

## SBAS 성능기반 항행을 위한 항공용 GNSS 기술표준 분석 연구

# Study on Technical Standard of Aviation GNSS for SBAS Performance Based Navigation

박재익<sup>1\*</sup> · 이은성<sup>1</sup> · 허문범<sup>1</sup> · 남기욱<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 위성항법·응용기술센터 위성항법팀

<sup>2</sup>한국항공우주연구원 위성항법·응용기술센터/SBAS 사업단

Jae-ik Park<sup>1\*</sup> · Eunsung Lee<sup>1</sup> · Moon-beom Heo<sup>1</sup> · Gi-wook Nam<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Satellite Navigation Team, Satellite Navigation·Application Technology R&D Center, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 34133, Korea

<sup>2</sup>SBAS Program Office/Satellite Navigation·Application Technology R&D Center, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 34133, Korea

### [요 약]

ICAO (International Civil Aviation Organization)는 GNSS (global navigation satellite system)를 이용하는 PBN (performance based navigation) 도입을 권고하였다. 우리나라도 PBN 로드맵을 수립하여 항공분야에서 GNSS를 이용할 수 있는 환경을 갖추려 시도하고 있으며, 2014년 10월 한국형 SBAS (satellite-based augmentation system) 개발을 위해 KASS (Korea augmentation satellite system) 사업을 본격적으로 착수하였다. 항공기가 GNSS를 이용하기 위해서는 수신기와 같은 항법장비를 탑재해야 한다. GNSS 항법장비는 항로, 이륙·도착, 접근 등 비행 단계에서 사용되기 때문에 장비의 규격은 다양하고 각각 별도로 그 기능과 성능을 규정하고 있다. 이 논문에서는 현재까지 제정된 항공용 GNSS 장비 표준안과 규정된 항법장비 및 인터페이스 규격에 대해 분석하여 정리하였다. KASS 개발·구축 시 비행시험 및 비행절차 개발 등 항공용 GNSS 탑재장비 등이 요구되는 곳에 활용성이 있을 것으로 기대한다.

### [Abstract]

International Civil Aviation Organization (ICAO) has recommended the adoption of performance-based navigation (PBN), which utilizes global navigation satellite system (GNSS). As a part of efforts to adopt PBN in South Korea, preparations have been made to implement GNSS. In Oct. 2014, Korea augmentation satellite system (KASS) was officially launched for development. A set of navigation devices need to be on-board for an airplane to utilize GNSS. GNSS navigation devices are used for different phases of flights through en-route, terminal, departure, approach and a wide variety of specification standards have been proposed for GNSS navigation. In this paper, we investigate the many proposed standards for GNSS navigation devices and their interfaces. This paper can be useful for designing procedures and flight test used in KASS implementation.

**Key word** : Satellite based augmentation system, Performance based navigation, Global navigation satellite system, Airborne, Technical standard.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.4.305>



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 4 August 2016; Revised 4 August 2016

Accepted (Publication) 23 August 2016 (30 August 2016)

\*Corresponding Author: Jae-ik Park

Tel: +82-42-870-3976

E-mail: jpark@kari.re.kr

## I. 서론

국제민간항공기구 (ICAO; International Civil Aviation Organization)은 항공기 교통량의 증가를 수용하고 항공 운항의 안정성과 효율성을 증가시키고자 1983년부터 FANS (future air navigation system) 특별위원회를 구성하여 1991년 10차 항행 회의(air navigation conference)에서 CNS/ATM을 미래 표준 항행 시스템으로 채택하기로 방침을 표명한 후 항법위성시스템 (GNSS; global navigation satellite system)에 관한 국제표준 및 권고사항 (SARPs; standards and recommended practices)을 발표하였다. SARPs에는 민간 항공기의 항행에 사용 가능한 GNSS 필요 성능 수준과 보정 시스템에 대한 내용이 정해져 있다. 2003년 제 11차 항행회의에서는 전 세계를 대상으로 가능한 한 조기에 APV (approach procedure with vertical guidance) 접근을 실현하는 것이 권고되어 GNSS 도입이 보다 촉진되었다. 2007년 개최된 제36차 ICAO 정기총회에서 모든 계약국에게 성능기반항행 (PBN; performance based navigation) 매뉴얼에서 제시한 새로운 PBN 개념에 맞추어 지역항법 (RNAV; area navigation) 및 필수항행성능 (RNP; required navigation performance) 도입과 2016년까지 모든 계기 활주로에 APV Baro-VNAV (barometric vertical navigation)와 APV-I 도입을 촉구하였다[1]-[3].

우리나라는 2009년 12월 PBN 로드맵을 수립하여 ICAO에 제출하였고, 2010년부터 로드맵 이행계획에 따라 진행 중에 있다. 또한 2014년 12월 효율적인 미래 글로벌 항공교통체계 구현을 통해 글로벌 항공강국 실현하고자 제2차 항공정책기본계획을 발표하였다. 지상 항행시설의 단점을 극복하기 위해 GNSS 기반의 PBN 지원을 위한 위성기반 보정항법시스템(SBAS; satellite based augmentation system) KASS (korea augmentation satellite system) 개발·구축 사업 착수 등 GNSS와 위성기반 보정시스템을 이용할 수 있는 환경을 본격적으로 갖추기 시작하였다[4],[5].

항공기가 GNSS와 같은 위성기반 항행시설을 이용하기 위해서는 항공기에 수신기 등 관련 장비를 탑재할 필요가 있다. 이러한 장비는 비행 단계별로 요구되는 규격이 다르기 때문에 규격은 다양하고 각각 별도로 그 기능과 성능을 규정하고 있다. 이렇듯 별도로 규정된 항공용 GNSS 기능과 성능에 대해 복잡하고 이해하기 어렵기 때문에 이 논문에서는 현재까지 제정된 항공용 GNSS 항법장비 표준안과 표준안에 규정되어 있는 항법장비 및 인터페이스 규격에 대해 분석하여 정리하였다. 2장에서는 우리나라의 PBN 현황을 분석하였으며, 3장에서는 항공 분야의 GNSS 항법과 항공용 GNSS 항법장비 기술표준 내용 및 GNSS 항법장비 규격 및 인터페이스에 대해 분석하여 정리하였다. 마지막으로 4장에서는 결론으로 논문을 요약하며 끝을 맺었다.

## II. 우리나라 성능기반 항행 (PBN)

지상기반의 무선허행시설을 이용하는 재래식 항법은 항공기 탑재 장비와 항행시설의 발달로 인해 RNAV로 발전하게 되었다. RNAV는 일정한 조건 하에서 기존의 항로에 얽매이지 않고 비행 경로를 설정할 수 있는 비행 방식이다. 이러한 RNAV의 개발은 한정된 공역에 비행로를 자유롭게 구성할 수 있게 함과 동시에 효율적인 공역의 사용을 가능하게 하였다. 그러나, RNAV 가능 항공기의 증가와 시스템 정확도의 향상 등 발전된 기술의 혜택을 최대한 활용하기를 원하는 사용자의 요구에 부응한 각종 기준과 기술의 개발은 지역별 또는 산업계별로 서로 일치하지 않는 기준들이 양산되게 되어 오히려 항공산업 전반에 비효율성을 초래하게 되었다. ICAO는 이러한 모순과 불일치의 문제를 해결하고 전 세계적인 통합을 이루기 위해서 RNAV에 기초한 PBN 개념을 도입하였다. PBN은 RNAV와 RNP 두 가지의 성능 요건으로 분류되고 있다. RNAV와 RNP의 가장 큰 차이점은 성능요건에 항공기 자체적인 장비의 성능 감시와 경고기능 (OPMA; on-board performance monitoring and alerting function) 을 포함할 것인지 아닌지에 대한 차이와 지상 시설을 이용할 수 있는가에 대한 차이로 구분할 수 있다[6].

### 2-1 무선허행시설

ICAO SARPs Annex 10 항공통신 (aeronautical telecommunications) Vol. I 무선허행시설 (radio navigation aids)에 정의되어 있는 PBN 항행시설은 지상기반시설인 거리측정시설 (DME; distance measurement equipment), 전방향표지시설 (VOR; very high frequency omni-directional range) 과 GNSS와 같은 우주기반시설로 구성된다. 항행시설을 이용한 횡적 항법을 위해서는 VOR/VOR, VOR/DME, DME/DME, GNSS 등이 활용될 수 있고, 수직 항법에는 Baro-VNAV, GBAS (ground based augmentation system), SBAS가 활용될 수 있으며 항공기 탑재 장비로는 INS (inertial navigation system), IRS (inertial reference system), IRU (inertial reference unit)가 활용된다[7].

우리나라의 경우 항공법 시행규칙 제 10조에 항행안전시설 시설이 규정되어 있으며, 이중 위성항법시설로서 GNSS와 SBAS, GBAS, GRAS (ground-based regional augmentation System) 등을 열거하고 있다. 이 중에서 SBAS와 GRAS는 위성항법광역보정시설로, GBAS는 위성항법지역보정시설로 규정하고 있다. 또한 항공법 시행규칙 제 225조 및 별표 39에 항행안전무선시설의 설치 및 기술기준을 정하고 있다. 즉, 우리나라 항공법은 GNSS와 이를 보완하는 보정시스템을 위성항법시설로 규정하고, 항행안전무선시설의 일종으로 보고 있다[8].

표 1. 항행시설과 항법 요건과의 관계

Table 1. Relationship between radio navigation aids and navigation specification.

Nav. Spec.	Nav. Sensor	Nav. Sensor				
		GNSS	IRU	DME/DME	DME/DME/IRU	DME/VOR
En-route	RNAV 10	○	○			
	RNAV 5	○	○	○	○	○
Terminal	RNAV 1/2	○		○	○	
En-route	RNP 4	○				
Terminal	BASIC RNP 1	○				
	RNP APCH	○				
	RNP AR APCH	○				

표 1에 앞서 언급한 무선허행시설별 지원가능한 항법 요건을 정리하여 나타내었다. RNAV 체제에서는 대양·내륙 항로에서는 RNAV 10 성능을 적용하고, 내륙의 항로에는 공역 상황에 따라 RNAV 5나 RNAV 2 성능을 적용하며, 터미널 공역에는 RNAV 1 성능을 적용한다. RNP 체제에서는 대양 항로에 RNP 4, 내륙 항로에 RNP 2, 터미널 공역에는 RNP 1, RNP APCH, RNP AR APCH 성능을 적용할 수 있다.

2-2 PBN 이행

우리나라의 경우 2001년부터 인천 및 김포공항을 포함한 서울접근권제구역에 RNAV 비행절차가 도입되어 운용되었으며, 항로에 대해서는 2005년부터 도입되기 시작하였다. 2010년 인천 및 김포공항에 RNAV 비행절차인 RNAV 1 성능의 표준계기출발(SID; standard instrument departure) 및 표준터미널도착(STAR; standard terminal arrival route), RNP 0.3 성능의 접근절차를, 항로에 대하여 RNAV 5 성능을 적용하여 시범 운용하였다. 2011년에는 서울접근권제구역 비행절차를 RNAV 1로 전면 전환하였으며, 2013년 김해, 청주, 원주, 양양, 울진공항의 도착절차와 출발절차가 RNAV 1 성능으로 전면 전환되었으며, 전체 26개 항로에서 RNAV 이용가능한 7개 항로 중 3개 항로(V547, V549, V595)가 RNAV 2 또는 RNAV 5로 전환되었다. 2014년부터 사천 및 포항공항등 터미널 도착절차와 출발절차를 RNAV 1 성능으로 전환하고 있다[9].

1) GBAS

1990년 후반부터 GBAS 시스템 개발을 위한 연구를 시작하였다. 2010년 국토교통부의 지원으로 미국 연방항공청 (FAA; Federal Aviation Administration) CAT-I (approach category) 인증을 받은 Honeywell 사의 SLS-4000 장비를 도입하여 운영 및 승인에 관한 연구를 수행하였다. 그림 1은 GBAS 아키텍처를 설명하는 그림이다. 2013년 김포국제공항에 구축되어 시험평가가 진행됐으며, 확보된 지상시스템과 시험평가 장비는 시범 운영에 활용될 예정이다[10].

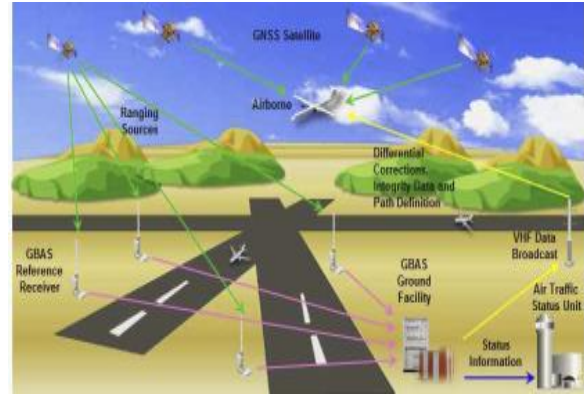


그림 1. GBAS 아키텍처  
Fig. 1. GBAS architectures.

2) SBAS

2014년 10월 국토교통부를 주관부처로 한국형 SBAS 개발·구축 사업을 착수하였다. 한국형 SBAS는 KASS라 명명되어 APV-I 수준의 SBAS 시스템 개발과 CAT-I 시험운영 기술 개발을 목표로 한다. 사업기간은 2014년부터 2022년까지 총 8년간 수행된다. APV-I급 시스템은 3단계에 걸쳐 개발·구축될 예정이다. 1단계는 시스템 설계, 2단계는 시스템 제작·통합 및 검증, 3단계는 공개서비스를 통해 시스템 인증 및 SoL 서비스 운영을 준비하는 단계를 거친다. 또한, 2020년 부터는 L1/L5 이중 주파수 기반의 CAT-I급 시험운영 기술 개발이 수행된다. KASS 개발·구축이 완료되면 비행단계 별로 요구되는 RNAV 및 RNP를 지원하게 된다. 그림 2는 KASS 아키텍처를 보여준다. KASS 아키텍처는 5기 이상의 기준국 (KRS; KASS reference station), 2기의 중앙처리국 (KPS; KASS processing station), 2기의 통합운영국 (KCS; KASS control station), 4기의 위성통신국 (KUS; KASS uplink station) 그리고 2기의 정지궤도 위성으로 구성된다. KASS 성능 요구 사항은 표 2와 같으며 ICAO SARPs 표준을 준수한다[11].

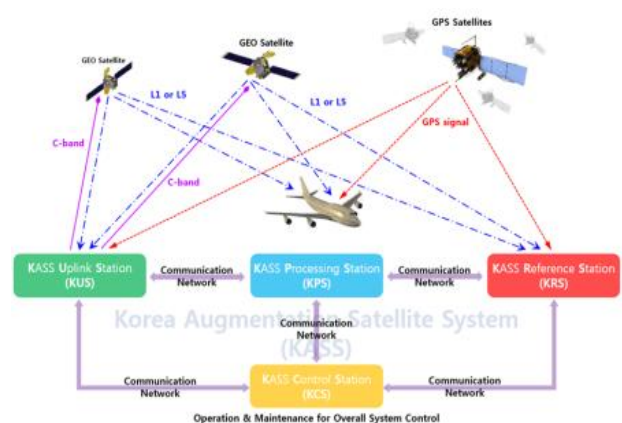


그림 2. KASS 아키텍처  
Fig. 2. KASS architecture.

**표 2. KASS 성능 요구 사항**

**Table 2. KASS performance requirements.**

Requirements		Mode	NPA	APV-I
Accuracy (95%)	Horizontal		220 m	16 m
	Vertical		-	20 m
Integrity Risk			$10^{-7}/h$	$2 \cdot 10^{-7}/appr.$
TTA (Time to Alert)			10 s	10 s
HAL (Horizontal Alert Limit)			0.3 NM	40m
VAL (Vertical Alert Limit)			-	50m
Continuity Risk			$10^{-5}/h$	$8 \cdot 10^{-6}/15 s$
Availability			99.9%	99%

**III. 항공분야에서 GNSS 항법**

ICAO는 GNSS 관한 국제 표준을 SARPs에 정리하고 있다. GNSS SARPs는 미국의 GPS (Global Positioning System)와 러시아 GLONASS (global navigation satellite system)를 핵심 시스템으로 정의하고 핵심 시스템만으로 부족한 기능 및 성능을 보정시스템으로 상쇄하여 GNSS를 구성하는 것을 골자로 하고 있다. 핵심 시스템인 GPS의 규격과 성능은 미국 국방부가 발행하는 성능기준 (performance standard)에 규정되어 있으며, 미국 정부는 이 기준을 만족하도록 GPS를 운용하고 있다. GPS 방송 신호는 IS-GPS가 발행되고, GPS 수신기는 이 규격에 따라 신호를 수신하여 처리한다. ICAO GNSS SARPs에는 ABAS (aircraft based augmentation system), GBAS, SBAS, GRAS 등 4 가지 보정 시스템을 규정하고 있다. GRAS는 SBAS와 동등한 보정 정보를 VHF 전파하여 방송하는 시스템으로 호주가 주도 하고 규격화했지만 호주는 GRAS 계획을 중단했다. 따라서 이 논문에는 언급하지 않는다.

**3-1 항공용 GNSS 항법**

GNSS를 이용한 항공기의 계기 접근 방식은 기존의 접근 방식과 비교하면 비행의 자유도가 높고, 선회 접근을 하지 않고도 어느 방향에서도 직접 활주로에 접근 할 수 있다는 특징을 가진다.

GNSS 의해 횡적 항법을 제공하는 LNAV (lateral navigation) 접근 외에도 수직 항법을 제공하는 VNAV 접근이 가능한 LNAV/VNAV 접근도 가능하다. LNAV 접근은 비정밀 접근 (NPA; non-precision approach), LNAV/VNAV 접근은 유사정밀 접근인 APV로 분류되는 계기 접근 방식이다. 현재 VNAV 접근 방식으로 기압 고도를 이용하는 Baro-VNAV가 있다. 또한 SBAS와 같은 위성기반시설이 연구개발이 이루어지면 수직 항법도 모두 GNSS 이용가능하다.

**표 3. GNSS와 비행 단계별 상관 관계**

**Table 3. Relation between GNSS and navigation mode.**

Mode	En-route	Terminal	NPA		APV		PA
			LNAV	LP	LNAV/VNAV	LPV	CAT-I
Accuracy (H/V)	741m /-	741m /-	220m /-	16m /-	220m /20m	16m /20m	16m /4~6m
Alert Limit (H/V)	3.7km /-	1.8km /-	556m /-	40m /-	556m /50m	40m /50m	40m /10~35m
Conventional	VOR /DME	○	○	○			
	ILS				○	○	○
GNSS	ABAS (RAIM)	○	○	○		○	
	GBAS		△	△	△	△	△ (VAL = 10m)
	SBAS	△	△	△	△	△	△ (VAL = 35m)

\* '○': 현재 지원 가능, '△': 개발·구축 후 지원 가능

표 3.은 비행 단계별 요구되는 항법 정확도와 경보한계, GNSS와 비행 단계별 지원 관계를 분석하여 정리하였다. GNSS 방식과 비교를 위해 기존의 항행시설 VOR/DME, ILS (instrument landing system)에 대한 내용도 표시 하였다. 우리나라의 경우 LP (localizer performance) 접근 과 LNAV 접근 또는 LNAV/VNAV 접근의 항법 정확도를 개선한 LPV (localizer performance with vertical guidance) 접근은 아직 설정 되지 않았지만, 미국의 예를 따라서 표시하였다. KASS 개발·구축이 완료 되면 APV 수준의 수직 방향의 유도 기능 제공이 가능하며, 이것이 실현되면 LNAV 및 VNAV 모두 GNSS 항법이 가능할 것이다. 미국의 WAAS (wide area augmentation system)는 LNAV/VNAV 접근 이외에 LPV 접근을 이미 사용할 수 있다. GPS LI/L5 이중 주파수를 이용하여 정밀 접근 (PA: precision approach)이 가능하도록 개발이 진행되고 있다. 완성이 되면 CAT-I급 정밀 접근이 가능하게 될 것이다.

**3-2 항공용 GNSS 항법장비 표준**

항공분야에서 시스템 및 장비에 대한 기술표준 개발은 항공용 GNSS 시스템 및 수신기 성능 표준을 개발하고 있는 ICAO를 중심으로 미국 연방항공청 FAA와 FAA를 지원하고 있는 RTCA (radio technical commission for aeronautics), ARINC (aeronautical radio incorporation) / AEEC (airline electronic engineering committee), 유럽연합 (EU; European Union)의 EUROCAE (european organisation for civil aviation equipment) 등이 대표적인 기구이다. ARINC/AEEC는 상업 및 군용 항공기에 사용되는 항공전자장비에 대한 기술적 표준을 개발하기 위해 조직된 위원회로 GNSS와 관련된 ARINC 표준을 개발하고 있다.

**표 4. 항공용 GNSS 항법장비 표준 및 관련 내용**  
**Table 4. Aviation GNSS standard and description.**

Standard	Description
DO-208	MOPS for Airborne Supplement Navigation Equipment using GPS
DO-228	MOPS for GNSS Airborne Antenna Equipment
DO-229D	MOPS for GPS/WAAS System Airborne Equipment
DO-253C	MOPS for GPS/LAAS Airborne Equipment
TSO-C129a	Airborne Supplemental Navigation Equipment using GNSS
TSO-C145d	Airborne Navigation Sensors using GPS/SBAS
TSO-C146d	Stand-Alone Airborne Navigation Equipment using GPS/SBAS
TSO-C161a	GBAS Navigation Equipment
TSO-C162a	GBAS VHF Data Broadcast Receiving Equipment
TSO-C196b	Airborne Supplemental Navigation Sensors using GPS/ABAS
ARINC 743A-5	GNSS Sensor (GNSSU)
ARINC 743B	GNSS Landing System Sensor Unit (GLSSU)
ARINC 755-4	Multi-Mode Receiver (MMR)
ARINC 756-3	GNSS Navigation and Landing Unit (GNLU)
ARINC 760-1	GNSS Navigation Unit (GNU)

항공용 탑재 장비에 대한 표준은 다양하지만 그 중 GNSS 항법장비에 대한 표준안 및 그 내용을 표 4.에 정리하였다. GNSS 관련 탑재 장비에 대한 기술표준은 FAA가 개발한 기술표준규정 (TSO; technical standard orders)을 따르기 때문에, 그 내용이 유사한 유럽항공안전기구 (EASA; European Aviation Safety Agency)의 유럽기술표준 (ETSO; European Technical Standard Orders)에 대한 내용은 따로 언급 하지 않는다.

**3-3 항공용 GNSS 항법장비 규격**

항공용 GNSS 장비는 항법 방식에 따라 기술표준 요건을 충족하는 장비를 사용해야 한다. 계기 비행 방식으로 비행하는 항공기는 기술표준을 준수하는 수신기를 사용하여 RAIM (receiver autonomous integrity monitoring) 또는 SBAS를 이용하여 비행할 수는 있지만, 모두 GNSS 이외의 항법 수단과 비교를 통해 감시를 해야 한다. 그러나 SBAS를 이용하여 RNAV/RNP 항행을 실시하는 경우에는 GNSS 이외의 다른 항법 수단을 반드시 가지지 않아도 된다. 이번 절에서는 SARPs에서 규정한 GNSS에 대한 항법장비 요건과 비행 단계별 지원가능한 장비 종류를 분석하였다.

**1) ABAS**

보정 없이 GPS를 그대로 항공기의 항법에 사용하는 것은 계기 비행에서 인정하지 않고, 어떠한 방식으로 보정하여 무결성을 확보 할 필요가 있다. 이 수단 중 SARPs에는 ABAS로 분류되는 보정 시스템이 RAIM이며, GPS 수신기 내부에서 각 GPS 위성 신호를 비교·검사하거나 비행기 안에 탑재된 다른 항법 센서와 GPS 위치 정보를 비교·검사하여 GPS 위성의 이상을 검출한다.

RAIM 수신기에 대해서는 FAA TSO-C129a가 발행되어 있으며, RTCA 최저성능기준 (MOPS; minimum operation performance standard)을 보완하는 형태로 수신기에 대한 요구 사항이 정해져 있다. TSO-C129a 표준 수신기는 GPS 신호에 대해 RAIM 기능을 통해 모니터링하고 필요한 경우에는 경보를 준다. 수직 방향의 위치 과약은 기압·고도에 따른다. 또한 TSO-C129a에서는 GPS 신호에 대해 SA (selective availability)가 있다고 가정하고 있다.

표 5.는 TSO-C129a에 정의되어 있는 비행단계 별 지원 가능한 장비 종류를 분류한 내용이다. TSO-C129a Class A형 수신기는 센서와 항법컴퓨터가 결합되어 있는 디스플레이를 갖춘 독립형이며, Class B형 수신기는 GPS 센서로, Class C형 수신기는 GPS 센서로 자동비행장비에 향상된 유도기능을 제공하는 장비이다. Class A2/B2/B4/C2형 수신기는 항로에서 터미널 공역, Class A1/B1/B3/C1형 수신기는 비정밀 접근까지의 항법에 사용 가능하다.

TSO-C129a는 2011년 10월 21일에 폐지되었다. FAA는 TSO-C129a 인증을 영구적으로 무효할 계획은 없기 때문에 제작사는 현존하는 TSO-C129a 에 따라 장비를 계속 제작 할 수 있으며 제작된 장비는 감항 인증에 따라 설치 할 수 있다. 현재 TSO-C129a를 대체할 TSO-C196AR (all revision) 가 발행되어 GBAS나 SBAS 보정 없는 GPS 항법장비 기준을 정의하고 있다. 그러나 TSO-C196 (AR)은 항공기에 탑재 운영을 위해 적절한 다른 위치추정 및 항법 시스템이 필요하다는 성능상의 제약을 갖고 있지만 GPS/SBAS MOPS에 명시된 많은 개선사항을 포함하는 GPS 센서 장비를 정의하고 있다.

**표 5. TSO-C129a - 비행 단계 별 지원 가능 장비 분류**  
**Table 5. TSO-C129a - equipment classes.**

Class	Mode	En-route	Terminal	NPA
		○	○	○
A	2	○	○	
B	1	○	○	○
B	2	○	○	
B	3	○	○	○
B	4	○	○	
C	1	○	○	○
C	2	○	○	
C	3	○	○	○
C	4	○	○	

## 2) GBAS

GBAS는 보정 정보를 VHF파를 통해 방송하는 보정 시스템으로 항공기의 정밀 접근에 이용 가능한 시스템이다. 사용자는 GBAS 신호를 수신하기 위해 VHF 수신기가 필요하다. GBAS가 방송하는 보정 정보는 무결성 정보 및 보정 정보가 포함되어 있으며, 공항의 20NM (37km) 정도 범위내의 사용자에게 GPS 신호를 보정한다. 이를 통해 GBAS는 여러 활주로에 대해 서비스 제공이 가능하다.

최종 접근 픽스 (FAF; final approach fix)부터 활주로 끝단까지의 최종 접근 경로 (FAC; final approach course)를 최종 접근 단계 (FAS; final approach segment)라고 하며, GBAS는 기본적으로 FAS 항법을 제공하기 위한 시스템이다. 따라서, GBAS의 출력은 항로편차지시기 (CDI; course deviation indicator)를 작동시키기 위한 편위 정보로 하며 이것은 ILS와 완전히 동일하다. 그러나 본질적으로 FAS 과정에서 편위 정보 밖에 모르는 ILS와 달리 GBAS는 항공기의 3 차원 위치를 얻을 수 있다. 따라서 터미널 공역에서 항법 수단으로도 사용할 수 있다.

미국은 LAAS (local area augmentation system)라는 명칭으로 GBAS 개발을 수행하였다. CAT-I LAAS의 개발 규격은 공개되어 있으며, 미국 Honeywell사에 의해 개발되었다. GBAS 지상시설에 대해 미국 RTCA 최저성능기준 (MASPS; minimum aviation system performance standard)도 정해져 있다. FAA는 미국 전역에 CAT-II/III LAAS 도입을 목표로 하고 있다.

GBAS 수신기 장비 규격은 RTCA의 LAAS MOPS를 기반으로 FAA TSO-C161a/C162a에 규정되어 발행되고 있다. LAAS 수신기는 FAS에 대한 코스 편위를 출력하는 것 외에 지상 시설이 측위 서비스를 제공하는 경우 PVT 정보도 출력한다. 독립형 장비는 존재하지 않고, 코스 편위를 CDI와 자동비행 장비에 출력하거나 PVT 정보를 비행관리시스템 (FMS; flight management system)에 출력한다. LAAS가 방송하는 VHF 신호의 형식 및 내용은 인터페이스통제문서 (ICD; interface control document)에 규정되어 있다. 보정 정보 및 무결성 정보, LAAS 시설의 위치와 측위 서비스의 유무 등의 정보 외에도 최종 접근 경로를 설명하는 FAS 정보(활주로의 위치나 방향 등)도 LAAS 방송 메시지에 포함 있다. 이와는 별도로 초기 접근에서 최종 접근에 이르는 경로를 설명하는 TAP (terminal area path) 정보도 방송하며 측위 서비스와 함께 계기 접근 방식을 구성하는 데 사용된다.

현재 FAS는 직선 접근 밖에 정의되어 있지 않다. 각국에서 개발이 진행되고 있는 GBAS는 모두 직선 접근 FAS만을 대상으로 하는 것이며, 측위 서비스를 제공하지 않는다. 또한 TAP은 LAAS ICD에 기재가 되어있을 뿐, ICAO SARPs에 의한 표준화는 이루어지고 있지 않고, LAAS MOPS에도 TAP 취급을 언급하지 않는다.

## 3) SBAS

SBAS는 정지궤도 위성에서 GPS L1 주파수 (1575.42MHz)로 방송되는 GPS 신호와 같은 변조 방식을 사용하기 때문에 기존의 안테나와 RF 회로를 변경하지 않고 GPS 수신기에서 SBAS 신호 수신 및 처리 기능을 추가 할 수 있다. SBAS가 방송하는 정보는 보정 정보 및 무결성 정보를 포함하여 사용자의 GPS 신호를 보정할 수 있다. 미국 WAAS는 설계 규격이 공개되어 있다. 설계 규격에는 시스템 전체 구성 외에 방송되는 메시지의 형식과 내용이 규정되어 있다. 또한 WAAS의 기능이나 성능에 대해서는 성능 기준이 정해져 있으며, FAA는 이 기준을 만족하는 WAAS 서비스를 제공하고 있다.

SBAS (WAAS) 수신기 장비 규격은 FAA TSO-C145(AR) GNSS 센서형 수신기와 TSO-C146(AR) 독립형 수신기로 규정되어 있다. 모두 RTCA MOPS를 기반으로 하고 있으며, SBAS 수신기가 갖추어야 할 기능 및 성능이 상세하게 정해져 있다. 표 6.에는 TSO-C145(AR), TSO-C146(AR)에 규정되어 있는 SBAS 수신기의 비행단계 별 지원 가능한 장비를 종류별로 분류하여 나타내었다. SBAS MOPS의 Beta Class 수신기는 GNSS 센서 Class, Gamma 수신기는 독립형으로 각각 TSO-C145(AR)와 TSO-C146(AR)에 대응된다. 또한 사용 가능한 항법 모드에 따른 분류도 Beta-1 및 Gamma-1 Class는 대양 항로·내륙 항로에서 LNAV 접근까지 Beta-2 및 Gamma-2 Class는 LNAV/VNAV 접근까지 Beta-3 및 Gamma-3 Class는 LP 및 LPV 접근까지의 비행 단계에 유효하다. 이들과는 별도로 LP 및 LPV 접근만 가능한 Delta-4 Class 수신기도 있는데 이는 ILS를 대체하기 위한 장비이다. LP 및 LPV 접근에 대해서는 FAS 정보는 수신기에 내장하거나 외부로부터 받고 이에 따라 코스 편위를 계산하여 출력하게 된다.

WAAS MOPS에는 WAAS 신호가 사용 가능한 경우 GPS/WAAS, 그렇지 않은 경우는 GPS/RAIM 방식으로 무결성을 확보하게 되어 있다. TSO-C129a 수신기의 RAIM 기능의 차이는 GPS 신호에 대한 최근의 성능 기준이 상정되어 있다는 점과 이상 위성이 탐지되면 가능하면 이상 위성을 제거하여 경보를 발령하지 않고 항법을 계속할 수 있는 FDE (fault detection and exclusion) 기능이 요구되고 있다는 점이다. TSO-C196(AR)에서 몇 가지 요구되는 기능이 향상되었다.

RTCA MOPS 부록A에는 WAAS 신호의 상세한 형식 및 내용이 게재되어 있으며, WAAS 수신기 개발에 필수적인 내용이다. 현재 운용되고 있는 SBAS는 ICAO가 제시하는 동일한 규격을 토대로 개발된 SBAS이기 때문에 WAAS 대응 수신기는 EGNOS (European geostationary navigation overlay service), MSAS (MTSAT satellite based augmentation system), GAGAN (GPS aided GEO augmented navigation)에서 모두 사용할 수 있다. FAA나 RTCA 규격은 WAAS를 대상으로 하고 있으므로 다른 SBAS로 대체해도 무방하다. 현재 미국에서는 WAAS를 통해 LP 접근 및 LPV 접근까지 지원되며 CAT-I 접근 (LPV-200 모드)도 일부 공항에서 설정되어 있다.

표 6. TSO-C145(AR), TSO-C146(AR) - 비행 단계 별 지원 가능 장비 분류

Table 6. TSO-C145(AR), TSO-C146(AR) - equipment classes.

Class	Mode	En-route	Terminal	Departure	NPA	LNAV/NAV	LP/LPV	ILS	Integrated	Stand-alone
Beta	1	○	○	○					○	
Beta	2	○	○	○	○	○			○	
Beta	3	○	○	○	○	○	○		○	
Gamma	1	○	○	○						○
Gamma	2	○	○	○	○	○				○
Gamma	3	○	○	○	○	○	○			○
Delta	4						○	○		

3-4 항공용 GNSS 탑재 장비 인터페이스 표준

항공기 탑재 전자장비 기능과 인터페이스에 대해서는 ARINC 기술 표준을 참조할 수 있다. 그 중 GNSS 관련 표준은 ARINC 700 시리즈를 참조할 수 있으며 여기에는 현재 생산된 항공기에 설치된 디지털 시스템 및 장비의 정의, 기능 및 인터페이스를 포함한 내용이 정의되어 있다.

1) ARINC 743A-5(GNSSU)

GNSSU (GNSS sensor unit)는 ARINC 700 시리즈에서 표준으로 사용되는 GNSS 수신기 표준이다. GPS 및 SBAS 신호와 IRS와 대기 자료 컴퓨터 (ADC; air data computer)에 센서 정보를 입력할 수 있다. 기본 동작 모드 외에, 옵션으로 SBAS 항법 모드 (WAAS MOPS 대응)이 있고, SBAS 신호를 수신할 수 있으면 자동으로 이 모드가 된다. 또한 마찬가지로 옵션으로 GBAS 항법 모드 (LAAS MOPS 대응)가 있고 VHF 수신기에서 GBAS 신호가 입력되고, 또한 GBAS가 측위 서비스를 제공하는 경우 이 모드를 지정할 수 있다. 두 경우 모두 PVT 정보 및 무결성 정보를 계산하고 이 정보를 FMS (ARINC 702A) 및 MMR (ARINC 755)에 출력할 수 있다.

2) ARINC 755 (MMR)

MMR (multi-mode receiver)는 정밀 접근용 항공 전자장비를 하나로 묶은 장비이다. ILS와 MLS(옵션), GNSS(옵션)에서 신호를 수신하여 처리하거나 GNSSU (ARINC 743A)에서 위치 정보를 얻어 FAS 과정에서의 수평·수직 편위를 출력한다. GNSS 접근은 GLS라 명명하고, GBAS GLS는 채널 20000~39999, SBAS GLS는 채널 40000~99999가 할당 된다. FAS 정보는 FMS (ARINC 702A)에서 받거나 GBAS에서 받은 것을 계산에 사용한다. MMR을 사용하는 것으로 GBAS 수신 안테나는 같은 VHF 전파를 이용하는 ILS와 공유할 수 있다.

3) ARINC 760 (GNU)·ARINC 756 (GNLU)

GNU (GNSS navigation unit)은 비행 계획에 따라 항공기를 비행시키는 장비로, FMS(ARINC 702A)와 거의 같은 기능을 가진다. 위치 정보는 내장 또는 외부 GNSSU (ARINC 743A)에서 얻는다. GNLU (GNSS navigation and landing unit)는 GNU와 MMR (ARINC 755)을 합친 장비로 간주한다.

IV. 결론

ICAO는 2020년경 대폭적인 항공 교통량 증가에 대비 기존 항법지원 시설의 수용능력 한계를 해결하기 위해 GNSS를 이용하기로 결정하고 SARPs를 개정하여 모든 계약국이 GNSS를 이용하여 PBN 이행하도록 권고하였다. 우리나라도 PBN 로드맵을 수립하여 그 계획에 따라 차세대 운용개념의 항행 절차를 도입하였고, 재래식 지상 항행시설의 단점을 극복하고 GNSS 기반 항행시설인 GBAS, SBAS 등과 같은 위성기반 보정시스템을 이용할 수 있는 환경을 갖추려고 시도하고 있다. GNSS 기반의 항행시설을 이용하기 위해서는 항공기에 수신기 등 관련 장비를 탑재할 필요가 있다. 이러한 장비는 비행 단계별로 요구되는 규격이 다르기 때문에 장비의 규격은 다양하고 각각 별도로 그 기능과 성능을 규정하고 있다.

ICAO SARPs에 정의된 GNSS 시스템인 ABAS, GBAS, SBAS에 대하여 미국 FAA에서 발행한 TSO 기술표준 규정을 분석하였다. ABAS (RAIM) 장비는 FAA 규정 TSO-C129a와 보완된 TSO-C196(AR)이 발행되어 있으며, RTCA MOPS를 보완하는 형태로 장비에 대한 요구 사항이 정해져 있다. GBAS 장비는 RTCA LAAS MOPS를 기반으로 FAA TSO-C161a/C162a가 발행되고 있다. SBAS 수신기는 TSO-C145/146(AR) 발행되어 이를 만족하는 요구 사항을 충족해야 한다. 또한, 항공용 GNSS 탑재 전자장비 인터페이스는 ARINC 700 시리즈 기술표준을 만족하도록 규정되어 있다. 분석된 규정은 KASS 개발·구축시 비행시험 및 비행절차 개발 등 항공용 GNSS 탑재장비 구축 등에 있어 활용성이 있을 것으로 기대한다. 위성기반의 항행시설 도입이 완료되면 우리나라 공역에서 유연한 항로 설정이 가능하고, APV 정밀 접근절차 등 PBN 기반의 운항이 가능하게 되어 지속적으로 증가하고 있는 항공 교통량에 대한 대처와 항공 안전성 및 이용자의 경제성 제고 등 보다 많은 혜택이 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 항공안전기술개발사업의 연구비지원 (16ATRP-A087579-03)에 의해 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Korea Advanced Institute Technology, *The Final Report of Medium and Long-term Policy Planning for the 2 ATC Implementation*, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, June. 2012.
- [2] Raza Gulam, ICAO Global Provisions and Regional Developments related to GNSS, *Joint ACAC/ICAO MID Workshop on GNSS*, Rabat, Morocco, Apr. 2016.
- [3] ICAO, *Performance-based Navigation(PBN) Manual*, International Civil Aviation Organization, Third Edition, 2008.
- [4] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, *Performance Based Navigation Implementation Plan*, Dec. 2009.
- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *The Second Aviation Policy Master Plan(2015~2019)*, Dec. 2014.
- [6] PBN Korea[Internet]. Available: <http://pbn.casa.go.kr>
- [7] ICAO, *International Standards and Recommended Practices(SARPs) Annex 10-Aeronautical Telecommunications Vol I, Radio Navigation Aids*, International Civil Aviation Organization, Sixth Edition, Jul. 2006.
- [8] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *Aviation Act Enforcement Regulations No.231*, Jun. 2016.
- [9] Moon Engineering Co., *The Final Report of the Tertiary Performance Based Navigation Transition Service*, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Dec. 2012.
- [10] Korea Aerospace University, *The Final Report of The Master Plan for the GBAS CAT-II/III Technology Development*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Feb. 2014
- [11] J.-I. Park, E.S. Lee, M.-B. Heo, and G.-W. Nam, "Latest technology trending for satellite based augmentation aystem," *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, Vol.14, No. 1, pp.191-202, Jul. 2016.
- [12] SC-159, *DO-208 with Change 1, Minimum Operational Performance Standards for Airborne Supplement Navigation Equipment Using Global Positioning System(GPS)*, RTCA Inc., Sep. 1993.
- [13] SC-159, *DO-228 Minimum Operational Performance Standards for Global Navigation Satellite System(GNSS) Airborne Antenna Equipment*, RTCA Inc., Oct. 1999.
- [14] SC-159, *DO-229D with Change 1, Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Satellite-Based Augmentation System Airborne Equipment*, RTCA Inc., Feb. 2013.
- [15] SC-159, *DO-253C Minimum Operational Performance Standards for GPS Local Area Augmentation System Airborne Equipment*, RTCA Inc., Dec. 2008.
- [16] SC-159, *DO-245A Minimum Aviation System Performance Standards for Local Area Augmentation System (LAAS)*, RTCA Inc., Sep. 2004.
- [17] FAA, Advisory Circular 20-138D: Airworthiness Approval of Positioning and Navigation Systems, Department of Transportation, Washington D.C., 2014.
- [18] FAA, TCO-C129a: Airborne Supplemental Navigation Equipment Using the Global Positioning System (GPS), Department of Transportation, Washington D.C., Feb.1996.
- [19] FAA, TCO-C196a: Airborne Supplemental Navigation Sensors for Global Positioning System Equipment Using Aircraft-Based Augmentation, Department of Transportation, Washington D.C., Feb. 2012.
- [20] FAA, TSO-C145c: Airborne Navigation Sensors Using the Global Positioning System (GPS) Augmented by the Wide Area Augmentation System (WAAS), Department of Transportation, Washington D.C., May. 2008.
- [21] FAA, TSO-C146a: Stand-Alone Airborne Navigation Equipment Using the Global Positioning System (GPS) Augmented by the Wide Area Augmentation System (WAAS), Department of Transportation, Washington D.C., Sep. 2008.
- [22] FAA, TSO-C161a: Ground Based Augmentation System Positioning and Navigation Equipment, Department of Transportation, Washington D.C., Dec. 2009.
- [23] FAA, TSO-C162a: Ground Based Augmentation System Very High Frequency Data Broadcast, Department of Transportation, Washington D.C., Dec. 2009.
- [24] FAA, Human Factors and Operations Issues in GPS and WAAS Sensors Approvals: A Review and Comparison of FAA and RTCA Documents, Department of Transportation, Washington D.C., DOT/FAA/AAR-100-97-1, Jul. 1997.
- [25] AEEC, *ARINC Characteristic 743A-5 GNSS Sensor*, ARINC Industry Activities, May. 2009.
- [26] AEEC, *ARINC Characteristic 755-4 Multi-Mode Receiver (MMR)*, ARINC Industry Activities, Jun. 2010.
- [27] AEEC, *ARINC Characteristic 756-3 GNSS Navigation and Landing Unit(GNLU)*, ARINC Industry Activities, Feb. 2004.
- [28] AEEC, *ARINC Characteristic 760-1 GNSS Navigation Unit*, ARINC Industry Activities, Mar. 2000.





**박 재 익 (Jae-ik Park)**

2004년 2월 : 연세대학교 천문우주학과 (이학석사)

2010년 2월 : 연세대학교 천문우주학과 (이학박사)

2010년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 위성항법·응용기술센터 위성항법팀 선임연구원

※ 관심분야 : 위성항법 정밀위치결정, 위성기반 보강항법시스템, 우주비행체 유도항법제어(GN&C)



**이 은 성 (Eunsung Lee)**

1998년 2월 : 건국대학교 기계공학과 (공학석사)

2005년 2월 : 건국대학교 항공우주공학과 (공학박사)

2007년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 위성항법·응용기술센터 위성항법팀 선임연구원

※ 관심분야 : 위성항법 정밀위치결정, 위성항법 고장검출, 위성기반 보강항법시스템



**허 문 범 (Moon-beom Heo)**

1997년 2월 : 미국 Illinois Institute of Technology 기계항공공학과 (공학석사)

2004년 2월 : 미국 Illinois Institute of Technology 기계항공공학과 (공학박사)

2005년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 위성항법·응용기술센터 위성항법팀 팀장 / 책임연구원

※ 관심분야 : 위성항법 정밀위치결정, 위성항법 고장검출, 위성기반 보강항법시스템



**남 기 욱 (Gi-wook Nam)**

1988년 2월 : 한국항공대학교 항공공학과 (공학석사)

1996년 2월 : 영국 Cranfield University 항공공학과 (공학박사)

1996년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 위성항법·응용기술센터 센터장 / 책임연구원

2014년 ~ 현재 : SBAS 사업단 사업단장

※ 관심분야 : 위성기반 보강항법시스템