있도록 개발된 모델[7]을 제시하고 있으며, 두 모델은 운항자료(historical flight operational data)와 기상자료(weather data)를 바탕으로 현재 또는 계획 중인 RSA의 구역에서의 취항 항공기 위험발생빈도 및 위험영향을 추정할 수 있도록 한다[8].

본 연구는 RSA 및 LRSA(Lateral RSA) 위험평가 모델을 국내 공항에 적용하고자 한다. 사례 공항은 국내의 비행장시설 관련 기준에서 요구하는 착륙대 기준을 충족하고 있지 않으며, 기준 미충족의 일부를 영국의 사례와 같이 활주로시단이설을 통해 확보하는 방법을 검토하고자 한다. 이 경우, 의도한 바와 같이 시설기준 충족이 위험발생빈도 완화에 긍정적인 변화를 가져오는지 정량적 위험추정을 통하여 확인하고자 한다.

II. RSA 및 LRSA 위험추정 모델

RSA 및 LRSA 위험평가 모델은 세 가지 함수로 구성되는 첫째, 위험발생확률(event probability)은 대상 공항의 운항형태와 기상조건에 따른 함수이다. 둘째, 항공기 위치확률(location probability)은 활주로중단으로부터 벗어난 거리 관련 함수이며, 셋째 위험영향(consequence)은 장애물의 유형, 위치에 관한 함수이다. 이상의 세 가지 함수를 통해 최종적으로 위험수준을 평가하게 되는데, 본 연구는 시나리오별 위험발생가

능성 추정을 중심으로 수행하였다.

위험발생가능성을 추정하기 위한 위험발생확률 모델은 다음과 같다.

$$P(\text{Accident Occurrence}) = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots)}} \quad (1)$$

여기서, X_i 는 독립변수(예; 운항형태, 운고, 시정, 측풍, 강수 등)이고, b_i 는 회귀계수이다.

2.1 RSA 위험발생확률 모델

위험발생확률 모델의 경우, ACRP 보고서-3 모델에 독립변수가 추가되었고 기존 변수도 일부 세분되어 전체적으로 모델의 계수 값이 조정되었다. 수정된 상수 b 의 모형은 착륙과주(landing overrun; LDOR)의 경우에 식(2)로, 활주로이전착륙(landing undershoot; LDUS)은 식(3), 그리고 이륙과주(takeoff overrun; TOOR)는 식(4)로 정의된다.

$$\begin{aligned} b = & -13.065 + 1.539(\text{User Class } G) - 0.498(\text{User Class } T/C) \\ & - 1.013(\text{Acft Class } A/B) - 0.935(\text{Acft Class } D/E/F) \\ & - 0.019(\text{Ceiling} < 200\text{ft}) - 0.772(\text{Ceiling } 200 - 1,000\text{ft}) \\ & - 0.345(\text{Ceiling } 1,001 - 2,500\text{ft}) \\ & + 2.881(\text{Visibility} < 2\text{SM}) + 1.532(\text{Visibility } 2 - 4\text{SM}) \\ & + 0.200(\text{Visibility } 4 - 8\text{SM}) - 1.342(\text{Crosswind } 2 - 5\text{kt}) \\ & - 0.913(\text{Crosswind } 5 - 12\text{kt}) - 0.921(\text{Crosswind} > 12\text{kt}) \\ & + 0.786(\text{Tailwind} > 12\text{kt}) + 0.043(\text{Temp} < 5^\circ\text{C}) \\ & - 0.019(\text{Temp } 5 - 15^\circ\text{C}) - 1.067(\text{Temp} > 25^\circ\text{C}) \\ & + 2.007(\text{Ice Condition}) - 0.449(\text{Snow}) \\ & - 1.344(\text{Thunderstorm}) + 0.929(\text{Foreign OD}) \\ & + 1.334(\text{Hub Airport}) + 9.237(\text{LogCF} > 0) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} b = & -15.378 + 1.693(\text{User Class } F) + 1.288(\text{User Class } G) \\ & + 0.017(\text{User Class } T/C) - 0.778(\text{Acft Class } A/B) \\ & + 0.138(\text{Acft Class } D/E/F) - 0.070(\text{Ceiling} < 200\text{ft}) \\ & - 1.144(\text{Ceiling } 200 - 1,000\text{ft}) \\ & - 0.721(\text{Ceiling } 1,001 - 2,500\text{ft}) \\ & + 3.096(\text{Visibility} < 2\text{SM}) + 1.824(\text{Visibility } 2 - 4\text{SM}) \\ & + 0.416(\text{Visibility } 4 - 8\text{SM}) - 0.698(\text{Crosswind } 2 - 5\text{kt}) \\ & - 0.295(\text{Crosswind } 5 - 12\text{kt}) - 1.166(\text{Crosswind} > 12\text{kt}) \\ & + 0.197(\text{Temp} < 5^\circ\text{C}) - 0.710(\text{Temp } 5 - 15^\circ\text{C}) \\ & - 0.463(\text{Temp} > 25^\circ\text{C}) + 2.703(\text{Ice Condition}) \\ & + 0.991(\text{Rain}) - 0.250(\text{Snow}) + 0.041(\text{Gust}) \\ & + 1.354(\text{Foreign OD}) + 1.639(\text{LogCF} > 0) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} b = & -14.293 + 1.266(\text{User Class } F) - 1.150(\text{Acft Class } A/B) \\ & - 2.108(\text{Acft Class } D/E/F) + 0.792(\text{Ceiling} < 200\text{ft}) \\ & - 0.114(\text{Ceiling } 200 - 1,000\text{ft}) \\ & + 1.364(\text{Visibility} < 2\text{SM}) - 0.334(\text{Visibility } 2 - 4\text{SM}) \\ & + 0.652(\text{Visibility } 4 - 8\text{SM}) - 1.045(\text{Crosswind } 2 - 5\text{kt}) \\ & - 0.695(\text{Crosswind } 5 - 12\text{kt}) + 0.219(\text{Crosswind} > 12\text{kt}) \\ & + 0.269(\text{Temp} < 5^\circ\text{C}) - 0.544(\text{Temp } 5 - 15^\circ\text{C}) \\ & + 0.315(\text{Temp} > 25^\circ\text{C}) + 3.324(\text{Ice Condition}) \\ & + 0.355(\text{Rain}) + 0.721(\text{Snow}) + 0.006(\text{Gust}) \\ & + 0.560(\text{Turboprop}) \end{aligned} \quad (4)$$

Fig. 1에서 x 는 활주로중심 연장선을 따라 활주로 중단을 과주한 거리이고, y 는 활주로중심 연장선으로부터 활주로 측면이탈한 거리로, 활주로이탈 위치가 x 와 y 이상 벗어날 확률은 식(5) 및 식(6)과 같다.

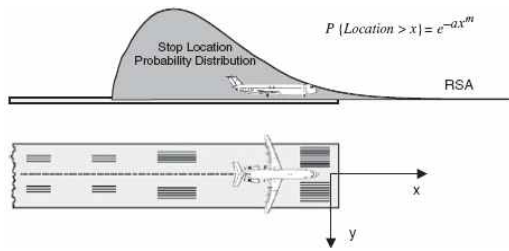


Fig. 1. Concept for aircraft overrun model

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

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

여기서, a , b , n , m 은 회귀계수이다.

상보누적확률분포를 근거로 x 와 y 의 활주로이탈 위치모델을 정리하면, Table 1과 같다. 이 함수들은 실제로 보고된 활주로이탈 관련 사고자료를 모델화한 실(raw)함수에 보고되지 않은 준사고 가중치를 추가하여 표준화(normalize) 모델이다.

2.2 LRSA 위험발생확률 모델

2014년 발간된 ACRP 보고서-107의 LRSA 프로그램은 기존 모델에서 평가할 수 없었던 측면이탈(veer-off)을 활주로이탈 관련 사고자료 분석을 통하여 새롭게 모델화하였다.

$$b = -13.088 + 1.682(\text{User Class } G) - 0.770(\text{Acft Class } A/B) - 0.252(\text{Acft Class } D/E/F) + 2.143(\text{Visibility} < 2SM) - 0.091(\text{Crosswind } 2-5kt) + 0.653(\text{Crosswind } 5-12kt) + 2.192(\text{Crosswind } > 12kt) + 0.066(\text{Tailwind } 5-12kt) + 0.980(\text{Tailwind } > 12kt) + 0.558(\text{Temp} < 5C) - 0.453(\text{Temp } 5-15C) + 0.291(\text{Temp} > 25C) + 2.670(\text{Icing Condition}) - 0.126(\text{Rain}) + 0.548(\text{Snow}) - 0.103(\text{Frozen Precipitation}) - 0.036(\text{Gusts}) + 1.740(\text{Fog}) - 2.517(\text{Turboprop}) - 0.334(\text{Foreign OD}) + 4.318(\text{Log Criticality Factor}) - 1.360(\text{Night Conditions}) \quad (7)$$

Table 1. Summary of x, y location models

구분	항공기 위치확률	R^2
착륙과주	$P(d > x) = e^{-0.00321x^{0.984941}}$	0.998
	$P(d > y) = e^{-0.20983y^{0.4862}}$	0.939
이전착륙	$P(d > x) = e^{-0.0148x^{0.0751499}}$	0.987
	$P(d > y) = e^{-0.02159y^{0.773896}}$	0.986
이륙과주	$P(d > x) = e^{-0.00109x^{1.06764}}$	0.992
	$P(d > y) = e^{-0.04282y^{0.650566}}$	0.987

$$b = -15.612 + 2.094(\text{User Class } G) - 0.852(\text{Acft Class } A/B) - 0.091(\text{Acft Class } D/E/F) + 2.042(\text{Visibility} < 2SM) + 0.808(\text{Visibility } 2-4SM) - 1.500(\text{Visibility } 4-8SM) + 0.102(\text{Crosswind } 5-12kt) + 0.706(\text{Crosswind } > 12kt) + 0.988(\text{Temp} < 5C) - 0.420(\text{Temp } 5-15C) - 0.921(\text{Temp} > 25C) - 1.541(\text{Rain}) + 0.963(\text{Snow}) + 1.522(\text{Turboprop}) - 0.236(\text{Foreign OD}) - 0.692(\text{Non Hub Airport}) + 1.707(\text{Log Criticality Factor}) \quad (8)$$

위험발생확률 모델의 경우, 상수 b 모형은 착륙측면 이탈(landing veer-off; LDVO)의 경우에 식(7)로, 이륙측면이탈(takeoff veer-off; TOVO)은 식(8)로 정의된다.

위치확률함수는 활주로를 하위 10개 영역으로 구분하여 항공기가 활주로 시단부터 DExit와 DStop 사이의 특정 하위영역 내에서 활주로 가장자리에서 특정 거리 L 을 넘어 이동할 확률을 모델화하였다(Fig. 2).

항공기가 활주로 각 하위영역에서 활주로 이탈시에 측면이탈 L 이 주어진 거리 L_1 을 초과할 확률은 식(9)와 같다.

$$P(L > L_1) = e^{aL^b} \quad (9)$$

여기서, a , b 는 회귀계수이다.

Table 2는 측면이탈 위치확률모델의 활주로 하위

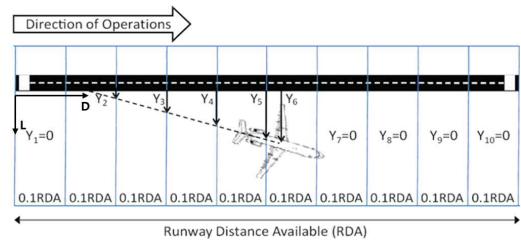


Fig. 2. Representative deviation for each subarea—example

Table 2. Lateral deviation models for normalization

구간	L 범위	a	b	$R^2(\%)$
1	0-0.1	-0.03399	0.8407	97.4
2	0.1-0.2	-0.00690	1.1339	99.3
3	0.2-0.3	-0.01306	1.0032	99.4
4	0.3-0.4	-0.00644	1.1576	99.5
5	0.4-0.5	-0.01354	0.9881	99.1
6	0.5-0.6	-0.00906	1.0482	98.3
7	0.6-0.7	-0.00909	1.0014	99.0
8	0.7-0.8	-0.01136	0.9206	99.2
9	0.8-0.9	-0.01037	0.970348	98.9
10	0.9-1.0	-0.00361	1.18109	99.1

10개 영역에 대한 회귀계수와 R^2 값을 요약한 것이다 [7].

III. 위험발생확률 추정모델의 적용

본 연구는 사례공항의 2019년도 현황 자료를 근거로 분석하였다. RSARA 프로그램과 LRSARA 프로그램을 이용한 착륙대의 위험발생빈도 추정을 위해서는 대상 공항의 일반특성(물리적 특성 포함) 자료, 항공기운항자료, 기상자료 등이 필요하다. 운항자료는 국내 공항운영자와 항공기상청 통계자료를 바탕으로 2019년 1월 1일부터 12월 31일까지의 자료를 수집하였고, 사례공항의 일반특성자료는 2021년 항공정보간행물(Aeronautical Information Publication)을 참조하였다. 항공기 제원과 모델의 매개변수는 해당 프로그램에서 기본적으로 제공하고 있다.

3.1 일반특성자료 입력

사례공항의 일반특성자료에는 운항횟수(2019년 기준, 7,024회) 및 증가율(1.0%)과 함께 공항표고(42ft), 활주로방향(18, 36), LDA를 포함한 공시거리(6,561ft), 접근형태(활주로18; 비정밀접근, 활주로36; ILS CAT I), 착륙대 배치도(Fig. 3 참조) 등을 입력하였다.

지형적 배치도와같이 사례공항 활주로 18방향 착륙대 일부분이 국내 비행장시설 설치기준에서 정한 폭 기준(활주로중심선으로부터 140m 이상)을 충족하지 못하고 있다.

3.2 운항자료 입력

사례공항은 국내선이 취항하는 공항으로, 2019년

운항횟수는 7,024회(출·도착; 각 3,512회)로 조사되었다(Fig. 4 참조). 취항 기종은 B737-800/900(3,594회), A321(3,146회), ATR-72(282회) 및 기타 Culf-stream(2회)이었으며(Table 3 참조), 활주로 36방향과 18방향 이용비율은 81.5:18.5로, LDOR과 TOOR의 주의가 필요한 활주로 36방향이 주로 이용되었다.

결항횟수는 총 192회로 조사되었는데, 주원인은 기상악화(시정, 측풍, 눈, 운고 등)가 85%, 항공기 접촉(연결) 14%, 기타(항공기 정비 등) 1%인 것으로 분석되었다.

3.3 기상자료 입력

기상자료는 2019년 1월 1일 0시부터 12월 31일 24시까지의 매시 측정치 총 8,759개를 항공기상청 기상자료개방포털로부터 확보하여 해당 자료 중 항공기 운항시 자료인 6,374개를 분석에 활용하였다.

RSARA 및 LRSARA 프로그램에 활용된 기상자료 항목은 시정, 바람성분, 기온, 운고, 뇌우, 강수, 안개 등이며, 강수자료에는 눈, 비 등으로 세분하고 있다(Fig. 5 참조).

HO ID	DATETIME	RUNWAY	Air/Dep	FAA Code	FLIGHT Category	FLIGHT Type
1	2019-01-01 오전 8:13	36	A	A321	AIR	D
2	2019-01-01 오전 8:34	36	D	B738	AIR	D
3	2019-01-01 오전 9:11	36	D	A321	AIR	D
4	2019-01-01 오전 10:14	36	A	B738	AIR	D
5	2019-01-01 오전 11:11	36	D	B738	AIR	D
6	2019-01-01 오후 12:27	36	A	A321	AIR	D

Fig. 4. Input data of historical flight operation

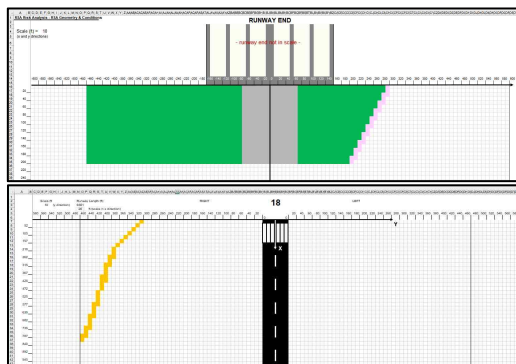


Fig. 3. Geometric strip layout of the case airport

Table 3. Summary of aircraft data

구분	A321	B738	ATR-72
Wingspan(ft)	111.9	112.6	88.9
길이(ft)	146	129.5	89.2
MTOW(lb)	182,983	155,492	21,499
이륙거리(ft)	7,251	7,546	4,921
착륙거리(ft)	5,249	5,249	3,609
V2(kts)	145	145	110
접근속도(kts)	138	141	105

Fig. 5. Input of weather data

시정치는 측정치를 제공하지 않는 비운항 시간대(12:00AM~05:00AM)를 제외한 6,374개 자료 중 시정 2SM 이하가 159회(2.4%), 2SM~4SM 사이는 767회(12.0%), 4SM 이상은 5,448회(62.5%)로 나타났다.

측풍 및 배풍은 각 프로그램에서 활주로방향에 따른 바람성분을 분석하여 측풍의 강도 및 배풍여부를 자동으로 산출한다. 사례공항의 풍속자료만 분석하면, 5노트 미만은 2,552회, 5~12노트 사이는 3,248회인 것으로 나타났다.

IV. 위험추정 결과분석

4.1 착륙대 위험발생빈도 결과

사례공항의 위험발생빈도 목표치를 $1.0E-06$ 으로 설정하고, RSARA 및 LRSARA 프로그램을 이용하여 해당 착륙대의 위험발생빈도를 분석한 결과는 Table 4와 같다.

평균 위험발생빈도는 $3.3E-07$ 으로, 목표치(TLS)보다 낮은 것으로 분석되었으나, 착륙대 기준 충족시의 위험발생빈도(LRSARA 측면이탈)에 비해서는 $1.0E-08$ 수준 높게 나타났다. 2019년 운항실적을 바탕으로 중요 준사고는 100년 이상의 발생주기를 보였으며, 목표치를 상회하는 항공기 운항은 약 7.0%로 분석되었다(Table 4 참조).

사례공항 착륙대의 평균 위험발생빈도는 $2.4E-06$ (RSA와 LRSARA 위험발생빈도 합)으로, 이는 100만 운항횟수(사례공항 2019년 운항횟수 7,024회, 1% 증가 가정시 약 89년) 당 약 2.4회 수준의 발생빈도를 의미한다. 세부적으로 살펴보면, 현재의 착륙대 규격에서 착륙과주(LDOR)가 활주로이전착륙(LDUS)이나 이륙과주(TOOR)에 비해 상대적으로 높아 위험발생빈도를 주도하는 것을 확인할 수 있다.

Table 4. Results of RSARA and LRSARA

LRSARA (착륙대측면)	평균 발생 빈도	발생 주기 (년)	TLS 상회 운항빈도 (%)	TLS 상회 발생주기 (년)
LDVO	$6.4E-07$	>100	13.8	>100
TOVO	$1.7E-08$	>100	0.1	>100
Total (사례공항)	$3.3E-07$	>100	7.0	89
착륙대기준	$3.2E-07$	>100	6.2	89
RSARA (시단이후)	평균 발생 빈도	발생 주기 (년)	TLS 상회 운항빈도 (%)	TLS 상회 발생주기 (년)
LDOR	$3.3E-06$	63	59.0	>100
TOOR	$5.8E-07$	>100	14.9	>100
LDUS	$1.5E-07$	>100	1.2	>100
LDVO	$1.1E-07$	>100	0.8	>100
TOVO	$3.8E-09$	>100	0.0	>100
Total	$2.1E-06$	53	38.0	89

활주로 방향별로는, 활주로36방향 접근시 측면이탈 위험발생빈도($3.3E-06$)가 활주로18방향($3.0E-06$)에 비해 높은 것으로 나타났고, 활주로18시단에서의 위험발생빈도($1.95E-06$)는 활주로36시단($6.08E-07$)에서 보다 $1.35E-06$ (100만 운항횟수 당 약 1.35회) 높게 나타났다(Table 5 참조). 이는 활주로18시단에서의 착륙대 기준 미충족 사항이 반영되었음을 알 수 있다.

Table 5. Results by runway direction

활주로18	평균 발생 빈도	발생 주기 (년)	TLS 상회 운항빈도(%)
LRSARA(착륙대측면)	$3.0E-07$	>100	8.7
RSARA(시단)	$1.9E-06$	61	34.1
RSARA(시단측면)	$5.4E-08$	>100	0.2
활주로36	평균 발생 빈도	발생 주기 (년)	TLS 상회 운항빈도(%)
LRSARA(착륙대측면)	$3.3E-07$	>100	6.6
RSARA(시단)	$5.5E-07$	>100	11.2
RSARA(시단측면)	$5.8E-08$	>100	0.4

4.2 활주로시단이설과 위험발생빈도 변화

사레공항 활주로시단을 영구적으로 이설하는 경우, 기존 착륙대의 시설기준 미충족 사항을 부분적으로 줄일 수 있다. 다만, 활주로의 공시거리가 축소되므로, 시설기준의 부분적 충족과 공시거리 축소가 항공기 안전 운항(위험발생빈도 측면)에 어떠한 변화를 주는지는 정량적 검토가 필요하다.

본 연구는 사레공항 활주로시단을 30m, 60m, 90m 각각 이설(Fig. 6 참조)하여 해당 조건에서의 위험발생빈도 변화를 살펴보았다. 사레공항의 2019년 운항자료 및 기상자료를 바탕으로 착륙대 기준인 활주로중심선으로부터 140m를 충족한다고 가정하는 경우, 항공기가 이·착륙할 때 항공기 감당해야 하는 평균 위험발생빈도는 $2.36E-06$ 으로 분석되었다. 이는 사레공항의 착륙대 시설을 대상으로 분석한 평균 위험발생빈도($2.40E-06$) 대비 $4.0E-08$ 낮은 수준이다.

활주로시단을 30m, 60m, 90m 영구 이설하면, 착륙대의 시설기준 미충족 부분은 완화되나 활주로길이는 현 2,000m에서 이설거리만큼 축소 운영하게 된다. 착륙대 시설기준 일부 충족이라는 법적 의미와 정성적 위험완화 기대에 비해, 분석결과(Table 6 참조)에서 보는 바와 같이, 30m 이설시 $1.0E-07$, 60m 이설시 $2.2E-07$, 90m 이설시 $3.5E-07$ 로, 위험발생빈도가 점차 증가하는 것으로 분석되었다.

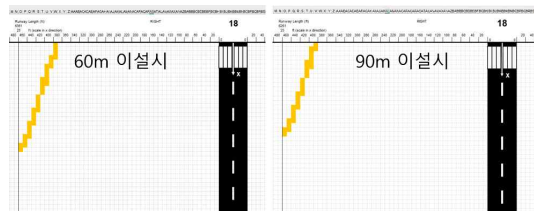


Fig. 6. Strip layout by the displaced threshold; 60m and 90m

Table 6. Results by runway displaced threshold

착륙대 18-36 평균 위험발생빈도		
사레공항	$2.40E-06$	현 배치기준
착륙대기준 충족시	$2.36E-06$	-
18방향 시단 30m이설	$2.50E-06$	$1.0E-07$ 증가
18방향 시단 60m이설	$2.62E-06$	$2.2E-07$ 증가
18방향 시단 90m이설	$2.75E-06$	$3.5E-07$ 증가

이는 사레공항에 취항하는 항공기(B738, A321) 제원상의 이착륙거리와 유사한 활주로길이를 운영하는 공항에서 착륙대 시설기준 충족을 위하여 활주로를 축소 운영할 경우, 오히려 항공기 안전운항에 부정적 영향을 미칠 수 있음을 확인할 수 있다. 서론에서 제시한 영국 런던의 Southend 공항(활주로길이: 1,856m, 취항기종: B767)의 사례 역시, 항공기의 안전운항에 기여할 목적으로 활주로시단 영구 이설을 통해 영국 공항시설 설치기준인 활주로중단안전구역 기준에 충족시키고자 하였으나, 본 연구결과와 같이 실제로 위험완화에 어떠한 변화가 있는지는 정량적 위험추정을 통해 확인해야 할 것으로 판단된다.

V. 결 론

항공기의 안전운항, 특히 공항에서 운항하는 항공기의 안전을 위해서 ICAO를 비롯한 국내외 안전 관련 당국에서는 비행장 설계시 갖추어야 하는 요건을 시설 설치기준에 담고 있다. 활주로이탈과 같은 위험으로부터 항공기 및 탑승자의 피해를 최소화하기 위한 착륙대의 규격도 해당 규정에 포함되어 있다.

본 연구는 RSA 및 LRSA 위험평가 프로그램을 활용하여 국내 공항 중 비행장시설 설치기준(착륙대 규격)을 충족하지 아니하는 공항을 대상으로 활주로이탈 관련 위험발생빈도를 추정하였다. 2019년 운항자료와 기상자료를 바탕으로, 현재 착륙대 규격에서의 위험발생빈도, 착륙대 기준을 충족했을 경우와 몇 가지 활주로시단이설(안)을 대상으로 위험발생빈도를 추정한 결과, 현 시설의 위험발생빈도는 착륙대 기준 충족시에 비해 $4.0E-08$ 수준 높게 나타났고, 활주로시단 영구이설(안)의 경우도 활주로길이를 축소하는 거리의 증가 정도에 따라 위험발생빈도도 증가하는 것으로 나타났다.

활주로 축소운영과 같은 방식을 통한 시설기준 충족 방안은 정성적 기대와는 달리 최선의 위험완화방안이 아닐 수 있으며, 실제로 본 연구결과와 같이 항공기 안전운항에 부정적 영향을 줄 수 있음을 인지해야 한다. 따라서 규정에 따른 시설기준 충족을 검토하는 경우에는 해당 방안이 위험완화 효과가 있는지 반드시 정량적 위험평가를 통해 확인한 후, 위험완화방안으로 채택해야 할 것으로 판단된다.

References

1. FAA, "AC 150/5300-13A Airport design", 2014,

- p.9.
2. Ministry of Government Legislation, "Airport Facility Act Article 2(Definitions)", 2021.
 3. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Standard for Aerodrome Physical Characteristics and Markings(2018-751)", 2014.
 4. Boeing, "Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents", 2020.
 5. UK CAA, "United Kingdom Aeronautical Information Publication-EGMC-Southend AD 2.13", 2021.
 6. TRB, "ACRP Report 50-Improved Models for Risk Assessment of Runway Safety Areas", 2011.
 7. TRB, "ACRP Report 107-Development of a Runway Veer-Off Location Distribution Risk Assessment Model and Reporting Template", 2014.
 8. Kim, D. H., and Hong, S., "An application of the improved models for risk assessment of runway safety areas", Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 23(2), 2015. 6.