Original Article

https://doi.org/10.12985/ksaa.2022.30.3.028
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

신 장애물제한표면에 관한 이론적 고찰과 실증분석 - 인천국제공항을 중심으로 -

최상일*, 유수정*, 곽기열*, 김현미**, 김휘양**

A Theoretical Study and Empirical Analysis of New Obstacle Limitation Surface (OLS) - The Case of Incheon International Airport -

Sangil Choi*, Soojeong Yu*, Kiyeol Kwak*, Hyeonmi Kim**, Huiyang Kim**

ABSTRACT

Obstacle Limitation Surface (OLS) is conceptual surface establishing the airspace around aerodromes to be maintained from obstacles to ensure safe aircraft operations. Despite advances in the technologies for aircraft, navigation systems and the development of new flight procedures, the criteria defining OLS have not been amended since its initial establishment, resulting in the overestimation of areas for height restriction. As there were requests to examine OLS at the 12th Air Navigation Conference and the 38th ICAO Assembly, the research on the OLS revision began in earnest and ICAO has proposed Obstacle Free Surface (OFS) and Obstacle Evaluation Surface (OES) as an alternative of the existing OLS. OFS is surfaces where obstacles shall not be permitted, and OES is ones where obstacles be evaluated with an aeronautical study and could be permitted under some conditions. The purpose of this study is to preemptively assess the efficiency and safety of OFS and OES by applying them to the second runway (15L/33R) of Incheon International Airport. The results show that OFS and OES are capable of serving the instrument flight procedure safely with a smaller obstacle clearance area compared to the existing OLS.

Key Words : OLS(장애물제한표면), OFS(무장애물표면), OES(장애물평가표면), Height Restriction(고도 제한), Aeronautical Study(항공학적 검토)

Ⅰ. 서 론

국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO)는 1950년대부터 항공기와 공항 주변 장애물의 충돌을 방지하기 위해 장애물제한표면(obstacle limitation surface, OLS)의 설정과 운용에 관한 국제기준을 정하여 적용하였다[1]. 회원국들은 국제기준과 표준에 따라 공항 주변 일정 공간에 OLS를 설정하고 이륙·착륙 및 접근 등 비행에 지장을 주는 장애물을 제거하거나 제한하여 장애물로부터 항공기를 효과적이고 체계적으로 보호할 수 있게 되었다

Received: 17. May. 2022, Revised: 08. Jun. 2022, Accepted: 24. Jun. 2022
* 한국항공대학교 항공교통전공 학사
** 한국항공대학교 항공교통물류학부 교수(공동 교신저자)
연락저자 E-mail : igreenbee@kau.ac.kr
연락저자 주소 : 경기도 고양시 덕양구 항공대학로 76

[1].

그러나 ICAO는 항공기와 탑재 장비의 기술적 발전, 새로운 항법 장비 개발 그리고 항행기술의 진보에도 불구하고 OLS 기준을 변경하지 않고 최초 수립된 기준을 계속해서 적용하고 있다(Kim, Jeon and Yoo, 2019; Jakaria, 2021)[2][3].

과학기술의 발전 및 항공교통 환경의 변화와 함께 OLS 기준에 대한 개정 필요성과 국제사회의 개정 요구에 따라, ICAO는 2015년부터 OLS에 관한 국제기준의 개정에 착수하였다. ICAO의 지휘에 따라 전문가로 구성된 OLS TF(task force)는 2022년까지 초안을 작성하여 항행위원회에 제출하고 2024년에 발효하며 2년의 유예기간을 거쳐서 2026년부터 모든 회원국에 적용하는 일정을 마련하였다(MOLIT, 2019)[4].

OLS TF는 현행 OLS의 대체를 위한 기준안을 마련하고 장애물이 일절 허용되지 않는 무장애물표면(obstacle free surface, OFS)과 항공학적 검토를 통해 장애물 허용 여부를 평가하는 장애물평가표면(obstacle evaluation surface, OES)을 제시하였다(MOLIT and KOTI, 2017)[5].

본 연구는 국제 항공교통 정책과 기준의 변화에 발맞추어 OLS의 대안으로 제시되는 OFS 및 OES의 기준을 우리나라 인천공항에 선제적으로 적용하여 현행 OLS와 비교·분석하였다. 이를 통해 첫째, OFS와 OES 기준을 확인하고 기준이 적용되는 공간적 범위를 고찰하며 둘째, 결과의 분석을 통해 OFS와 OES의 효용성과 안전성을 검증하고 마지막으로 OFS와 OES 도입에 필요한 제도적 개선방안을 제시하고자 한다.

II. 이론적 고찰

2.1 장애물제한표면(OLS)

장애물은 임시 또는 영구적으로 고정된 물체와 이동물체를 포함하여 항공기의 지상 이동에 사용되는 구역과 비행 중인 항공기 보호를 위해 설정된 표면을 침투하거나 설정된 표면의 바깥에 위치하더라도 항공기 비행에 위협이 될 것으로 평가된 물체를 의미한다(Kim, Jeon and Yoo, 2019)[2].

OLS는 항공기의 비행 안전을 목적으로 장애물이 없는 구역을 설정하고 장애물의 높이의 한계를 제한하는 표면의 조합으로 구성되는 일련의 표면을 말한다[1]. OLS는 외부 수평표면, 원추표면, 내부 수평표면, 진입표면, 내부 진입표면, 전이표면, 내부 전이표면, 착륙복행표면 및 이륙상승표면 등 9개 표면으로 구성되나[1], 이·착륙과 접근 방식 및 활주로 사용 방식에 따라 조합의 구성은 달라진다(Table 1 참조)(Kim, Jeon and Yoo, 2019)[2].

9개 표면 중 내부 진입표면과 내부 전이표면, 착륙복행표면은 제2종(CAT-II)과 제3종(CAT-III) 정밀접근활주로에 적용되는 표면으로 무장애구역(obstacle free zone, OFZ)을 구성한다. OFZ 범위에서는 항행에 필요한 가볍고 쉽게 부러질 수 있는 물체를 제외하고 고정장애물이 침투되지 않아야 한다.

우리나라의 공항시설법과 같은 법 시행령 그리고 같은 법 시행규칙은 국내 항공교통 환경과 특성을 고려하여 OLS 규격과 설정에 관한 기준을 ICAO의 기준과 일부 다르게 정하고 있다[6]. 우리나라는 OLS 크기와 범위의 결정에서 착륙대 등급으로 정하나, ICAO는 활주로 등급을 기준으로 정한다. 착륙대의 등급은 공항을 운항하는 항공기 등급에 따라 결정되므로 OLS 크기와 범위는 해당 공항을 운항하는 항공기 등급에 따라 결정된다고 할 수 있다. OLS를 구성하는 표면들의 길이와 폭, 경사도 등 세부적인 물리적 규격은 Table 2와 같다. 여기에서 인천국제공항 제2 활주로(15L/33R)의 OLS 규격을 계산한 결과로써 착륙대 등급은 A를 기준으로 하였다.

ICAO OLS 기준과 달리 우리나라는 외부 수평표면에 대한 기준을 두지 않고 내부 수평표면에 대해서만 정하고 있다. ICAO 기준에 따르면 외부 수평표면은 활주로 등급이 3, 4등급 비행장에서 비행장 중심 15,000m 이내에 지표면에서 30m 이상이고 비행장 표고에서

Table 1. OLS classification

이륙 활주로	비계기, 비정밀 접근활주로	정밀접근활주로		
		제1종 정밀접근활주로	제2종, 제3종 정밀접근활주로	
이륙상승 표면	원추표면	원추표면	원추표면	내부 진입표면
	내부 수평표면	내부 수평표면	내부 수평표면	내부 전이표면
	진입표면	진입표면	진입표면	착륙복행 표면
	전이표면	전이표면	전이표면	

출처: ICAO, "Annex 14 (Aerodromes) Volume I(Aerodrome Design and Operations)", 2018.

Table 2. OLS specification (RWY 15L/33R)

제한 표면	진입 표면		전이 표면	수평 표면	원추 표면	내부 진입 표면	내부 전이 표면	착륙 복행 표면	
시작 지점/기준점	활주로 시단에서 60m		착륙대의 측면	활주로 시단에서 60m	수평 표면 가장자리	활주로 시단에서 60m	활주로 중심 양측으로 60m	활주로 시단에서 1,800m	
길이(반경)	1구역	3,000m	활주로 길이 + 4,620m	4,000m	1,100m	900m	4,110m	1,350m	
	2구역	12,000m							
경사도	1구역	2%	14.3%	-	5%	2%	33.3%	3.33%	
	2구역	2.5%							
높이 내측	시단 표고		착륙대 표고	기준 표고에서 45m	45m	시단 표고	활주로 표고	활주로 표고	
높이 외측	360m		45m		100m	18m	45m	45m	
퍼짐각	15%		-	-	-	-	-	10%	
폭	내측	300m	양 측면으로 315m	-	-	120m	양 측면으로 135m	내측	120m
	외측	4,800m						외측	390m

출처: 공항시설법, 같은 법 시행령 및 같은 법 시행규칙을 토대로 산출.

150m 이상인 장애물이 항공기 운항의 안전에 영향을 주는 경우 적용될 수 있다[7].

항공산업 초기 공항은 개발 제한과 소음 등의 이유로 상업 및 주거지역에서 떨어진 지역에 건설되었으나, 도시 발전과 성장에 따라 공항 주변 지역에 건축물 또는 구조물의 건설이 확장되면서 도시개발을 위해 공항 주변 지역에 대한 고도 제한 완화를 요구하는 민원이 늘어나게 되었다(Kim, Jeon and Yoo, 2019)[2].

OLS 기준은 장애물의 존치와 확장을 엄격하게 제한하나 차폐 및 항공학적 검토를 통해 항공기 운항의 안정성과 규칙성을 저해하지 않는다고 판단되는 상황에 관해서는 예외 조항을 마련하고 있으며 차폐 및 항공학적 검토를 중심으로 제한을 완화하기 위한 연구가 진행되었다[1].

차폐에 관한 연구로서 Yang(2002)은 항공기 운항 안전을 위하여 차폐 적용 시 고려해야 할 사항을 제언하였으며[8] Lee(2005)는 ICAO와 타 국가의 기준을 검토·분석하여 차폐 적용의 명확한 기준방안을 제시하였다[9].

항공학적 검토에 관한 연구는 이행기준의 수립과 제도 개선을 목적으로 진행되었다. MOLIT and KOTI (2017)는 항공학적 검토를 위한 세부 기준마련을 위하여 종합적인 연구를 진행하였으며[5] Kim et al.(2019)은 항공학적 검토에 관한 제도적 개선과 항적 자료를 이용한 정량적 분석 방법을 제시하였다[2]. Lee et al. (2021)은 항공학적 검토를 위한 세부 기준 수립에 앞서 항공학적 검토 수행 절차 및 업무처리 절차에 관한 개선방안을 제시하였다[10].

2.2 무장애물표면(OFS)과 장애물평가표면(OES)

제38차 ICAO 총회와 제12차 항행회의에서 회원국이 기존 OLS에 대한 검토와 개정을 요구함에 따라 ICAO 사무국은 2015년 OLS TF를 구성하고 OLS의 개정에 관한 연구가 본격적으로 시작되었다(OLS TF, 2017)[11]. OLS TF는 기존 OLS를 OFS와 OES로 이원화하고 이에 대한 개념적 정의와 표면의 구성, 적용에 관한 국제기준을 마련하였으며[11] ICAO는 ICAO/ACI OLS Symposium(OLSS 2021)에서 OFS와 OES에 관한 전반적인 연구내용과 적용 방법을 공식적으로 발표하였다[12][13]. ICAO는 OFS와 OES에 대한 개념과 함께 이를 설정하기 위한 조건으로 항공기 등급의 분류 기준을 변경하고 속도에 따라 5개로 구분하는 현행 기준을 속도와 날개폭을 기초로 7개 등급으로 구분·적용하였다[14].

2.2.1 무장애물표면(OFS)

OFS는 정의된 범위 내에 장애물이 없도록 유지하는 표면으로 장애물을 제한하여 현재와 미래의 공항 수용량 보호를 목적으로 한다. OFS는 기존 OFZ를 포함하고 다른 표면을 대체하여 구성된 표면으로 비행에 영향을 미치지 않는 기존 지형과 장애물 외에 표면을 침투하는 새로운 장애물을 존치해서는 안 되며 설치가 불가피한 시설과 장비는 쉽게 부러질 수 있어야 한다.

OFS는 진입표면, 전이표면, 내부 진입표면, 내부 전이표면, 착륙복행표면 및 이륙상승표면 등 6개 표면으로 구성되며 비행 단계와 활주로 구분에 따라 다음과

같이 구분한다(Table 3 참조).

OFS의 규격은 항공기 등급에 따라 결정되고 이에 따라 5등급의 항공기가 운항하는 정밀접근활주로에 대한 OFS 규격은 Table 4와 같다.

2.2.2 장애물평가표면(OES)

OES는 OFS 아랫부분과 이후 부분에 대해 정의되어 장애물을 평가하는 표면으로 OFS 바깥의 범위에서 비행에 미치는 영향을 평가하여 장애물의 허용 가능성을 판단하고자 한다. OES의 범위에서는 지형 또는 장애물이 침투하는 표면을 확인하고 비행에 영향을 미치지 않는다고 판단되는 경우 침투를 허용할 수 있다.

OES는 계기출발표면, 수평표면, 직 진입 계기접근표면, 정밀접근표면으로 구성되며 정밀접근표면은 접근요소, 실패접근요소 및 전이요소 3개 요소로 구분된다. 4개의 표면은 이·착륙과 접근 방식 및 활주로 사용 방식에 따라 다음과 같이 구분된다(Table 5 참조).

OES의 크기와 범위는 운항하는 항공기의 등급에 따라 결정되고 이에 따라 5등급의 항공기가 운항하는 정밀접근활주로의 OES 규격은 Table 6과 같다.

Table 3. OFS classification

이륙활주로	비계기, 비정밀접근 활주로	정밀접근 활주로
이륙상승 표면	진입표면	진입표면
	전이표면	전이표면
	내부 진입표면	내부 진입표면
	내부 전이표면	내부 전이표면
		착륙복행표면

출처: The New Surfaces–Obstacle Free Surfaces (OFS), ICAO/ACI OLS Symposium, 2021.

Table 4. OFS specification (RWY 15L/33R)

제한 표면		진입 표면		전이 표면	내부 진입 표면	내부 전이 표면	착륙 복행 표면	
시작 지점 /기준점		활주로 시단 에서 60m		착륙대의 측면	활주로 시단 에서 60m	활주로 중심 양측 으로 60m	활주로 시단 에서 1,800m	
길이 (반경)		4,500m		활주로 길이 + 3,720m	900m	4,560m	1,800m	
경사도		3.33%		20%	2%	33.3%	3.33%	
높이	내측	시단 표고		착륙대 표고	시단 표고	활주로 표고	활주로 표고	
	외측	150m		60m	18m	60m	60m	
퍼짐각		10%		-	-	-	10%	
폭	내측	200m		양 측면 으로 300m	120m	양 측면 으로 180m	내측	120 m
	외측	1,100 m					외측	480 m

출처: The New Surfaces–Obstacle Free Surfaces (OFS), ICAO/ACI OLS Symposium을 토대로 산출.

Table 5. OES classification

계기출발 활주로	비계기 접근활주로	비정밀접근 활주로	정밀접근 활주로
계기출발 표면	수평표면	직 진입 계기접근표면	정밀접근 표면

출처: The New Surfaces–Obstacle Evaluation Surfaces (OES), ICAO/ACI OLS Symposium, 2021.

Table 6. OES specification (RWY 15L/33R)

제한표면	접근 요소		실패접근 요소		전이 요소	
시작 지점 /기준점	활주로 시단에서 60m		활주로 시단에서 900m		착륙대의 측면	
길이 (반경)	1구역	3,000m	1구역	1,800m	25,560m	
	2구역	9,600m	2구역	10,200m		
경사도	1구역	2%	1구역	2.5%	14.3%	
	2구역	2.5%	2구역	2.5%		
높이	1구역	시단 표고	1구역	활주로 표고	내측	착륙대 표고
	2구역	60m	2구역	45m	외측	300m
	외측	300m	외측	300m		
퍼짐각	1구역	15%	1구역	17.48%	-	
	2구역	15%	2구역	25%		
폭	내측	300m	내측	300m	양 측면으로 2,098m	
	외측	4080m	외측	6,030m		

출처: The New Surfaces–Obstacle Evaluation Surfaces (OES), ICAO/ACI OLS Symposium을 토대로 산출.

Ⅲ. 연구의 설계

3.1 연구의 대상 및 조건

OLS를 대신하여 국제기준으로 OFS와 OES의 적용이 예상되는 상황에서 OFS 및 OES를 도입하기 전에 효용성과 안전성을 분석하여 도입에 필요한 제도적 조치를 확인하고 마련하는 것은 중요하고 필수적인 과정이다.

본 연구는 현행 OLS와 새로운 OFS, OES의 기준을 비교·분석하고 OFS와 OES의 효용성과 안전성을 검증하여 적용을 위한 제도적 개선방안을 제시하고자 하는 목적으로 진행되었다.

연구의 진행을 위해 공간적 범위를 인천국제공항 제2활주로(15L/33R)로 정하였으며 장애물을 제한하는 표면들의 기준을 비교하기 위해 조건을 다음과 같이 정의하였다.

첫 번째, OLS 적용기준은 ICAO 부속서와 국내 법규에 차이가 있으나 본 연구에서는 공항시설법과 같은 법 시행령 및 같은 법 시행규칙 등 하위 법규를 적용한다.

두 번째, OFS와 OES는 ICAO가 ICAO/ACI OLS Symposium(OLSS 2021)에서 국제적·공식적으로 발표한 표면과 표면에 대한 규격을 적용한다. 다만 OFS의 이륙상승표면과 OES의 계기출발표면은 적용하지 않는다.

세 번째, OFS 및 OES 범위의 설정을 위한 활주로와 착륙대 등급 및 항공기 등급은 인천국제공항에서 운항하는 항공기 전체를 수용할 수 있는 값으로 한다. 본 연구에서 활주로는 정밀접근활주로, 착륙대는 A등급 그리고 운항 항공기는 5등급으로 하여 표면의 규격을 계산하였다.

3.2 연구 방법

본 연구는 현행 OLS 기준과 비교하여 OFS와 OES의 효용성과 안전성을 확인하기 위해 두 가지 방법으로 분석을 진행하였다.

i) 효용성 분석: 장애물 제한의 범위(면적과 고도) 비교
ii) 안전성 분석: ILS 정밀계기접근절차 구역의 보호 여부 확인

구체적인 연구 방법과 목적 그리고 연구대상의 범위는 다음 표와 같다(Table 7 참조).

Table 7. Study methods summary

구분	연구 방법 1	연구 방법 2
연구 방법	OLS/OFS/OES로 설정되는 제한 고도 및 면적 비교	OLS/OFS/OES의 계기접근절차 보호여부 확인
연구 목적	효용성 측면에서 OFS 및 OES 검증	안전성 측면에서 OFS 및 OES 검증
연구 대상 표면	OLS/OFS/OES	ILS 접근 강하율 및 실패접근 상승률 OAS/OLS
		ILS 접근 강하율 및 실패접근 상승률 OAS/OFS/OES

3.2.1 효용성 분석 방법

인천국제공항 제2 활주로(15L/33R)를 대상으로 OLS와 OFS 및 OES를 적용하여 표면 설정에 따라 적용되는 면적과 고도를 비교하였으며 이를 통해 OFS와 OES의 효용성을 확인하였다.

3.2.2 안전성 분석 방법

안전성 분석은 국내 공항에서 일반적으로 사용하는 ILS 정밀계기접근절차를 대상으로 OLS와 OFS 및 OES 표면이 계기접근절차의 구역을 보호하는지를 비교·평가하였다. 평가를 위한 계산식 도출과 분석과정은 다음과 같다.

i) 계기접근절차 구역을 접근단계와 실패접근단계로 구분하여 계산식 도출
ii) 접근절차의 강하율, 실패접근 상승률 및 장애물 평가표면(obstacle assessment surface, OAS)을 기초로 계기접근절차 구역의 범위를 설정
iii) OLS, OFS 및 OES 표면의 범위를 설정
iv) 설정된 OLS, OFS 및 OES 표면이 계기접근절차의 구역을 보호하는지 확인

여기에서 OAS는 수직 정보가 제공되는 계기접근절차에서 장애물 평가를 위해 접근경로 주변에 설정되는 구역으로 장애물의 높이에 따라 착륙 최저치가 결정된다(Yang, Choi, Kim and Kim, 2022)[15].

접근단계에 대한 비교·분석을 위해 OAS W 표면은 5.24%(3°)의 강하율로 접근하는 항공기를 기준으로 보호구역의 계산식을 도출하고 OLS와 OFS는 진입표면, OES는 정밀접근표면(접근요소)의 계산식을 다음과 같이 도출하였다.

$$APP = -0.0524x \ (x \le 0) \quad (1)$$

$$OASw = -0.0358x - 7.34 \ (-4{,}395 \le x \le -205.028) \quad (2)$$

$$OLSapp = \begin{cases} -0.02x - 1.2 & (-3{,}060 \le x \le -60) \\ -0.025x - 16.5 & (-15{,}060 \le x \le -3060) \end{cases} \quad (3)$$

$$OFSapp = -0.0333x - 1.998 \ (-4{,}560 \le x \le -60) \quad (4)$$

$$OESapp = \begin{cases} -0.02x - 1.2 & (-3{,}060 \le x \le -60) \\ -0.025x - 16.5 & (-12{,}660 \le x \le -3060) \end{cases} \quad (5)$$

여기서,

APP: ILS 접근 강하율(5.24%)

OAS_w: OAS W표면 (ILS CAT-II)

OLS_{app}: OLS 진입표면

OFS_{app}: OFS 진입표면

OES_{app}: OES 정밀접근표면(접근요소)

실패접근단계의 비교·분석을 위해 OAS Z 표면은 2.5%의 상승률로 상승하는 항공기를 기준으로 보호구역을 도출하고 OLS와 OFS는 진입표면, OES는 정밀접근표면(접근요소, 실패접근요소)의 계산식을 다음과 같이 도출하였다.

$$MAPT = \begin{cases} 30.48 & (0 \le x \le 900) \\ 0.025x + 7.98 & (x \ge 900) \end{cases} \quad (6)$$

$$OASz = 0.025x - 22.5 \ (900 \le x \le 6{,}900) \quad (7)$$

$$OLSapp = \begin{cases} 0.02x - 76.2 & (3810 \le x \le 6{,}810) \\ 0.025x - 110.25 & (6810 \le x \le 18{,}810) \end{cases} \quad (8)$$

$$OFSapp = 0.0333x - 126.873 \ (-3810 \le x \le 8{,}310) \quad (9)$$

$$OESapp = \begin{cases} 0.02x - 76.2 & (3810 \le x \le 6{,}810) \\ 0.025x - 110.25 & (6810 \le x \le 16{,}410) \end{cases} \quad (10)$$

$$OESmapt = 0.025x - 22.5 \ (900 \le x \le 12{,}900) \quad (11)$$

여기서,

$MAPT$: ILS 실패접근 상승률(2.5%)

OAS_z: OAS Z표면 (ILS CAT-II)

OLS_{app}: OLS 진입표면

OFS_{app}: OFS 진입표면

OES_{app}: OES 정밀접근표면(접근요소)

OES_{mapt}: OES 정밀접근표면(실패접근요소)

Ⅳ. 연구 결과

4.1 효용성 분석

본 연구는 OFS와 OES의 효용성을 확인하기 위하여 OLS와 OFS 및 OES에 대한 표면을 설정하고 각각의 표면들이 제한하는 면적 및 고도를 비교하였다.

먼저 OLS 기준을 적용한 경우, 약 194.07km^{2}의 지역이 고도 제한의 범위에 포함된다. 진입표면에 해당하는 구역은 활주로 양방향으로 15km 범위에서 해발 6.9m에서 366.9m까지 제한을 받으며 수평표면 구역은 활주로를 중심으로 반경 4km 범위에서 해발 51.9m 이내, 원추표면 구역은 4km에서 5.1km 범위에서 해발 51.9m에서 106.9m까지 고도에 제한을 받게 된다(Fig. 1 참조).

두 번째, OFS 기준에 의해 영향을 받게 되는 범위는 약 10.59km^{2}로 확인되었다. 진입표면에 해당하는 구역에서는 활주로 양방향으로 4.5km 범위에서 해발 6.9m에서 156.9m까지 고도 제한을 받으며 전이표면의 구역은 활주로 측면방향으로 300m 범위에서 해발 6.9m에서 66.9m 이내에서 고도 제한이 이루어지게 된다(Fig. 2 참조).

세 번째, OES 기준에 의해 영향을 받게 되는 범위는 약 136.28km^{2}로 확인되었다. 접근 요소에 해당하는 구역은 접근 방향으로 12.6km, 실패접근 요소의 구역은 실패접근 방향으로 12km 그리고 전이 요소의 구역은 활주로 측면방향으로 2.098km 범위에서 해발 6.9m에서 306.9m까지 항공학적 검토의 범위에 해당한다. 해당 범위에서는 항공학적 검토를 통해 항공기 운항의 안정성과 규칙성을 저해하지 않는다고 판단되는 경우 장애물의 침투가 허용된다(Fig. 3 참조).

장애물 제한범위에 대한 OLS, OFS 및 OES의 기준을 적용한 결과, OLS는 약 194.07km^{2}의 범위에서 고

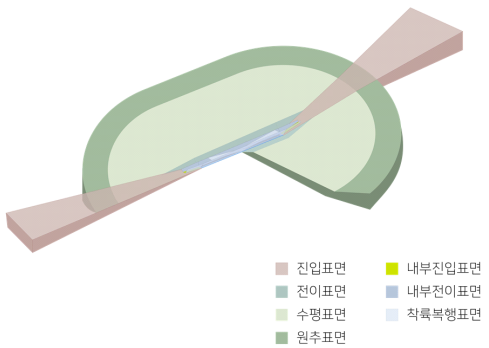

Fig. 1. Coverage of OLS criteria

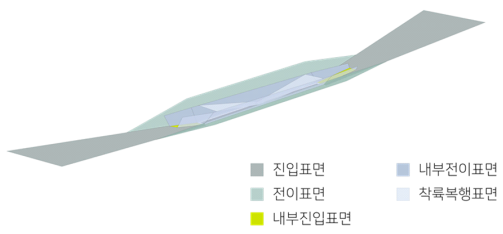

Fig. 2. Coverage of OFS criteria

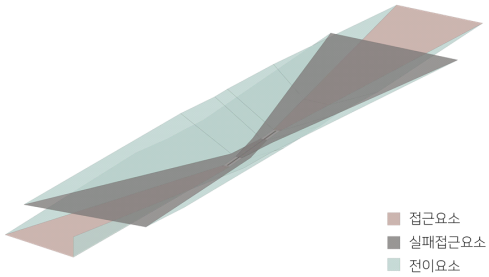

Fig. 3. Coverage of OES criteria

도 제한이 이루어지나, OFS의 경우는 약 10.59km^{2}의 범위에서 고도가 제한되며 OES를 적용하는 경우, 약 136.28km^{2}의 범위에서 항공학적 검토가 시행된다.

단순 비교를 통해 기존의 OLS에 의해 적용되는 범위와 비교하여 OFS와 OES에 의해 적용되는 범위는 훨씬 축소되는 것을 알 수 있다. 또한 OES가 적용되는 구역은 항공학적 검토를 통해 장애물 침투가 허용된다는 점에서 새로운 장애물 제한표면의 기준은 기존 OLS 대비 효용성 측면에서 이점이 있는 것을 확인하였다.

그러나 ICAO는 Annex 14(Aerodromes)에서 항공학적 검토를 정의하고 의의와 목적을 제시하고 있으나 구체적인 절차 및 방법에 관해서는 기술하고 있지 않다. 항공학적 검토를 통해 장애물의 허용 여부를 결정하는 OES의 도입을 위해서는 항공학적 검토를 위한 세부적인 적용기준과 절차의 수립이 선행되어야 한다. 미국, 영국 및 호주 등 해외 국가에서 항공학적 검토를 위한 세부 기준을 수립하여 시행하고 있다는 점에서 우리나라는 항공교통 환경의 지역적 특성을 고려하여 항공학적 검토를 위한 세부 기준과 방법을 마련해야 한다.

4.2 안전성 분석

본 연구는 OLS와 OFS 및 OES 표면에 대한 안전성을 확인하기 위해 각각의 표면이 접근 강하율, 실패접근 상승률 및 OAS을 기초로 도출된 계기접근절차를 적절하게 보호하는지를 확인하였다.

4.2.1 접근단계

4.2.1.1 OLS 안전성 검증

OLS 안전성 검증을 위한 ILS 정밀계기접근절차의 강하율, OAS W 표면 및 OLS 진입표면을 2차원 그래프로 나타내면 Fig. 4와 같다.

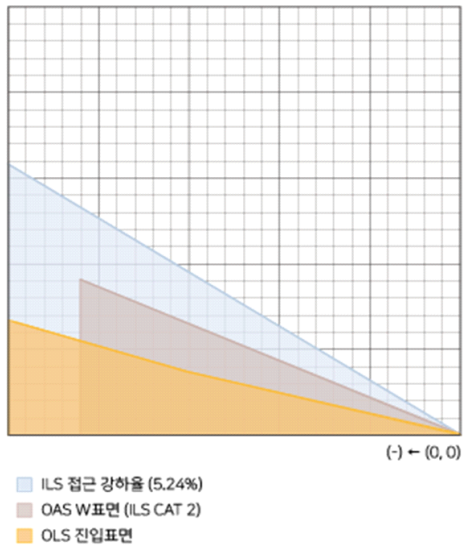

Fig. 4. OLS safety verification: Approach segment

활주로 시단(0, 0)을 기준으로 x축의 일부 구간(-388.608≤x≤-205.028)에서 OLS가 OAS를 보호하지 못하지만, OAS 표면은 장애물의 침투를 엄격하게 제한하는 표면이 아닌 장애물 평가를 통해 착륙 최저치를 결정하는 표면이며 OLS를 통해 접근하는 항공기를 보호할 수 있다는 점에서 OLS는 ILS 정밀계기접근절차의 안전성을 보장한다고 할 수 있다.

그러나 OAS W 표면의 수평적 범위가 활주로 시단에서 -4,395m까지로 설정되었으나 OLS 진입표면의 범위는 -15,060m까지 설정된다는 점에서 OLS가 과도하게 설정되었다고 볼 수 있다.

4.2.1.2 OFS와 OES 안전성 검증

안전성 검증을 위한 ILS 정밀계기접근절차의 강하율, OAS W 표면, OFS 진입표면 및 OES 정밀접근표면(접근요소)을 2차원 그래프로 나타내면 Fig. 5와 같다.

OLS과 같이 OFS와 OES 범위에서 OAS을 보호하지 못하는 일부 구간(-388.608≤x≤-205.028)이 존재한다. 그러나 OAS는 장애물을 평가하여 착륙 최저치를 결정하는 표면이며 OFS 및 OES로 구성되는 표면이 접근하는 항공기를 보호한다는 점에서 OFS 및 OES는 ILS 정밀계기접근절차의 안전성을 보장한다고 할 수 있다.

수평적 범위에서 OFS는 활주로 시단을 기준으로 -4,560m, OES는 활주로 시단에서 -12,660m까지로

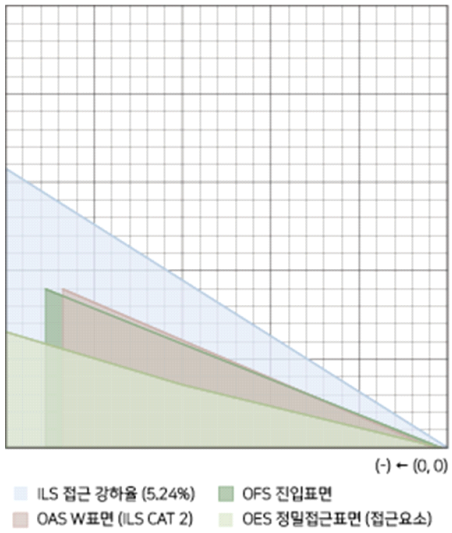

Fig. 5. OFS, OES safety verification: Approach segment

설정되어 활주로 시단에서 -15,060m까지 지정된 OLS와 비교하여 효과적임을 알 수 있다.

4.2.2 실패접근단계

4.2.2.1 OLS 안전성 검증

안전성 검증을 위한 ILS 정밀계기접근절차의 실패접근 상승률, OAS Z 표면 및 OLS 진입표면을 2차원 그래프로 나타내면 Fig. 6과 같다.

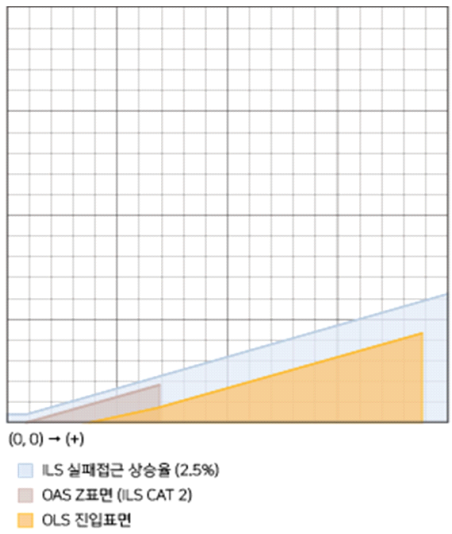

Fig. 6. OLS safety verification: Missed approach segment

ILS 정밀계기접근절차의 실패접근을 위한 상승 지점과 OAS Z 표면은 활주로 시단으로부터 +900m 지점에서 시작하나, OLS에는 실패접근을 위한 별도 표면이 없이 진입표면으로 설정된다.

현행 OLS는 실패접근절차를 적절하게 반영하지 못하고 있다는 점에서 장애물 제한표면이 기준에 대한 개선이 필요하다.

4.2.2.2 OFS와 OES 안전성 검증

안전성 검증을 위한 ILS 정밀계기접근절차의 실패접근 상승율, OAS Z 표면, OFS 진입표면 및 OES 정밀접근표면(접근요소, 실패접근요소)을 2차원 그래프로 나타내면 Fig. 7과 같다.

ILS 정밀계기접근절차의 실패접근을 위한 상승 지점과 OAS Z 표면이 활주로 시단으로부터 +900m 지점에서 시작한다는 점에서 OLS 안전성 검증과 동일하나, OLS와 달리 OES에는 실패접근단계에서 장애물 평가를 위한 정밀접근표면(실패접근요소)이 포함된다는 점에서 안전성을 보장한다고 볼 수 있다.

V. 결 론

5.1 시사점

본 연구는 1950년대부터 항공기와 공항 주변 장애물의 충돌을 방지하기 위해 설정된 OLS 기준에 대해

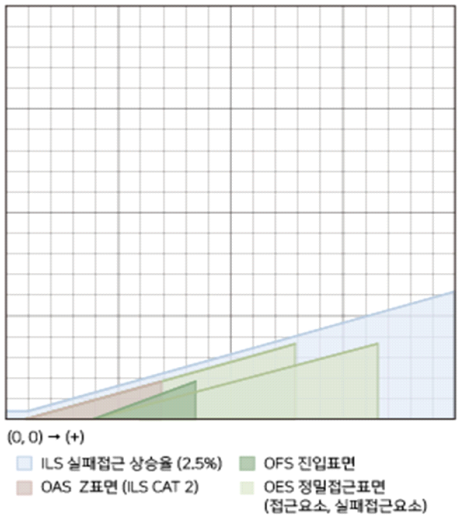

Fig. 7. OFS, OES safety verification: Missed approach segment

새로운 장애물 제한 기준으로 제시되고 있는 OFS 및 OES를 고찰하고 국내 도입을 위해 효용성과 안전성을 확인하기 위한 목적으로 진행하였다.

OLS와 OFS, OES 간 비교를 통한 실증적 연구를 위해 인천국제공항 제2 활주로(15L/33R)를 대상으로 적용되는 면적과 고도를 계산하여 효용성을 확인하고 ILS 정밀계기접근절차 구역의 보호 여부를 분석하여 안전성을 검증하였다.

비교·분석 결과, 인천국제공항 제2 활주로(15L/33R)를 주변으로 OLS를 적용하는 경우 약 194.07km^2의 범위에서 고도의 제한이 이루어지나 OFS의 경우는 약 10.59km^2가 제한범위에 해당하며 OES의 경우는 약 136.28km^2의 범위가 항공학적 검토에 해당한다는 사실을 통해 OFS와 OES 기준은 기존의 OLS에 비해 효용성이 있음을 확인하였다.

또한 OFS와 OES는 OLS가 접근절차의 실패접근구간을 적절하게 반영하지 못하는 단점을 개선할 수 있다는 사실을 통해 기존 OLS에 비해 안전성이 확보될 수 있음을 입증하였다.

본 연구의 결과를 종합하여 볼 때, ICAO가 새롭게 제시한 OFS와 OES는 기존 OLS와 비교하여 효용성과 안전성 두 가지 측면에서 긍정적인 효과를 도모할 수 있음을 알 수 있다.

그러나 항공학적 검토에 있어 우리나라는 항공학적 검토의 정의와 항목 등을 제시하고 있으나 구체적인 절차 및 방법에 관해서는 기술하고 있지 않다는 점에서 OES의 도입과 효과적인 적용을 위한 구체적인 세부 기준과 절차의 마련이 선행되어야 할 것이다.

5.2 한계점 및 향후 연구

본 연구는 OLS와 비교하여 OFS와 OES의 효용성과 안전성을 확인하기 위하여 인천국제공항 제2 활주로(15L/33R)를 대상으로 적용되는 면적과 고도를 비교하고 ILS 정밀계기접근절차 구역의 보호 여부를 검토하였다.

비교·검토 결과, OFS와 OES는 기존 OLS에 비해 효용성과 안전성 두 가지 측면에서 긍정적인 효과가 있음을 증명하였다.

그러나 본 연구의 범위 및 조건으로 인한 다음의 한계점은 향후 연구를 통해 개선될 여지가 있다. 먼저 본 연구는 인천국제공항의 제2 활주로(15L/33R)만을 대상으로 분석하였다는 점에서 실제 공항 주변의 적용 범위는 달라질 수 있으며 지방 중·소형 공항을 대상으로 추가적인 연구를 진행할 필요가 있다.

두 번째는 OFS와 OES 설정에 적용한 기준과 규격은 ICAO 회원국의 의견에 따라 일부 변경이 있을 수 있어 국제 동향에 대한 지속적인 검토와 연구가 진행되어야 한다.

마지막으로 본 연구에서 도출한 OES의 범위는 ICAO에서 제시한 기준을 적용한 것으로 회원국의 자율적인 설정에 대해서는 고려하지 않았다. 이에 대해서는 정부 차원에서의 추가적인 논의와 연구가 필요하다.

본 연구는 장애물 제한에 관한 새로운 국제기준으로서 OFS와 OES 도입을 위한 초기 연구를 진행하여 유용한 결과를 도출하였으며 공항 주변 장애물 제한에 관한 연구의 방향을 제시했다는 점에서 중요한 의의가 있다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호: RS-2022-00143625).

References

1. International Civil Aviation Organization, “Aerodrome Design and Operations”, Annex 14 (Aerodromes) Volume Ⅰ, Eighth Edition, 2018, pp.1-1 - 1-11, pp.4-1 - 4-12.
2. Kim, H. Y., Jeon, J. J., and Yoo, K. E., “A proposal on the improvement of obstacle limitation surface and aeronautical study method”, The Korean Journal of Air & Space Law and Policy, 34(1), 2019, pp.159-201.
3. Jakaria, F. M., “Embracing change – Role of the OLS task force”, ICAO/ACI OLS Symposium, 2021, p.9.
4. Ministry of Land Infrastructure and Transport, Press Release, https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156325652
5. Ministry of Land Infrastructure and Transport, Korea Transport Institute, “A Study on the Preparation of Detailed Criteria for Aeronautical Study Related to Obstacle Limitation Surface”, 2017, pp.1-510.
6. Republic of Korea, “Airport Facilities Act”,

"Enforcement Decree of Airport Facilities Act" and "Enforcement Rule of Airport Facilities Act".
7. International Civil Aviation Organization, "Control of Obstacles", Doc. 9137 (Airport Services Manual) Part 6, Second Edition, 1983, p.3.
8. Yang, H. M., "A study on the applications of shielding theory", Journal of Korean Society of Transportation, 20(5), 2002, pp.55-64.
9. Lee, K. S., "A study on the model regulation's improvement for control of aeronautical obstacles in Korea", Journal of Korean Society of Transportation, 23(3), 2005, pp.21-34.
10. Lee, D. K., Yun, S. J., Park, B. M., Kim, J. C., and Kim, J. H., "A study on improvement of aeronautical study system for potential obstacles in the vicinity of aerodromes", Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 29(4), 2021, pp.166-172.
11. Obstacle Limitation Surface Task Force, "Aerodrome Obstacle Surfaces – The New Concept", Version 1.4, 2017, pp.3-22.
12. Lopez, A., "The new surfaces – Obstacle free surfaces (OFS)", ICAO/ACI OLS Symposium, 2021, pp.1-17.
13. Karger, M., "The New Surfaces – Obstacle Evaluation Surfaces (OES)", ICAO/ACI OLS Symposium, 2021, pp.1-17.
14. Lopez, A., "The New Classification – Aeroplane Design Group (ADG)", ICAO/ACI OLS Symposium, 2021, pp.1-15.
15. Yang, Y. S., Choi, S. I., Kim, H. M., and Kim, H. Y., "An empirical study on the instrument approach procedure for satellite based augmentation system (SBAS) APV-I", Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 30(1), 2022, pp.28-37.