

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2022.30.1.028>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

위성기반보정시스템(SBAS) APV-I 계기접근절차에 관한 실증 연구

양윤성*, 최상일*, 김현미**, 김휘양**

An Empirical Study on the Instrument Approach Procedure for Satellite Based Augmentation System (SBAS) APV-I

Yoonsung Yang*, Sangil Choi*, Hyeonmi Kim**, Huiyang Kim**

ABSTRACT

Along with the remarkable advances in GNSS technology, SBAS further enhances the accuracy and integrity of GNSS location information and derives improvement in the safety and efficiency of air traffic management from reducing GNSS location errors, induced by passing through the ionosphere and atmosphere, to less than three meters. In this regard, ICAO specifies the standards of SBAS signals and recommends every party to phase in by 2025; and it is foreseeable that SBAS APV-I and CAT-I will be provided in South Korea by its undertaking the development of KASS, a Korean SBAS. The purpose of the study is to design SBAS APV-I procedure on the basis of the runway 15L of Incheon International Airport and conduct obstacle assessment according to PAN-OPS Doc. 8168, focusing on the usability and usefulness of SBAS APV-I. The results show that SBAS APV-I will provide better decision height compared to other PBN RNP approach procedures such as LNAV and Baro-VNAV at the Incheon International Airport.

Key Words : SBAS(위성기반보정시스템), KASS(한국형 SBAS), APV-I(수직유도접근절차), PAN-OPS, Obstacle Assessment(장애물 평가), OCA/H(장애물 회피고도/높이)

1. 서 론

국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO)는 항공교통의 안전과 효율을 향상하고 성장과 발전을 보장하기 위해 차세대 항공교통 시스템 구축을 위한 글로벌 항행계획(global air navigation plan, GANP)을 제시하였으며, 항공 시스템

블록 업그레이드(aviation system block upgrades, ASBU)에서 시스템 구축에 필요한 요건과 이행을 위한 가이드를 제공하였다. 항행계획은 효율성 향상을 위한 전략을 22개의 스레드(threads)로 구체화하였으며 공항 부문의 APTA¹⁾는 계기접근절차의 최적화와 탑재 장비의 성능을 기반으로 항공기의 공항 접근성 향상과 운영의 효율성 향상을 목표로 한다.

APTA 구성요소의 이행은 필수적으로 성능기반항행(performance based navigation, PBN)을 토대로

Received: 22. Nov. 2021, Revised: 17. Mar. 2022,
Accepted: 28. Mar. 2022

* 한국항공대학교 항공교통전공 학사

** 한국항공대학교 항공교통물류학부 교수(공동 교신저자)

연락처 E-mail : igreenbee@kau.ac.kr

연락처 주소 : 경기도 고양시 덕양구 항공대학로 76

1) APTA(Improve Arrival & Departure Procedure Operation)는 22개 스레드(threads) 중 수직유도정보를 포함한 접근절차 최적화를 통한 공항 접근성 향상에 관한 계획을 담고 있다.

하며 특히, 공항 운영 최저치(aerodrome operating minima) 개선을 위한 위성항법시스템(global navigation satellite system, GNSS)의 계기접근절차는 중요한 부분을 담당한다.

PBN 이행을 위한 국제적 합의는 GANP 4차 개정 판과 ASBU가 등장하기 이전인 2007년 제36차 ICAO 총회에서 결의되었으며 이에 따라 우리나라는 2009년에 이행을 위한 계획(로드맵)을 수립하였다. 우리나라 PBN 이행계획에는 GNSS 기반의 출·도착절차와 계기접근절차의 수립뿐만 아니라 글로벌 항행계획 APTA를 구성하는 요소, 즉 위성기반의 보정시스템(satellite based augmentation system, SBAS)을 이용한 계기접근절차 도입의 검토단계까지 포함하였다.

위성항법시스템의 기술적 발전을 통한 SBAS 기술은 GNSS 위치 정보의 정확성과 신뢰성(무결성)을 한층 개선하여 전리층과 대기권을 통과하는 과정에서 발생하는 GNSS 위치 정보의 오차를 3m 이내로 줄임으로써 항공교통의 안전과 효율성 향상을 목표로 하는 ICAO의 전략을 뒷받침하였으며 ICAO는 SBAS 신호를 국제표준으로 정하여 2025년까지 도입을 권고하였다(You and Sin, 2017)[1]. 이에 따라 우리나라는 2014년부터 독자적 기술을 토대로 한국형 SBAS(KASS, Korea augmentation satellite system) 개발에 착수하여 2022년부터 공개 시범서비스와 항공용 서비스의 제공을 계획하고 있다(Park, Lee, Heo and Nam, 2016)[2]. 현재 진행 중인 KASS는 일차 목표로서 수직유도정보에 의한 계기접근절차(approach procedure with vertical guidance, APV)로서 APV-I 성능을 우선 제공하고, 정밀접근절차(precision approach procedure, PA)로서 SBAS CAT-I 성능의 제공을 2차 목표로 하여 기술을 개발하고 있다(Roturrier, 2016)[3].

본 연구는 국가적 대규모 프로젝트인 한국형 SBAS, KASS의 추진과 향후의 도입 계획에 따라 SBAS를 이용한 계기접근절차의 활용성과 유용성을 확인하기 위한 목적으로 진행하였으며, 가장 우선하여 적용될 것으로 예상되는 인천국제공항을 대상으로 활주로 15L 방향에 대해 APV-I 계기접근절차를 설계하였다. 이를 통해 APV-I 계기접근절차에 대한 착륙 최저치(landing minima)를 확인하여 적용 가능성을 확인하고, 현재 운용 중인 계기접근절차와의 비교를 통해 유용성을 살펴보는 한편, 주로 SBAS의 기술적 측면에 집중된 선행 연구와 달리 SBAS의 국내 공항 적용을 위한 활용적 측면에서 기초 연구 결과를 제공하고자 한다.

II. 이론적 고찰

2.1 SBAS 기술

You and Sin(2017)은 KASS의 구성 시스템 중 KASS 신호를 생성하여 정지궤도 위성으로 송신하는 KASS 위성통신국에 대한 개념적 설계를 제시하였다[1]. 이 연구는 KASS의 지상 시스템과 정지궤도 위성을 연동하는 KASS 위성통신국을 SGS(signal generator section)와 RFS(radio frequency section)로 나누어 개념적 설계를 시행하였다. Son et al.(2017)은 EGNOS(European geostationary navigation overlay system)의 구축현황과 EGNOS에 적용된 규정을 분석하고 KASS 운영 시 적용될 비행시험 평가 항목들의 기준을 설정하였다[4]. 이 연구는 SBAS APV-I 성능을 제공하기 위하여 사전에 충분한 비행시험이 수행되어야 하지만, KASS 구축이 완료되지 않아 비행시험에 대한 구체적인 세부 평가 항목들이 제시되어 있지 않으므로 EGNOS 분석 결과를 바탕으로 KASS 운영 시 적용될 비행시험 평가 항목들에 대한 기준을 제시하였다. Cho et al.(2020)은 KASS 기준국 사이트의 구축 절차를 제시하고 이를 바탕으로 7개의 기준국 사이트를 선정하였다[5]. 이 연구는 KASS의 필수 인프라 시설인 기준국 사이트 구축을 위해 60여 개소의 인프라 시설 중 물리적인 거리를 충족하지 않는 사이트를 제외한 12개 사이트에 대한 정밀 조사를 진행하였으며 최종적으로 7개의 기준국 사이트를 정하였다.

Kim and Hong(2021)은 ICAO와 미국 연방항공청(Federal Aviation Administration, FAA) 그리고 RTCA(Radio Technical Commission for Aeronautics) 기준을 기초로 KASS의 비행검사 필수 평가 항목들과 각 항목에서 요구하는 성능 파라미터 및 최대 허용오차범위를 도출하고 비행검사를 위한 최적 장비 구성방안을 제시하였다[6]. SBAS APV-I 성능을 제공하기 전 성능 시험과 시스템 검증이 선행되어야 하지만, 비행검사 절차와 비행시험을 위한 탑재 장비 구성방안이 수립되어 있지 않아서 ICAO와 FAA 그리고 RTCA의 지침을 기준으로 KASS에 대한 비행검사 평가 항목과 구성요소를 도출하였으며 비행검사를 위한 장비 구성방안을 제시하였다.

Kim(2021)은 KASS 도입 시 고려해야 할 사항을 분석하고 KASS 도입으로 이루어질 국내 항행시스템의 발전 방향을 제시하였다[7]. 여기에서는 KASS 도입에

따라 발생할 수 있는 문제점과 이에 대한 대응 방안을 정서적 측면과 기술적 측면 그리고 비용적 측면으로 구분하여 제시하였으며, KASS 도입과 함께 새로운 항행시스템을 구축함으로써 항공교통의 경제성과 효율성을 향상할 수 있음을 시사하였다.

이처럼 일부 KASS 도입에 따른 항행시스템의 발전 방향에 관한 연구가 이루어지기도 하였으나, 한국형 SBAS에 관한 연구는 주로 차세대 항행안전시설로서 기술 개발의 측면에 집중되었으며 적용과 활용에 관한 연구는 부족하였다.

2.2 SBAS APV-I 설계기준

ICAO의 PANS-OPS(Doc. 8168, Vol. 2, 2020)는 계기비행절차 설계를 위한 국제기준으로 표준출발·도착 및 계기접근절차에 대한 기준을 제공하며 SBAS APV-I 계기접근절차에 대한 설계기준을 제시하고 있다. 여기에서는 SBAS APV-I 장애물 평가표면(obstacle assessment surface, OAS)을 설계하기 위한 구성요소와 방법뿐 아니라 장애물 평가 방법을 함께 제공하고 있다[8].

OAS는 3차원의 공간으로서 수직정보가 제공되는 다른 계기접근절차와 같이 SBAS APV-I 절차는 고유의 OAS를 가지고 있으며 OAS는 활주로와 항행안전시설의 특성, 운항하는 항공기의 범주 및 실패접근 상수들에 의해 결정된다.

ICAO에서 제공하는 'PANS-OPS 소프트웨어'는 OAS의 설계와 장애물 평가를 위한 도구로서 OAS를 구성하는 5개 표면에 대한 상수(계수)와 공간적 지점을 제공한다. 도출된 결과값은 OAS 모델링과 OAS 표면에 대한 장애물의 상대적 높이를 비교·평가하는 데 활용되고, 최종적으로 장애물 평가 결과에 따라 '장애물 회피고도/높이(OCA/H)'와 '착륙 최저치'가 결정된다.

착륙 최저치에 대한 시정(visibility)의 계산은 다른 지점을 활용해야 하는데 ICAO는 Manual of All-Weather Operations(Doc. 9365, 2017)에서 활주로에 설치된 등화의 구성과 OCA/H에 따른 고정된 결과값을 사용하도록 하였다[9].

III. 주요 연구내용

3.1 연구의 범위

현재 한국형 SBAS, KASS의 기술 개발 완료 및 서비스 도입을 앞둔 상황에서 항공교통 분야에서 KASS

의 직접적 활용 분야인 계기접근절차, 즉 APV-I 설계를 통해 KASS의 효과와 적용 가능성 확인은 필수적인 과정으로 관련 연구가 선행될 필요가 있다.

이에 본 연구는 인천국제공항을 대상으로 활주로 15L 방향에 SBAS APV-I 계기접근절차를 설계함으로써 SBAS 적용을 위한 효율성을 제시하고자 하였으며, 연구 진행을 위해 다음과 같이 연구의 범위와 조건들을 정의하였다.

첫째, 계기접근절차는 첫 접근구간, 중간접근구간, 최종접근구간 및 실패 접근구간으로 구분하여 설계되나, 본 연구는 장애물 평가에 중요하고 SBAS의 독특한 특성이 반영된 장애물 평가표면(OAS)을 중심으로 최종 접근구간에 대해서만 설계한다.

둘째, 계기접근절차의 항공기 등급은 CAT D급 항공기 수용할 수 있도록 설계한다.

셋째, SBAS APV-I의 설계는 PANS-OPS(Doc. 8168, Vol. II)를 따르고 착륙 시정은 Manual of All-Weather Operations(Doc. 9365)를 따른다.

넷째, 장애물 회피고도/높이(OCA/H) 결정을 위해 고려되는 항공기 고도계 손실(height loss)은 전파고도계(radio altimeter, RA)를 기준으로 산정한다.

3.2 SBAS APV-I 설계

본 연구는 SBAS APV-I 설계를 크게 3단계 과정으로 구분하여 제시하였다. 첫 번째 단계는 장애물, 항행안전시설과 같은 필수 장애물 자료를 수집하고, 두 번째 단계는 해당 자료를 토대로 ICAO PANS-OPS 소프트웨어와 상용 Excel 프로그램을 이용하여 OAS 구역(dimension)을 모델링하고 장애물을 평가하는 과정이며, 세 번째 단계에서는 평가 결과를 기초로 SBAS APV-I 계기접근절차의 측면도(profile view)를 제시하였다. 계기접근절차의 설계과정에 대한 세부적인 흐름도는 다음의 그림과 같다(Fig. 1 참조).

3.2.1 자료의 수집

계기접근절차의 설계를 위한 첫 번째 단계인 자료 수집은 장애물 평가와 SBAS APV-I OAS 표면의 구성에 필수적인 과정으로 자료는 활주로와 항행안전시설에 관한 기초자료 및 장애물 자료로 구분하였다(Table 1, 2 참조).

위·경도로 표시되는 활주로와 항행안전시설 자료는 장애물 평가를 위한 APV-I OAS 표면을 구성하며 위치와 높이를 포함한 장애물 자료는 평가 대상으로서

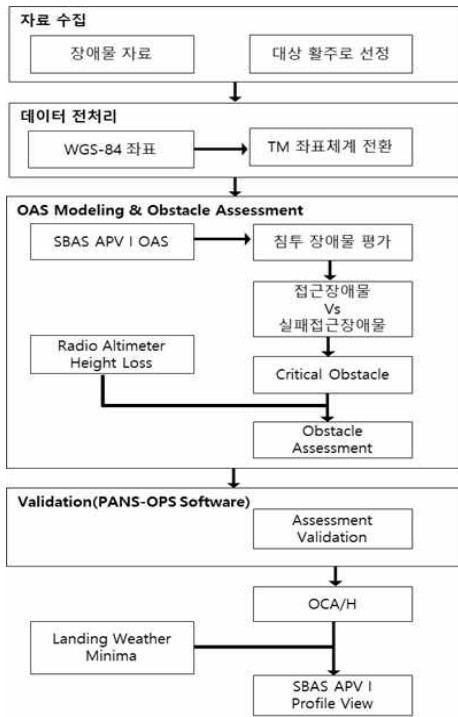


Fig. 1. SBAS APV-I 설계를 위한 흐름도

Table. 1. 기초 자료(예시)

기초자료 명칭	장애물 표고			WGS-84	
	m	feet	적용	LAT	LONG
RWY 15L	6.9	22.6	22.6	-	-
15L LLZ	8.6	28.1	28.1	-	-
15L DME	14.6	48.0	48.0	-	-
15L GP	19.4	63.6	63.6	-	-
15L IM	9.1	29.9	29.9	-	-
15L MM	8.8	28.9	28.9	-	-

출처: 국토교통부 및 인천공항공사(상세 내용은 보안으로 비공개로 처리함).

Table. 2. 장애물 자료(예시)

장애물 명칭	장애물 표고			WGS-84	
	m	feet	적용	LAT	LONG
강화도 길상산	336	1,102	1,155	-	-
강화도 마니산	472	1,549	1,602	-	-
강화도(1)	469	1,537	1,590	-	-
강화도(2)	336	1,102	1,155	-	-

출처: 국토교통부 및 인천공항공사(상세 내용은 보안으로 비공개로 처리함).

OAS 표면의 침투 여부 결정에 사용된다. SBAS APV-I OAS 구성을 위한 기초자료는 활주로 15L를 대상으로 수집하였으며 다음과 같이 정의하였다(Table 3 참조).

장애물 자료는 활주로를 구별하지 않고 공항 주변에 분포하는 1,721개의 모든 자료를 수집하였으며 이를 다시 활주로 15L의 시단을 중심으로 재구성(보정)하였다.

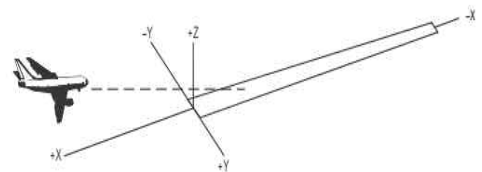
3.2.2 장애물 자료의 재구성(보정)

장애물 자료의 위치는 GRS-80 좌표체계인 위도와 경도로 표현되는데 장애물이 OAS 표면을 침투하는지를 평가하기 위해서는 먼저 장애물의 위치를 활주로 시단으로부터의 상대적 위치, 즉 2차원 좌표체계(X, Y)로 재구성하고, 여기에 높이를 추가하여 3차원 공간의 위치(X, Y, Z)를 결정함으로써 OAS 표면의 침투를 결정한다.

이에 따라 장애물 자료의 위치는 Fig. 2 형태와 같이 활주로 시단을 중심으로 항공기의 방향에 따라 X, Y값의 양수(+), 음수(-)를 적용하고 단위는 미터(m)로 환산하였다[8].

Table 3. OAS 구성을 위한 데이터 정의

구분	데이터 정의
항공기 범주	Wing span 및 GP 안테나와 wheel 간 수직거리에 따른 항공기 범주
VPA	APV 계기접근절차의 강하각
실패접근 상승각	실패접근을 위한 기본 상승률
LOC - Threshold distance	Localizer와 활주로 시단 사이의 거리
Course width THR	활주로 시단 상공에서의 코스 폭



출처: PANS-OPS(Doc. 8168, Volume II) 7th Edition (2020).

Fig. 2. 3차원 좌표체계(예시)

3.2.3 장애물 평가표면(OAS) 모델링

OAS 모델링은 활주로와 항행안전시설의 특성을 기초로 ICAO의 PANS-OPS OAS 소프트웨어와 상용 Excel 프로그램을 사용하여 진행하였다.

SBAS APV-I OAS는 W, W', X, Y, Z의 5개 표면으로 구성되는데 PANS-OPS 소프트웨어는 각 표면 형태를 결정하기 위한 상수(계수)와 공간적 지점(좌표)을 제공한다(Table 4, 5 참조). PANS-OPS OAS 소프트웨어를 통해 산출된 결과를 바탕으로 Excel 프로그램을 활용하여 1,721개의 장애물에 대해 OAS 표면 침투 여부를 판별하기 위한 모델링을 진행하였으며 그 과정은 다음과 같다.

- Step i) PANS-OPS 소프트웨어에서 OAS의 5개 표면을 형성하는 2차 함수의 상수(계수)와 지점(7개)을 산출(Table 4, 5 참조)
- Step ii) 산출된 값을 통해 OAS 표면에 대한 조건식 (1)과 표면의 범위 결정(Fig. 3 참조)
- Step iii) 장애물 평가를 위한 OAS 표면 확정

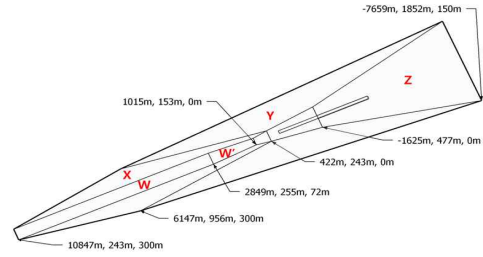


Fig. 3. SBAS APV-I OAS 표면

SBAS APV-I OAS의 3차원 표면을 형성하기 위한 계산식과 산출값은 다음과 같다[8].

$$Z_{OAS} = Ax + By + C \tag{1}$$

여기서,

Z_{OAS} : SBAS APV I OAS 표면 높이(m)

A, B, C: OAS 표면의 상수값

x: 활주로 시단 중심점부터의 종적거리(m)

y: 활주로 시단 중심점부터의 횡적거리(m)

Table 4. SBAS APV I OAS 상수(단위: m)

구분(formula)		상수(constants)		
		A	B	C
W	Ax+C	0.028500	0.000000	-9.16
W'	Ax+C	0.039290	0.000000	-39.90
X	Ax+By+C	0.028776	0.189719	-58.43
Y	Ax+By+C	0.025044	0.219675	-64.16
Z	Ax+C	-0.025000	0.000000	-40.63

출처: ICAO PANS-OPS 소프트웨어에서 산출.

Table 5. OAS 표면 구성을 위한 지점(단위: m)

Description	x	y	z
Point C'''	10,847	243	300
Point D''	6,147	956	300
Point C''	2,849	255	72
Point C	1,015	153	0
Point D	422	243	0
Point E	-1,625	477	0
Point E''	-7,659	1,852	150

출처: ICAO PANS-OPS 소프트웨어에서 산출.

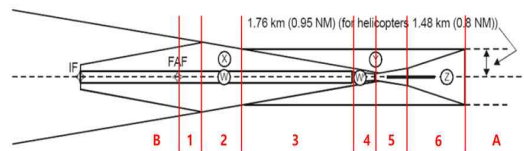
3.2.4 장애물 평가

Excel 프로그램으로 모델링한 OAS 표면에 대한 장애물 평가는 다음의 과정으로 진행하였다.

- Step i) OAS 표면(5개)을 변환이 발생하는 지점과 범위에 따라 8개 구역과 폭으로 구분(Fig. 4와 Table 6 참조)
- Step ii) 2차원 수평 범위에서 OAS 표면의 범위를 벗어난 장애물 선별
- Step iii) 계산식(식 1)에 의한 OAS 표면 높이와 장애물 높이를 비교하여 침투 장애물 선별

3.2.5 통제(Critical) 장애물 도출

통제(critical) 장애물은 OAS를 침투한 장애물 중 OCA/H를 결정하는 중요한 장애물로서 접근 구간의



출처: 국토교통부 훈령 제274호 비행절차설계요령(2019)을 재구성함.

Fig. 4. SBAS APV-I OAS 구간별 구분

Table 6. OAS 구역의 분류(단위: m)

구분	x좌표 범위	범위 설명
B(before)	x>FAF	FAF(최종접근지점) 이전
1	6,147<x≤14,374	FAF부터 지점 D"
2	2,849<x≤6,147	지점 D"부터 C"
3	1,015<x≤2,849	지점 C"부터 C
4	422<x≤1,015	지점 C부터 D
5	-1,625<x≤422	지점 D부터 E
6	-7,659≤x≤-1,625	지점 E부터 E"
A(after)	x<-7,659	지점 E" 이후

장애물과 실패접근구간의 장애물을 비교해서 가장 높은 장애물을 통제 장애물로 선별한다. 실패접근 장애물에 대해 장애물 회피를 위한 안전 높이를 과도하게 설정하는 것을 방지하기 위해 접근 구간과 대등한 장애물로 간주하여 높이를 비교한다(식 3). 장애물 비교를 통한 통제 장애물 분석과정은 다음과 같다[8].

- Step i) OAS 표면을 침투한 장애물 중 X_E (시단에 서 -1,625m)을 기준으로 접근 장애물과 실패접근 장애물로 구분(식 2)
- Step ii) 실패접근 장애물을 접근 구간과 대등한 높이로 계산(식 3)
- Step iii) 통제(critical) 장애물 도출

$$X_E = 900 + \left(\frac{38}{\tan(VPA)} \right) \quad (2)$$

여기서,

X_E : 실패접근표면 시작점

VPA : SBAS APV-I 적용 강하각

$$H_a = \frac{h_{ma} * \cot Z + (X - X_E)}{\cot Z + \cot(VPA)} \quad (3)$$

여기서,

H_a : 대등한 접근 장애물 높이

H_{ma} : 실패접근 장애물 높이

Z : 실패접근 표면의 경사각

X : 시단 기준으로 실패접근 장애물 위치(m)

3.2.6 OCA / H 산출

OCA/H는 OAS 표면을 침투하는 가장 높은 장애물에 접근 속도에 따라 구분된 항공기 등급별 고도계 손

실 높이(height loss)를 더하여 산출된다. SBAS APV-I 절차에는 무선 고도계(RA)를 적용(식 4)하였으며 이에 따른 OCA/H 계산식(식 5, 6)은 다음과 같다[8].

$$HL_{RA} = (0.177 V_{at} - 3.2) \quad (4)$$

여기서,

HL_{RA} : 무선 고도계의 높이 손실(m)

V_{at} : 항공기 접근 속도(kt)

$$OCH = \frac{OBS_{CH} + HL_{RA}}{0.3048} \quad (5)$$

$$OCA = \frac{OBS_{CH} + HL_{RA} + ELEV_{RWY}}{0.3048} \quad (6)$$

여기서,

OCH : 장애물 회피 높이(ft)

OCA : 장애물 회피 고도(ft)

OBS_{CH} : 가장 높은 장애물(m)

HL_{RA} : 무선고도계의 높이 손실(m)

$ELEV_{RWY}$: 활주로 시단 표고(m)

3.3 착륙 최저치(Landing Minima) 결정

OCA/H에 항공사 정책에 따라 추가적인 마진 (margin)이 적용되어 결심고도/높이(DA/H)가 결정되어야 하나, 우리나라는 ICAO의 기준과 달리 OCA/H를 토대로 결심고도/높이까지 제공한다[9]. 결심고도/높이와 함께 착륙 최저치를 결정하는 시정은 항공 등화의 구성에 따라 결정되고 결심고도/높이와 등화 시설의 구성에 따른 착륙 기상 최저치는 다음 Table 7과 같다[10].

Table 7. DA/H에 따른 시정 제한치

DH or MDH(ft)			Class of lighting facility			
			FALS	IALS	BALS	NALS
			RVR(metres)			
			See.6.5.2.1 for RVR<750m			
200	-	210	550	750	1,000	1,200
211	-	220	550	800	1,000	1,200
231	-	240	550	800	1,000	1,200
241	-	250	550	800	1,000	1,300
251	-	260	600	900	1,100	1,300
261	-	280	600	900	1,200	1,400

출처: ICAO Doc. 9365 4th Edition(2017).

2) 수직정보가 제공되는 계기접근절차는 최저강하고도/높이(MDA/H)를 적용하지 않는다.

IV. 연구 결과

본 연구는 한국형 SBAS의 서비스를 앞둔 상황에서 선제적으로 APV-I 계기접근절차의 설계함으로써 SBAS 적용의 효율성을 제시하고자 하였다. APV-I 절차의 설계를 위해 인천공항의 실제 자료를 수집하고 ICAO의 국제기준을 적용하였으며 최종접근단계와 OAS 표면에 대한 장애물 평가를 통해 착륙 최저치를 결정하였다. 마지막으로 현재 운용 중인 다른 계기접근절차와 비교를 통해 APV-I 절차의 적용 가능성을 확인하였다.

4.1 장애물 평가와 통제(Critical) 장애물 결정

인천국제공항 주변 장애물은 총 1,721개이며 Excel 프로그램으로 모델링한 OAS 표면의 2차원 범위(Table 6과 Fig. 4)에 포함되는 570개 장애물을 평가 대상으로 선별하였다. 선별된 장애물의 해당 위치에 대한 OAS 표면의 높이를 장애물 높이와 비교하여 OAS 허용 높이를 침투한 장애물 총 16개를 침투 장애물로 분류하였다.

이렇게 분류된 장애물에 대해 OCA/H 도출을 위한 통제 장애물을 결정하였으며 이를 위해 X_E (시단에서 -1.625m)을 기준으로 실패접근 구간에 위치한 장애물을 접근 장애물과 대응한 장애물로 간주하여 높이를 계산하였다(식 2와 3).

- i) 실패접근 장애물: X_E 이후에 위치한 장애물
- ii) 접근 장애물: X_E 이전에 위치한 장애물

Table 8은 공항 주변 장애물에 대해 통제 장애물을 결정하기 위한 평가 과정을 설명하였다.

통제 장애물 도출을 위한 장애물 간 비교 결과는 다음의 표와 같다(Table 9 참조). 여기에서 OCA/H 결정을 위한 통제 장애물은 접근 구간의 Y 표면에 위치한 'OBS 2'이며 장애물의 높이는 25.76m이나, OAS 표면을 14.42m 침투한 것으로 분석되었다.

Table 8. 장애물 평가 단계 비교

구분	1차 평가	2차 평가	3차 평가
평가 방법	2차원 범위	OAS 허용 높이	침투량 비교
대상	1,721개	570개	16개
결과	570개	16개	1개
비고			통제 장애물

Table 9. 통제(critical) 장애물 평가(단위: m)

장애물	위치		OAS 높이	장애물 구분	적용 높이	침투량
	표면	높이				
OBS 1	W'	1.919	1.35	접근	1.92	0.57
OBS 2	Y	25.76	11.34	접근	25.76	14.42
OBS 3	Y	23.01	11.69	접근	23.01	11.32
OBS 4	Y	19.33	7.13	접근	19.33	12.20
OBS 5	Y	20.8	1.34	접근	20.80	19.46
OBS 6	Y	20.05	5.91	접근	20.05	14.14
OBS 7	Z	7.23	3.72	실패	2.40	-1.32
OBS 8	Z	6.97	3.72	실패	2.22	-1.50
OBS 9	Z	25.12	11.05	실패	9.58	-1.47
OBS 10	Z	24.95	11.05	실패	9.47	-1.58
OBS 11	Z	24.81	11.08	실패	9.35	-1.73
OBS 12	Z	24.54	11.11	실패	9.15	-1.96
OBS 13	Z	17.12	15.51	실패	1.15	-14.36
OBS 14	Z	17.18	15.6	실패	1.13	-14.47
OBS 15	Z	19.91	15.7	실패	2.91	-12.79
OBS 16	Z	19.96	15.71	실패	2.94	-12.77

주: 다만, 장애물의 명칭은 보안상 생략함.

4.2 착륙최저치(Landing Minima) 산출

최종 단계로써 분석된 통제 장애물을 기준으로 OCA/H와 결심고도/높이(DA/H) 그리고 착륙 시정을 도출하였다. 먼저 OCA/H는 통제 장애물의 실제 높이에 항공기 등급별 고도손실 높이(height loss)를 더하여 계산하였다(식 4, 5 그리고 6). 여기에서 고도손실 높이(HL)는 43피트이고 피트 단위로 환산된 장애물 높이는 84.51피트로서 OCA/H를 169.82피트(D등급 항공기 기준)로 계산하였다.

두 번째로 우리나라 기준에 따라 결심고도/높이를 제공하기 위해 OCA/H를 그대로 적용하여 APV-I의 가장 낮은 고도/높이인 250피트를 결심고도/높이로 제시하였다.

마지막으로 착륙 시정은 A~D 등급에 대한 활주로 가시범위(runway visual range, RVR)로서 550미터를 도출하였다(Table 7 참조).

Table 10은 최종적으로 산출된 OCA/H와 결심고도/높이(DA/H)를 종합한 결과이다.

Table 10. OCA/H 및 DA/H 계산 결과

CAT	A	B	C	D
통제 장애물 높이(ft)	84.51	84.51	84.51	84.51
높이 손실값(ft)	43	59	72	85
OCH(ft)	127.17	143.57	156.69	169.82
최소 OCH(ft)	250	250	250	250
결심 높이(DH)(ft)	250	250	250	250
활주로 15L 표고(ft)	23	23	23	23
결심 고도(DA)(ft)	273	273	273	273

본 연구는 지금까지 SBAS APV-I 계기접근절차의 설계를 위한 OAS 모델링과 장애물 평가를 진행하였다. 연구 결과 OAS 표면을 중심으로 한 장애물의 평가를 통해 SBAS APV-I 계기접근절차의 착륙 최저치로서 결심고도/높이(DA/H)를 250피트로 계산하고, 활주로 가시범위(RVR)을 550미터로 산출하였다.

이 결과는 APV-I 계기접근절차에 대한 가장 낮은 고도/높이로서 인천국제공항 활주로 15L를 대상으로 한 SBAS 계기접근절차는 APV-I 절차의 효용성을 제시하였다고 볼 수 있다.

4.3 계기접근절차 간 비교

본 연구는 KASS의 도입·운용을 앞둔 상황에서 APV-I 절차의 설계 및 평가를 통해 적용 가능성을 확인하였다.

그러나 이에 추가하여 현재 인천국제공항에서 운용 중인 다른 계기접근절차(활주로 15L)와의 차이를 비교함으로써 유용성과 효과를 살펴보고자 하였다.

첫 번째로 PBN 계기접근절차로서 RNP 계기접근절차의 결심고도/높이(DA/H) 또는 최저강하고도/높이(MDA/H)를 비교하였다. 국내 공항은 LNAV와 APV-

Table 11. RNP APCH landing minima 비교

Category		DA/H	A	B	C	D
Lpv	Full	273 (250)	550m			
	Als Inop		1,300m			
Lnav/Vnav	Full	430 (407)	1,200m			
	Als Inop		1,900m			
Lnav	Full	450 (427)	1,300m			
	Als Inop		2,000m			

Baro(LNAV/VNAV로 표시) 절차를 운용 중이다. 인천국제공항 활주로 15L에 운용 중인 RNP 절차와 SBAS APV-I(LPV로 표시)의 비교 결과는 다음과 같다(Table 11 참조).

결과에서 보듯이 연구 결과에서 도출된 SBAS APV-I의 착륙 최저치가 다른 절차에 비해 낮아 효과가 있음을 확인할 수 있다.

두 번째는 대표적인 정밀접근절차인 ILS 절차와 비교하였다. SBAS APV-I은 정밀접근절차에 범주에 포함되지 않으며 KASS의 목표인 CAT-I 정밀접근을 위해서는 추가적 개발이 필요하다. 따라서 여기에서는 ILS와 APV-I 계기접근절차의 OAS 표면에 대한 비교 결과를 제시하였다.

ILS와 SBAS APV-I의 가장 큰 차이점은 OAS 표면의 구성과 지상표면의 형태에 있다. 서로 다른 물리적 형상은 장애물에 대한 영향과 평가 결과에 영향을 미치며 최종적으로 OCA/H와 결심고도/높이의 차이를 만들게 된다.

Table 12에서는 APV-I과 ILS CAT-I의 OAS 표면을 구성하는 상수(계수)의 차이를 비교하였으며(Fig. 5 참조) Table 13에서는 APV-I과 ILS CAT-I의

Table 12. APV-I과 ILS CAT-I OAS 비교

구분	SBAS APV-I			ILS CAT-I		
	A	B	C	A	B	C
W	0.028500	0	-9.16	0.028500	0	-9.16
W'	0.039290	0	-39.90	-	-	-
X	0.028776	0.189719	-58.43	0.028776	0.189719	-20.43
Y	0.025044	0.219675	-64.16	0.025044	0.219675	-26.16
Z	-0.025000	0	-40.63	-0.025000	0	-22.50

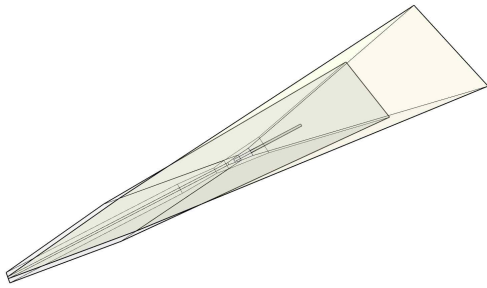


Fig. 5. OAS 비교(짙은 색: SBAS APV-I, 연한 색: ILS CAT-I)

Table. 13. APV-I과 ILS CAT-I 비교(단위: m)

구분	OAS 표면	x축 길이	y축 폭		지상평면		
			최소	최대	길이	최소 폭	최대 폭
APV-I	5	18,506	486	3,704	2,640	306	954
CAT-I	4	23,747	86	5,910	1,221	116	442

기본적인 내용을 비교하였다.

V. 결 론

5.1 시사점

본 연구는 한국형 SBAS, KASS의 추진과 시범 서비스 예정에 따라 선제적으로 SBAS를 이용한 계기접근 절차의 활용성과 유용성을 확인하기 위한 목적으로 진행하였다. 이를 위해 실증적 연구로서 인천국제공항 활주로 15L에 대한 OAS 표면을 설계하고 실제 장애물 자료를 확보하여 장애물의 영향을 분석하였으며 OCA/H와 결심고도/높이 및 착륙 시정을 포함한 착륙 최저치 (landing minima)를 산출하였다.

산출된 결과를 통해 활주로 15L에 예상되는 착륙 최저치는 결심고도/높이는 250피트이고 시정은 모든 등급에서 활주로 가시범위(RVR) 550미터를 충족하는 것으로 확인하였다.

본 연구는 APV-I 접근절차의 적용 가능성뿐 아니라 유용성과 효용성을 확인하기 위해 운용 중인 다른 RNP 접근절차인 LNAV와 APV-Baro와 비교하였다. 비교 결과, APV-I 절차는 다른 RNP 절차에 비해 낮은 착륙 최저치를 제시함으로써 적용 가능성과 함께 효용성도 높은 것으로 확인하였다. 다만, ILS 정밀접근절차와 비교해서는 효과가 낮은데 이는 계기접근절차의 범주가

서로 다르다는 점을 인정해야 한다. 그러나 국내 대부분 공항은 ILS 시설을 갖추고 이를 주요 접근절차로 운용한다는 점에서 KASS를 이용한 접근절차의 운용 방안에 대해서는 관련 이해관계자들의 추가적인 논의가 필요할 것이다.

5.2 한계점 및 향후 연구

본 연구는 APV-I 계기접근절차의 착륙 최저치를 확인하여 적용 가능성을 확인하고 현재 운용 중인 계기 접근절차와 비교를 통해 유용성을 살펴보는 한편, 지금까지 기술적 측면에 집중된 SBAS의 연구에 대해 활용적 측면에서 기초 연구를 제공하기 위한 목적으로 진행하였다.

본 연구의 범위 및 조건으로 인한 다음의 한계점은 향후 연구를 통해 개선될 여지가 있다. 먼저, 본 연구는 인천공항의 실패접근구간은 제외하고 OAS와 최종 접근단계에 대해서만 장애물 분석을 진행하였으며, 향후 장애물 분석 범위를 넓혀 OCA/H를 확인할 필요가 있다. 두 번째는 연구 대상 지역인 인천공항의 경우 장애물의 영향이 비교적 적은 실정이며, 향후 김포공항과 같이 장애물의 밀집도가 높은 공항에 대해서도 연구가 진행될 필요가 있다. 마지막으로 계기비행절차의 실제 안전성 검증을 위하여 비행검사 과정을 거칠 필요가 있다[11].

본 연구는 SBAS 연구에 대한 활용 측면에서 유용한 결과를 제시하였으며 새로운 항행시설을 사용하는 절차의 도입을 위한 연구 방법을 제시하였다는 데 중요한 의미가 있다고 할 수 있다.

References

1. You. M. H, and Sin. C. S., "Conceptual design of KASS uplink station", Journal of Satellite, Information and Communications, 12(4), 2017, pp.72-77.
2. Park. J. I, Lee. E. S, Heo. M. B, and Nam. G. W., "SBAS non-standard data transmission method for Korea augmentation satellite system applications", Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, 41(12), 2016, pp.1861-1867.
3. Roturier, B., "SBAS Worldwide implementation status" Direction Générale de l'Aviation Civile,

- 2016, p.54.
4. Son. S. J, Hong. G. Y, Hong. W. K, and Kim. K. T., "Analysis of KASS flight test requirements using the EGNOS", *Journal of Advanced Navigation Technology*, 21(6), 2017, pp.579-584.
 5. Cho. S. L, Jang. H. J, Jeong. H. H, Lee. B. S, and Nan. G. W., "The development for KASS reference station site", *Journal of Advanced Navigation Technology*, 24(4), 2020, pp.273-279.
 6. Kim. Y. B, and Hong. G. Y., "Establishment of flight inspection evaluation items and optima design of SBAS performance test measurement equipment by analyzing evaluation items and essential components of Korean SBAS", *Journal of Advanced Navigation Technology*, 25(1), 2021, pp.78-83.
 7. Kim. Y. P., "A study on the development direction of domestic navigation safety system by constructing Korean precision satellite navigation system (KASS)", Dongguk University, 2021, pp.221-230.
 8. International Civil Aviation Organization, "Construction of Visual and Instrument Flight Procedures", Doc. 8168, Volume II, Seventh Edition, 2020, p.III-3-5-1-III-3-5-20.
 9. Ministry of Landing, Infrastructure and Transport, "Aeronautical Information Publication", 2021, p.GEN 1.7-2.
 10. International Civil Aviation Organization, "Manual of All-Weather Operations", Doc. 9365, Fourth Edition, 2017, pp.6-15.
 11. Ministry of Landing, Infrastructure and Transport, "Standards for Flight Procedures", Twelfth Edition, 2020.