

비행시험용 SBAS 접근 절차 검증을 위한 요구사항 분석

Analysis of Requirements for Verification of SBAS Approach Procedure for Flight Test

홍재범¹ · 홍교영^{2*} · 강희원³ · 김군택³

¹한서대학교 항공전자공학과

²한서대학교 항공전자공학과

³한국항공우주연구원 SBAS 사업본부

Jae-Beom Hong¹ · Gyo-Young Hong^{2*} · Hee Won Kang³ · Koon-Tack Kim³

¹Department of Avionics, Hanseo University, Chungcheongnam-do 31962, Korea

²Department of Avionics, Hanseo University, Chungcheongnam-do 31962, Korea

³SBAS R&D Head Office, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 34133, Korea

[요 약]

2014년에 착수된 한국형 SBAS인 KASS 개발 사업은 2022년 APV-1급 SOL서비스를 목표로 개발이 수행 중에 있다. KASS 연구 개발에는 개발 요구조건 및 성능 요구조건을 분석하기 위해 비행시험이 이루어져야 한다. 그러나 국내에는 아직 평가항목이 제시되어 있지 않아 FAA 및 ICAO 규정서를 분석하여 KASS 개발을 위한 비행시험용 평가 항목이 구성되어야 하고, 국제적 기준에 부합하여 만들어져야 한다. 본 논문에서는 위성항행시스템을 적용한 비행시험용 SBAS 구간별 절차 검증을 분석한다.

[Abstract]

The KASS development project, a Korean SBAS launched in 2014, is under development for the APV-1 Class SOL service in 2022. Flight tests should be conducted to analyze development requirements and performance requirements for KASS R & D. However, since the evaluation items have not yet been presented in Korea, FAA and ICAO regulations should be analyzed so that evaluation items for flight testing for KASS development should be structured and comply with international standards. In this paper, we analyze the procedure verification of SBAS for flight test using satellite navigation system.

Key word : Global navigation satellite system, satellite based augmentation system, Flight test, Flight inspection, Korea augmentation satellite system.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.6.549>



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 6 December 2017; Revised 7 December 2017

Accepted (Publication) 18 December 2017 (30 December 2017)

*Corresponding Author; Gyo-young Hong

Tel: +82-41-671-6232

E-mail: kiathgy@hanseo.ac.kr

I. 서론

SBAS(satellite based augmentation system)는 정지궤도위성을 활용하여, GNSS(global navigation satellite system) 신호 보정정보를 생성, 사용자에게 정확한 위치 정보를 제공하는 시스템이다. SBAS 시스템은 그림1과 같이 광역기준국과 중앙 처리국, 위성 통신국, 통합 운영국, 정지궤도위성으로 구성된다. SBAS가 생성하는 보정 정보는 위치 오차의 보정을 위한 정보와 신뢰성과 관련있는 무결성 정보로 구성된다. 이는 다양한 사용자에게 의해 사용될 수 있고, 특히 항공 분야의 안전한 운항을 위하여 ICAO(international civil aviation organization)가 국제표준으로 정하여 GPS(global positioning system)의 위치와 무결성 및 보정 정보에 대한 기준들이 정해져있다.[1]

ICAO는 2025년부터 SBAS를 활용해, 항공기 운항을 권고하고 있고, Annex 10 6.2.5에서 각 항공당국은 공역에서 사용되는 SBAS 신호를 승인할 의무를 부여한다.[2]

이미 해외에서는 미국의 WAAS(wide area augmentation system), 유럽의 EGNOS(European geostationary navigation overlay service), 인도의 GAGAN(GPS aided GEO augmented navigation), 일본의 MSAS(MTSAT satellite augmentation system)가 SBAS 서비스를 실시하고 있는 중이다. 이에 우리나라도 2014년에 한국형 SBAS인 KASS(Korea augmentation satellite system) 사업에 착수하여 2022년 표1에 나와있는 ICAO에서 정의한 정확성 및 무결성 서비스 레벨 중 APV-1급 SOL(Safety of life) 서비스를 목표로 개발하고 있다.[1][3]

KASS 연구개발이 완료 된 후 성능 요구조건을 평가하기 위해 비행시험이 이루어져야 한다. 하지만 비행시험 또한 비행점검과 같이 국내에는 아직 평가항목이 제시되어 있지 않아 FAA(federal aviation administration) 및 ICAO 규정을 분석하여 비행시험용 평가 항목도 국제적 기준에 부합하여 만들어야 한다. 본 논문에서는 위성항행시스템을 적용한 RNAV(Area navigation)에 따른 SBAS 구간별 절차 검증을 분석할 것이다.

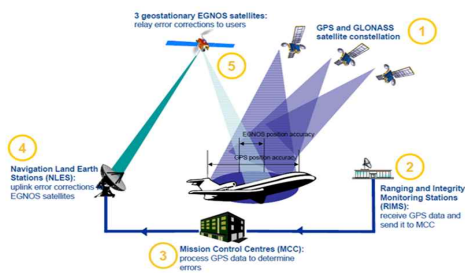


그림 1. SBAS 시스템 구성
Fig. 1. SBAS system configuration.

표 1. ICAO가 정의한 서비스 레벨별 정확성 및 무결성 요구조건
Table 1. ICAO defined service level accuracy and integrity requirements.

Service level	Accuracy		Integrity		
	Horizontal	Vertical	HAL	VAL	Risk
NPA	220m	N/A	556 m	N/A	$1 \times 10^{-7}/h$
APV- I	16m	20m	40m	50m	$1 - 2 \times 10^{-7}$ per approach
LPV200	16m	4m	40m	35m	$1 - 2 \times 10^{-7}$ per approach (any 150s)
APV-II	16m	8m	40m	20m	$1 - 2 \times 10^{-7}$ per approach
CAT- I	16m	6m to 4m	40m	15m to 10m	$1 - 2 \times 10^{-7}$ per approach

표 2. APV- I 급 성능 요구사항
Table 2. APV- I performance requirements.

Parameter	Performance Requirements
accuracy horizontal (95%)	16.0 m (52 ft)
accuracy vertical (95%)	20 m (66 ft)
integrity	$1 - 2 \times 10^{-7}/\text{approach}$
time-to-alert	10 sec
continuity	$1 - 8 \times 10^{-6}/\text{in any 15 sec}$
availability	0.99 ~ 0.99999

II. SBAS 개요

2-1 국외 SBAS 현황

1) 미국의 WAAS

WAAS는 FAA의 주관, Raytheon사가 주 개발업체로 참여하여, 1994년 북미지역에 대하여 GPS를 이용한 항공항법이 가능하도록, GPS의 SPS(standard positioning service) 성능을 보장하는 WAAS 개발에 착수하였다. 2003년 초기 운영을 실시하였고, 현재 3기의 정지궤도 위성을 사용하여, 미국 전역 뿐만 아니라 캐나다를 포함한 북미, 멕시코 전 지역까지 서비스 가용범위를 확장한 상태이다. 2013년 부터는 Full LPV-200 서비스를 제공한다.[1][4]

2) 유럽 EGNOS

미국의 GPS와 러시아의 GLONASS(global navigation satellite system) 등 위성항법시스템의 경제적, 정치적 중요성을 인정한 유럽연합(EU)은 1994년부터 위성항법시스템과 SBAS에 대한 연구를 착수하였다. 현재 3기의 정지궤도 위성을 이용해, 유럽 전역 뿐만 아니라 남아시아 및 아프리카 지역까지 가용범위가 확장 되었으며, SOL서비스가 개선된 이후, EGNOS 항공기 착륙절차를 개발 중에 있다.[1][2]

3) 일본 MSAS

일본 MSAS는 일본의 위성항법보정시스템으로 일본 교통성과 기상청이 운용 중인 다기능 운송 위성을 이용해, 일본 후쿠오카 비행정보 지역 내 항공기 운항에 요구되는 GPS 보정 정보를 제공을 위하여 1994년 개발에 착수하였다. 2007년 초기 운영을 시작, 2기의 정지궤도 위성을 사용해 동남아시아 지역을 포함한 오세아니아 지역까지 비정밀 접근 서비스 제공이 가능하다.[1][2]

4) 인도 GAGAN

2001년, 인도 우주 연구소와 인도공항공사가 인도의 SBAS인 GAGAN 시스템 개발에 동의하였고, 미국 Raytheon사와 2004년 개발 계약을 체결 및 기술 검증 시스템 개발에 착수하였다. 2007년 INMARSAT 4F1 위성 임차를 통해 GAGAN 시험 평가 모델을 구축을 완료 하였다. 2011년 GSAT-8 위성, 2012년엔 GSAT-10 위성을 각각 발사하여 시스템 구축을 완료 하였다. 첫 번째 정지 궤도 위성인 GSAT-4의 발사 실패로 시스템 구축이 지연되기도 하였으나, 2015년 11월에 세 번째 정지궤도 위성인 GSAT-15가 발사에 성공하여 현재 3기의 SBAS위성이 확보되어 있다.[1][4]

III. RNAV 기반 검증

3-1 출발 전 검사

SBAS 계기 비행 절차는 FAS (Final approach segment)로 이어지는 웨이포인트와 끝점의 연속 경로로 구성되며, 현재 항법 데이터 베이스가 아니 경우, 수동 입력이 요구된다. 레그 세그먼트의 전 과정은 비행시험 시운전을 위해 SBAS 수신기나 FMS(flight management system)에 입력되어야 하고, 차 후 비행시험에서, 위에서 입력한 FMS 데이터베이스나 SBAS 수신기 안에서 데이터를 선택하여 사용한다. 이때 FAS 데이터 블록은 반드시 2진수나 16진수로 입력이 되어야 한다. 새로운 절차는 비행 시험 전 항공전자 시스템에 설계 데이터를 입력하여 범위, 방향 및 절차 설계 정보와 수직 프로필을 비교하고 디스플레이를 통해 확인해 평가해야 한다. 차후 검사는 현재 항법 데

이터베이스 안에서 절차정보를 이용해 수행해야하며, FAS 데이터는 원래 절차 설계와 일관성이 있는지 확인 해야 한다. VN 8200.8 Appendix 12 page all-3에 따라 비행시험을 하기 전, GNSS 및 SBAS 신호가 비행 시험 동안에 경고 없이 진행이 되는지 예측 분석을 해야 한다.[5]

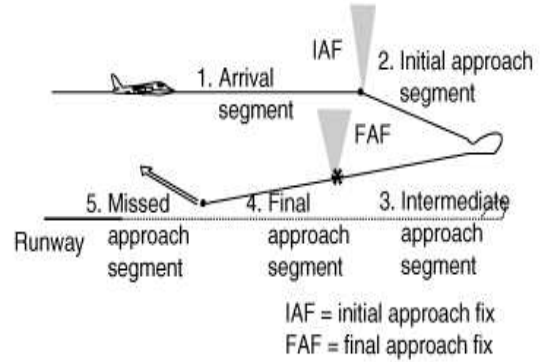


그림 2. 접근 절차
Fig. 2. arrival segment.

3-2 Maneuvering

RNAV 기반 절차는 정상적인 운영 사례에 대한 비행 검증으로 평가되어야 하며, 모든 접근 절차는 그림2와 같이 초기, 중간, 최종 및 실패 접근 구간을 포함하여 비행해야 한다. 대체 혹은 추가적인 구간은 확인된 절차를 지나는 지점에서 확인되어야 하고, 이때 절차의 각 구간에서 적어도 한번 이상 비행이 이루어져야한다. 공통구간에 대해서는 재검사가 불필요하다. 장애물 평가를 위한 Maneuvering은 방해 환경에 따라, 의도된 절차에서 벗어난 다양한 경로로 비행할 수 있어야 한다.[5][6]

3-3 RNAV에 따른 SBAS 구간별 절차검증

1) 초기 및 중간 접근 구간

초기 및 중간 접근 구간을 통해 절차 설계 및 전반적인 GNSS/SBAS 신호의 수신을 확인한다. SBAS 신호의 수신은 정지궤도 위성의 고도가 낮을 때, 항공기가 선회하거나 혹은 지형에 마스킹 되면서 수신감도가 낮아지는 경우가 생긴다. 이런 상황이 발생 되면 비행절차를 수정해야하는데, 수정을 통해서도 개선되지 않는다면 비행계기 절차로서 사용이 불가하다.[5]

2) 최종 접근 구간

최종 접근 구간에서는 항공기가 착륙할 때, 절차설계, FAS 데이터의 경로 및 GNSS 신호 수신이 항공기의 위치정보와 정

확하게 일치하는지를 확인해야한다. 수직유도 절차는 DA(decision altitude)에 의하여 평가되어야하고, 방위각 접근절차는 MAWP(missed approach waypoint)에 의하여 평가 되어야 한다.[5]

3) 실패 접근 구간

실패접근 구간은 절차설계와 GNSS/SBAS의 신호 수신을 확인해야 한다. 실패 접근 지점(MAPt : Missed approach point)은 반드시 물리적인 환경에서 확인되어야 하며, 이 검증은 전자적이거나 혹은 시각적으로 달성되어야 한다. 개시된 최소치 이하로 하강비행을 필요로 할 수 있으며, 실제 시스템은 시각적 검증은 수면 위와 같은 몇몇 임계값의 MAPt와 같이 실질적이지 않은 환경에서 사용될 수 있다. 즉, 이러한 상황과 활주로 환경에서 사용되는 항공기에 대한 다양한 고려가 이루어져야한다는 것을 뜻한다.[5][7]

3-4 간섭

SBAS 수신기는 주파수 간섭이 발생하였을 때, 잘못된 정보를 제공되지 않도록 해야 한다. 과도한 간섭은 무결성 보다 가용성과 연속성에 영향을 미친다. 간섭이 의심되는 경우, 추가적인 조사가 필요하며 이에 대한 추가 데이터를 기록해야한다. 최종 접근 구간에서의 간섭 평가는 1차 FAS 사다리꼴의 모서리에서 완전한 Fly up 표시가 제공되어야 한다. 일부 지역에는 간섭 환경에서 비행시험 전 시운행에 대한 조사가 필요하고, 간섭이 의심되는 지역은 지리적 범위에 따라 스펙트럼 분석이 필요하다. 수평 및 수직 보호레벨, DOP(dilution of precision) 신호대 잡음비 및 위성 궤도와 같은 GNSS와 SBAS 파라미터는 추가 조사를 위해 문서화가 요구되고, 간섭이 확인될 때 접근절차는 작동 상태나 대기중 시정 조치에서 해제한 뒤, 적정 운영 당국에 통보해야 한다.[5][7]

3-5 FAS 데이터 분석

각 FAS data block은 데이터를 전송하는 중 데이터가 손상되지 않는 것을 보장하는 CRC(cyclic redundancy check)규정을 가진다. CRC는 수신기에 입력되기 전 변하지 않고, 절차 설계자에 의해 변경되어야 한다. 수신기 또한 비행 시험 전 CRC를 사용함으로써 FAS data block을 검증해야하고 FAS 데이터는 원래의 절차와 비교하여 일치 하는지를 검사 해야 한다.[6][8]

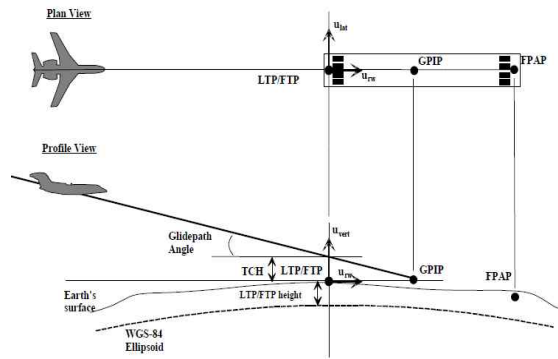


그림 3. Final approach segment 다이어그램
Fig. 3. Final approach segment diagram.

표 3. SBAS FAS 데이터 블록
Table 3. SBAS FAS data block.

Data list	Bits	Range of value
Operation Type	4	0 to 15
SBAS provider ID	4	0 to 15
Airport ID	32	-
Runway number	6	0 to 36
Runway letter	2	-
Approach performance designator	3	0 to 7
Route indicator	5	-
Reference path data selector	8	0 to 48
Reference path identifier	32	-
LTP/FTP latitude	32	$\pm 90^\circ$
LTP/FTP longitude	32	$\pm 180^\circ$
LTP/FTP height	16	-512 to 6,041.5 m
Δ FPAP latitude	24	$\pm 1.0^\circ$
Δ FPAP longitude	24	$\pm 1.0^\circ$
Approach threshold crossing height	15	0 to 1,638.35 m (0 to 3,276.7 ft)
Approach TCH units selector	1	-
Glide path angle	16	0 to 90°
Course width at threshold	8	80 to 143.75 m
Δ Length offset	8	0 to 2,032 m
Horizontal alert limit(HAL)	8	0 to 50.8 m
Vertical alert limit(VAL)	8	0 to 50.8 m
Final approach segment CRC	32	-

IV. 결 론

KASS는 2022년 APV-1급 SOL서비스로 개발될 예정이다. KASS의 연구개발이 완료되면 성능 요구조건을 평가하기 위해 비행시험을 진행되어야 하지만 아직 국내에는 비행시험에 대한 절차가 수립되어 있지 않다. 이에 본 논문에서는 국제 기준서인 FAA VN 8200.8 및 ICAO Annex 10, ICAO Doc 8071, FAA 8200.1C를 이용하여 KASS 비행시험에 요구되는 세부 절차인 비행전 검사, Maneuvering, RNAV에 따른 세부 접근 절차, 간섭, FAS 데이터를 분석하였다.

본 분석 결과는 향후 한국형 SBAS 비행점검(flight inspection)절차수립에 기여할 것으로 예상된다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부 항공안전기술개발사업의 연구비지원(17ATRP-A087571-04)에 의해 수행 되었습니다.

References

[1] J. I. Park, E. S. Lee, M. B. Heo, and G. W. Nam, "Latest technology trending for satellite based augmentation system," Aerospace Industry Trends, Vol.14, No.1, pp.191-202, 2016.

[2] Ministry of land, infrastructure and transport, "Study on strengthening international cooperation and International standardization for SBAS compatible use," Oct. 2014.

[3] M. S. Jeong and J. R. Kim, "Aviation space and ocean : accuracy analysis of SBAS sSatellite orbit and clock corrections using IGS precise ephemeris," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol.13, No.2, pp.178-186, 2009.

[4] C. S. Sin, J. H. Kim, and J. Y. Ann, "Technical development trends of satellite based augmentation system," Electronics and telecommunications trends, Vol. 29, No. 3, pp. 74-85, 2014.

[5] FAA VN 8200.8 Flight inspection program standards. 2007.

[6] FAA_8200.1C 2005

[7] ICAO Doc 8071 Vol II. 2015.

[8] ICAO Annex 10 Vol I. 2015.



홍 재 범 (Jae-Beom Hong)

2012년 3월~현재: 한서대학교 항공전자공학과
 ※관심분야 : SBAS, 비행시험, 항공기시스템



홍 교 영 (Gyo-Young Hong)

1993년 3월 ~2001년 :대한항공 항공기술연구소 선임 연구원
 2001년 9월 ~현재: 한서대학교 항공전자공학과 교수
 ※관심분야 : 비행시험, 항공통신, 항공기 시스템



강 희 원 (Hee Won Kang)

2010년 2월 : 충남대학교 전자공학과 석사
 2010년 11월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원
 ※관심분야 : GNSS, SBAS, 비행시험, 전파교란항법, 통합항법



김 군 택 (Koon-Tack Kim)

2013년 2월 : 인하대학교 지리정보공학과 석사
 2013년 1월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 사업본부
 ※관심분야 : DGPS 위치결정, 항법센서 통합측위, SBAS 인프라 설계/구축 등