

## 국내 PBN 이행을 위한 대안 항법 적용 방안

# Alternative Positioning, Navigation, and Timing Applicable to Domestic PBN Implementation

김무근 · 강자영\* · 장재호  
한국항공대학교 대학원 항공운항관리학과

Mu-Geun Kim · Ja-Young Kang\* · Jae-Ho Chang

Department of Aviation Management, Korea Aerospace University Graduate School, Gyeonggi-do 10540, Korea

### [요 약]

한국은 성능기반항행 (PBN; performance-based navigation)으로 전환하기 위한 단계적 PBN 이행계획을 2010년에 수립하고 로드맵에 따른 새로운 비행절차를 개발 중에 있다. PBN 비행절차에는 GNSS (global navigation satellite systems), DME (distance measuring equipment), VOR (VHF omnidirectional range), INS (inertial navigation system) 등의 항행시설 (NAVAID; navigation aid)이 활용되는 것으로 되어있다. 그 중에서 GNSS를 이용한 PBN 업무제공이 중심을 이루고 있는 실정이다. 그러나 위성항법신호의 인위적, 자연적 간섭에 의한 취약성이 발견됨에 따라 세계 각국은 다양한 대안항법(APNT; alternative positioning, navigation and timing) 기술을 연구하고 있다. 본 논문에서는 GNSS 신호가 가용하지 않을 경우 기존의 항행시스템으로 지속적인 PBN 운항이 가능한지를 분석하였으며, 결과적으로 국내 일부 공항은 접근 단계 구역에서 대안항법의 구축이 필요한 것으로 나타났다.

### [Abstract]

Republic of Korea has established its performance-based navigation (PBN) implementation plan in 2010 for ensuring a smooth transition to PBN operations and relevant new flight procedures are being developed in accordance with the roadmap. Various Navigation aids (NAVAIDs) like global navigation satellite systems (GNSS), distance measuring equipment (DME), VHF omnidirectional range (VOR), inertial navigation system (INS) are used to support PBN procedures. Among them, GNSS would play a central role in PBN implementation. However, vulnerability of satellite navigation signals to artificial and natural interferences has been discovered and various alternative positioning, navigation and timing (APNT) technologies are under development in many countries. In this paper, we study whether continuous PBN operations can be achievable without GNSS signals. As a result, it shows that some of the domestic airports require the construction of APNT in the approach area.

**Key word** : Aeronautical information publication, Alternative positioning, Navigation and timing, Global navigation satellite systems, Navigation aid, Performance-based navigation.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.1.37>



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** 31 January 2016; **Revised** 5 February 2016  
**Accepted (Publication)** 19 February 2016 (28 February 2016)

\*Corresponding Author; Ja-Young Kang

**Tel:** +82-2-300-0081

**E-mail:** jaykang@kau.ac.kr

## I. 서론

사회, 경제적 발전 및 지구촌 글로벌화에 따라 항공수요가 지속적으로 늘어나고 있고, 연료절약, 배출가스 및 소음 저감 등 환경적 문제가 이슈화됨에 따라 한정된 공역을 효율적으로 이용하고 경제적이고 친환경적인 항공기의 운항이 요구되고 있다. 위에서 언급한 요구사항을 충족할 수 있도록 여러 유형의 항행 방식들이 개발되었다. 초기에 이러한 항행 방식들의 정의가 혼선을 주었기 때문에 국제민간항공기구 (ICAO; International Civil Aviation Organization)는 항행방식의 국제적 통일과 조화를 이루기 위해 PBN 개념을 도입하게 되었다. PBN 개념은 항행시스템 기반시설, 항법규격, 항법 어플리케이션 등으로 구성된다.

PBN을 지원하기 위해 지상기반 항법시스템, 위성기반 항법시스템, 온-보드 독립 항법시스템을 이용하고 있다. 그 중에서도 위성기반 항법시스템인 GNSS에 대한 의존도가 점차 증가되고 있는 현실이다. 하지만 GNSS의 많은 장점에도 불구하고 전파교란 및 위장신호 등의 인위적인 간섭과 전리층 교란과 같은 자연적 간섭에 취약할 수밖에 없다. 국내에서는 2011년 3월, 2012년 4월 28일~5월 13일 등 북한의 GNSS 교란전파 발사로 다수의 항공기가 영향을 받아 GNSS 사용이 제한되기도 하였고, 미국 뉴저지주 뉴어크 공항 인근 고속도로에서 트럭 운전사의 위성 항법 장치 (GPS; global positioning system) 교란 장치로 인해 GPS 항공기 착륙 유도가 불가능한 경우가 발생하였다[1]. 또한, GNSS에 대한 의존도가 점차 커지면서 과잉 의존으로 인한 기술 종속 및 서비스 비용 상승 시에 대한 대책 수립이 요구되고 있다. 앞선 연구에서는 대안항법의 필요성이 연구되고 대안항법 기술 분석 및 시스템별 특성이 소개되었다[2],[3].

본 논문에서는 한국 PBN 구축 계획을 조사하여 GNSS 이용이 불가능한 경우에도 무중단 PBN 서비스가 가능한지 알아보고, 단계별 성능요구사항 및 항행시스템 분석을 통해 GNSS 의존성을 탈피하고 PBN을 계속 지원할 수 있도록 한국 실정에 맞는 APNT 적용 방안을 살펴보고자 한다.

## II. 국내 PBN 비행절차 분석

### 2-1 비행단계별 PBN 규격

ICAO PBN 매뉴얼에는 4개의 RNAV (area navigation) 규격과 7개의 RNP (required navigation performance) 규격을 포함하여 총 11개의 PBN 규격을 담고 있다. 비행단계는 그림 1과 같이 구분할 수 있으며, PBN 규격으로 분류하면 표 1과 같이 대양 및 원격 항로 단계에는 Advanced RNP(A-RNP)<sup>1)</sup> 등 4개의 항법

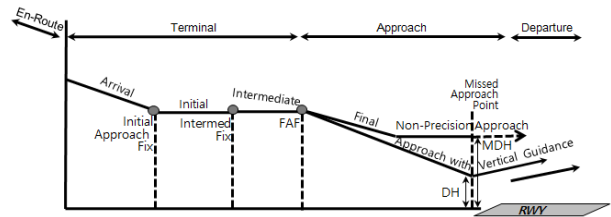


그림 1. 비행단계 구성 [5]  
Fig. 1. Phases of flight [5].

표 1. 비행단계별 PBN 규격 [4]  
Table 1. PBN specification per flight phase [4].

PBN specification	Flight phase (NM)							
	En route oceanic remote	En route continental	ARR	Approach				DEP
				Initial	Inter-med	Final	Missed	
RNP 10	10							
RNAV 5		5	5					
RNAV 2		2	2					2
RNAV 1		1	1	1	1		1	1
RNP 4	4							
RNP 2	2	2						
RNP 1			1	1	1		1	1
A-RNP	2	2 or 1	1	1	1	0.3	1	1
RNP APCH				1	1	0.3	1	
RNP AR APCH				1-0.1	1-0.1	0.3-0.1	1-0.1	
RNP 0.3		0.3	0.3	0.3	0.3		0.3	0.3

표 2. PBN 규격에 따른 NAVAID [4]  
Table 2. NAVAID infrastructures for PBN specification [4].

Specification	NAVAID infrastructure
RNP 10	GNSS, INS or IRU, LRNS <sup>1)</sup>
RNAV 5	VOR/DME, DME/DME, INS or IRS, GNSS
RNAV 1/2	GNSS, DME/DME, DME/DME/IRU, DME/VOR
RNP 4	GNSS, LRNS
RNP 2	GNSS*
RNP 1	GNSS*, DME/DME
A-RNP	GNSS (Multi-DME**)
RNP APCH	GNSS(LNAV or LNAV/VNAV <sup>2)</sup> GNSS(LP/LPV <sup>3)</sup> Conventional NAVAID for missed approach
RNP AR APCH	GNSS*(primary), DME/DME(alternative means)
RNP 0.3	GNSS*

1) Long-Range Navigation Systems

2) Lateral Navigation/Vertical Navigation

3) Localizer Performance/Localizer Performance with Vertical Guidance)

\* It shall not be used in areas of known GNSS signal interference.

\*\* Multi-DME is not required but may be provided based upon the State requirements, operational requirements and available services.

1) 전체 비행단계를 지원하기 위한 항법규격으로 ICAO의 ASBU (aviation system block upgrade) 및 Global Air Navigation Plan에 따라 시행될 것임[4].

규격, 대륙 항로 단계에는 RNP 0.3 등 6개 항법 규격, 도착단계에는 RNP 0.3 등 6개 항법 규격, 접근단계에서는 RNP ARAPCH 등 9개 항법 규격, 출발단계에서는 RNP 0.3 등 5개의 항법 규격으로 분리되어 있다[4].

비행단계별 PBN 항법 규격을 지원하기 위한 NAVAID로는 지상기반의 VOR/DME, DME/DME, 위성기반의 GNSS 그리고 항공기에 탑재된 INS 또는 IRU (internal reference unit)와 같은 자립 항법을 이용하고 있다.

항공기 탑재 장비 요구사항을 표 2와 같이 항법 규격에 따라 분류하고 있다. 특히, 비행 RNP 2, 1, 0.3 및 RNP AR APCH의 GNSS 이용은 신호간섭 지역에서 사용하지 못하는 것으로 명시되었다는 점이다.

**2-2 PBN 비행절차 분석**

한국은 2010년 PBN 이행계획 로드맵에 따라 PBN 기법을 적용한 비행절차로 전환(2010~현재)을 추진하고 있다[6].

**표 3. 국내 비행 절차별 PBN 규격 적용 [7]**

**Table 3. PBN specifications applicable to domestic flight procedure [7].**

Flight procedure	Specification	Airport
En Route	RNAV 5, RNAV 2	-
SID	RNAV 1	Incheon, Gimpo, Jeju, Cheongju, Yangyang, Ulsan, Seoul, Jeongseok, Muan
STAR	RNAV 1	
IAP	RNAV 1, RNP 0.3	

**표 4. 국내 RNAV 항로 일부 현황 [7]**

**Table 4. Examples of domestic RNAV en route [7].**

En route	Specification	NAVAID	Service area	
			BITUX	BASEM
Z53	RNAV2	DME/DME, DME/DME/IRU, GNSS	BITUX	BASEM
Z63	RNAV5	VOR/DME, DME/DME, INS or IRS, GNSS	PILIT	NOMEX
Y655	RNAV5	INS or IRS, GNSS	GONAV	TOLIS
Y711	RNAV2	DME/DME, DME/DME/IRU, GNSS	MONSI	PANSI
Y711	RNAV5	INS or IRS, GNSS	PANSI	ATOTI
Y722	RNAV5	INS or IRS, GNSS	SOSDO	ATOTI
Z81	RNAV2	DME/DME, DME/DME/IRU, GNSS	SAMIS	JEJU
Z55	RNAV5	GNSS INS or IRS	AGAVO	NONOS
Y782	RNAV2	DME/DME, DME/DME/IRU, GNSS	ANYANG	APELA

대한민국 비행정보간행물을 조사한 결과, PBN 적용은 표 3과 같이 항로에서는 RNAV 5, RNAV 2 규격을 적용하고, 공항 구역의 표준계기출발절차 (SID; standard instrument departure) 과 표준도착절차 (STAR; standard terminal arrival)에서는 RNAV 1을 이용하고, 계기접근절차 (IAP; instrument approach procedure)에서는 RNAV 1과 RNP 0.3을 적용하고 있다. 표 4에서와 같이 RNAV 항로의 필요 장비/시설로는 대부분 DME/DME, VOR/DME, INS 또는 IRU, GNSS이지만, Y711의 PANSI-ATOTI, Y722의 SOSDO-ATOTI 등의 일부 구간은 위성기반 항행 및 INS 또는 IRU와 같은 항공기 자립항법을 통해서만 PBN을 적용할 수 있다. 이러한 PBN 항로는 전체 RNAV 항로 28개 중 4개 항로에 해당된다. 또한 10개 공항에서 PBN 기법을 적용하여 SID, STAR, IAP가 수립되어있다[7].

RNP 0.3, A-RNP의 도입과 관련하여서는 한국 PBN 이행계획에는 없지만 실제 인천, 김포, 제주 및 청주 공항 등의 IAP에서는 RNP 0.3을 요구하는 RNAV(GNSS) 비행절차가 수립되어 있다. 표 5는 한국 공항별 PBN과 관련한 비행절차 명칭, 규격 및 요구 사항을 일부 정리한 것이다.

**표 5. 국내 주요공항의 PBN 비행절차 [7]**

**Table 5. PBN flight procedures at Major domestic airports [7].**

Airport	Flight procedure	Runway	Procedure name	Notes
Incheon	SID	15L/R	RNAV BINIL 1K RNAV BOPTA 1K	RNAV 1 Operation GNSS OR DMEDME/IRU required ATS Surveillance required
	STAR	15L/R	RNAV SEL 2E	RNAV 1 Operation GNSS OR DMEDME/IRU required ATS Surveillance required
	IAP	15L	ILS or LOC CAT II & III	RNAV 1 Operation GNSS OR DMEDME/IRU required ATS Surveillance required DME requirement on an ILS/LOC App'
			RNAV(GNSS)	RNP 0.3 required Baro-VNAV NA below-20°C
Jeju	SID	07	RNAV KAMIT 1E, RNAV MAKET 1E, RNAV TAMNA 1E	RNAV1 Operation GNSS required ATS Surveillance required
	STAR	07	RNAV DOTOL 1P, RNAV MAKET 1P, RNAV TAMNA 1P, RNAV TOSAN 1P	RNAV1 Operation GNSS required ATS Surveillance required
	IAP	07	ILSZ or LOCZ CAT II	RNAV1 Operation GNSS required ATS Surveillance required DME requirement on an ILS/LOC App'
			RNAV(GNSS)	RNP 0.3 required Baro-VNAV NA below-20°C
Cheongju	SID	06L	RNAV(GNSS)- BUKIL 1	GNSS REQUIRED
	IAP	06L	RNAV(GNSS)	GNSS REQUIRED DME/DME RNP-0.3 NA

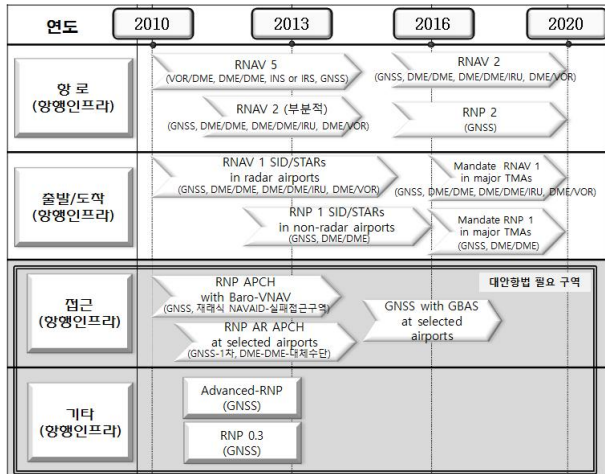


그림 2. PBN 이행 계획 및 대안항법 필요 구역  
Fig. 2. PBN implementation plan and APNT-required area.

2-3 PBN 절차의 GNSS 의존성

항로 및 인천공항, 김포공항 PBN 비행절차는 지상기반, 위성기반 항행시설을 이용한 서비스가 가능하나 그 밖에 공항은 전적으로 GNSS에 의존한 PBN 비행절차가 수립되어 있다.

위에서도 언급한 바와 같이 GNSS 신호의 취약성이 상존하고 있어 이를 보완하고자 운항 중 일부 요소의 비의도적인 고장 또는 GNSS의 기능상실에 대비한 RAIM (receiver autonomous integrity monitoring) 기능을 부여하고 조종사 지식 및 훈련에 RNAV/RNP 고장에 따른 비상절차를 수행하거나 운항 중에 대체 항행으로 수정할 수 있는 능력을 요구하고 있으며[8], GNSS가 중단되어도 지속적 운항이 가능하도록 재래식 비행절차를 유지하고 있다.

그러나 GNSS 중단에 따른 PBN 비행절차 수행이 불가능하게 되면 공역의 효율적, 경제적 운영에 차질이 예상되며, 특히 그림 2와 같이 정밀한 항행이 요구되는 접근단계와 A-RNP, RNP 0.3에서는 현재 GNSS가 유일한 항법 수단인 것으로 파악되었다. 향후 PBN 비행절차를 지원하기 위해 GBAS, SBAS를 이용한 GNSS 활용은 점차적으로 확대될 것이 예상되나 위성 항법 신호의 인위적, 자연적 취약성을 해결하지 못하는 이상 대안항법 시스템이 필요하다.

III. PBN 비행절차의 대안항법 적용 방안

3-1 대안항법 시스템의 성능 요구사항

성능 요구사항은 특정 공역개념에서 제시된 운영을 위해 필요한 정확도, 무결성, 연속성 및 기능성에 대하여 항법규격으로 표현된다. 표 6은 SIS (signal-in-space) 성능 요구사항을 나타낸 것이다[9].

NAVAID로 사용하기 위해서는 항법시스템 성능 파라미터

표 6. SIS 성능 요구사항 [9]  
Table 6. SIS performance requirements [9].

Typical operation	Accuracy horizontal 95%	Accuracy vertical 95%	Integrity (Time-to-alert)	Availability
En route	3.7 km (2.0 NM)	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$ (5 min)	0.99 ~ 0.99999
En route, Terminal	0.74 km (0.4 NM)	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$ (15 s)	0.99 ~ 0.99999
Initial approach, Intermediate approach Non-precision approach(NPA) Departure	220 m (720 ft)	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$ (10 s)	0.99 ~ 0.99999
Approach operations with vertical guidance (APV-I)	16.0 m (52 ft)	20 m (66 ft)	$1-2 \times 10^{-7}$ in any approach (10 s)	0.99 ~ 0.99999
Approach operations with vertical guidance (APV-II)	16.0 m (52 ft)	8.0 m (26 ft)	$1-2 \times 10^{-7}$ in any approach (6 s)	0.99 ~ 0.99999
Category I precision approach	16.0 m (52 ft)	6.0 m ~ 4.0 m (20 ft ~ 13 ft)	$1-2 \times 10^{-7}$ in any approach (6 s)	0.99 ~ 0.99999

Typical operation	Continuity	Horizontal alert limit	Vertical alert limit
En route (oceanic/continental low density)	$1-1 \times 10^{-4}/h$ ~ $1-1 \times 10^{-8}/h$	7.4 km (4 NM)	N/A
En route (continental)	$1-1 \times 10^{-4}/h$ ~ $1-1 \times 10^{-8}/h$	3.7 km (2 NM)	N/A
En route, Terminal	$1-1 \times 10^{-4}/h$ ~ $1-1 \times 10^{-8}/h$	1.85 km (1 NM)	N/A
NPA	$1-1 \times 10^{-4}/h$ ~ $1-1 \times 10^{-8}/h$	556 m (0.3 NM)	N/A
APV-I	$1-8 \times 10^{-6}$ per 15 s	40 m (130 ft)	50 m (164 ft)
APV-II	$1-8 \times 10^{-6}$ per 15 s	40 m (130 ft)	20.0 m (66 ft)
Category I precision approach	$1-8 \times 10^{-6}$ per 15 s	40 m (130 ft)	35.0 m ~ 10.0 m (115 ft ~ 33 ft)

표 7. RNP 운영 의사위성 정확도 요구사항(95%) [10]  
Table 7. Pseudolite accuracy requirements (95%) in RNP operations [10].

Operation	Position accuracy required <sup>1)</sup>	Range accuracy required <sup>2)</sup> (HDOP 2.8)	Time accuracy (estimated)	Derived signal accuracy required <sup>3)</sup>
RNP 0.3*	307.2 m	108.6 m	50 ns (15 m)	107.5 m
RNP 1*	1793 m	634.0 m	50 ns (15 m)	633.8 m

Note  
 1) Position accuracy required = NSE (navigation system error) = (TSE (total system error)<sup>2</sup> - FTE (flight technical error)<sup>2</sup>)<sup>1/2</sup>  
 2) Range accuracy required = NSE / HDOP  
 3) Derived signal accuracy required = (Range accuracy required<sup>2</sup> - Time accuracy<sup>2</sup>)<sup>1/2</sup>  
 \* For FTE of 0.25 nm in RNP operations

(정확도, 무결성, 가용성, 연속성)의 평가와 더불어 용량과 통달 범위의 성능 요구사항에 대한 평가가 이루어져야 한다. 따라서 PBN의 무중단 운영을 위해서는 대안항법 시스템에 대한 성능 요구사항 역시 기존의 항법규격을 그대로 적용하고 추가로 용량 및 통달범위에 대한 검토가 필요할 것이다.

표 7은 RNP 0.3, RNP 1 수준의 항법을 지원하기 위한 APNT 성능 목표로부터 항법시스템의 정확도 요구사항을 유도한 것으로 거리 정확도 요구사항 및 시간 동기 정확도를 각각 수평정밀도 저하 (HDOP; horizontal dilution of precision) 2.8과 50 ns 로 가정하여 신호 정확도 요구사항을 산출한 것이다[10].

### 3-2 대안항법 시스템별 특징 분석

#### 1) eLORAN (enhanced long range navigation)

eLORAN은 장거리무선항법체계의 일종인 LORAN-C를 개량한 것으로서 데이터 채널을 추가하여 보정정보, 주의정보, 무결성 신호정보를 제공한다. 각 송신국에서 발사된 전파의 도달 시간차를 계산하여 위치정보를 얻는 GNSS와 원리가 비슷하나 eLORAN은 90-110 kHz 주파수의 고풍력 송신기를 사용하고, 저주파신호를 사용함으로써, 전파 교란과 위장신호에 강하고 기존에 사용하던 장비를 개량하여 사용할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 하지만 항공용 GNSS 항법 성능보다 정확도가 떨어지기 때문에 주로 해상용 GNSS의 대체 수단으로 연구되고 있으며, 항공용으로는 비정밀접근용, 항로용으로 사용이 가능하다고 보고 있다[11],[12].

#### 2) DME-DME

거리산출 방식은 항공기에 탑재된 질문기가 2개의 펄스로 구성되는 질문펄스를 발사한다. 지상의 응답기는 이러한 펄스를 수신한 후 50 $\mu$ sec의 지연시간이 경과된 후 수신 주파수와 63 MHz 차이가 있는 주파수로 응답한다. 탑재된 질문기는 펄스의 왕복에 필요한 시간을 구하여 50 $\mu$ sec의 지연시간을 빼고 지상국으로부터의 거리를 표시한다. 따라서 지상국들로부터 획득한 거리 정보를 이용하여 항공기의 기하학적인 위치를 산출한다. 장점으로는 기존 기술을 적용하여 현재의 NAVAID 인프라를 그대로 사용할 수 있다.

연구결과에 따르면, DME가 규격보다 우수한 성능을 보이고 있고, 응답지연 정확도 향상을 위해 송신기를 수정한다면 RNAV 0.3까지도 달성 가능할 것으로 예측하고 있다[13]. 그러나 통신 분야에서 L밴드 주파수에 대한 수요가 점점 늘어나는 추세이므로 중장기적인 관점에서 보았을 때 DME 주파수를 충분히 확보하는 것이 어려울 수도 있다.

#### 3) 다변측정 감시시스템 (MLAT; multi-lateration)

MLAT는 다수의 지상국이 항공기에서 송신된 신호를 받아서 항공기 위치를 결정하고 이것을 다시 항공기에 전송하여 항법용으로 사용하게 하는 방법이다. 항공기에서 전송된 신호가 각 지상국 수신기에 전송되고 각 지상국간 도달시간차 (TDOA;

time difference of arrival)를 계산 후, 쌍곡선 항법 원리를 이용하여 항공기의 위치를 산정하게 된다. 이와 같이 식별된 항공기 정보를 항공 감시용 위치정보로 활용하고 이를 교통정보업무-방송 (TIS-B; traffic information service-broadcast)으로 송출하여 항공기가 항행을 할 수 있도록 지원하는 방식이다.

TIS-B는 1090ES (1090 MHz extended squitter) 또는 UAT (universal access transceiver) 데이터 링크를 활용하며, MLAT 아키텍처는 자동종속감시-방송 (ADS-B; automatic dependent surveillance-broadcasting) 인프라 및 DME 시설에 의존한다. MLAT 기반 APNT는 항공기 항공전자 장비 장착에 최소한의 변경만이 필요하고 완성도가 높은 기술을 사용한다는 장점이 있다. 하지만, 무결성 감시 및 경보 시간 요구사항 등을 충족시켜야 하는 과제가 따른다[14]. 현재 MLAT는 감시분야에서 이차감시레이더에 비하여 성능 및 가격 경쟁력이 우수하고 GNSS 신호가 가용하지 않을 경우 ADS-B를 보완할 수 있는 감시수단으로 인정되어 많은 나라에서 채용하고 있다. 한국은 제주접근관제 레이더 장에서 비상용 항행감시시스템으로 MLAT를 활용하는 방안이 고려되었다[15].

#### 4) 의사위성 (Pseudolite)

의사위성방식은 지상에 설치한 다수의 송신장치로부터 항공기가 직접 신호를 수신하여 자신의 위치를 계산하는 방식으로 위성항법과 동일한 개념이다. APNT에서 의사위성으로 DME 또는 지상 송출국 (GBT; ground based transceiver)신호에 항법 메시지와 알람 정보 등을 포함하여 고유한 코드를 삽입하여 이용하는 것이 대표적인 예이다. 미연방항공청은 GNSS의 대안으로 검토되고 있는 DME, UAT, 트랜스폰더/Mode S/1090ES 신호, L대역 디지털 항공통신시스템 (LDACS; l-band digital aeronautical communication system) 등에 대한 장단점을 비교하였다[10].

의사위성을 사용하면 위성항법과 동일한 방식의 무결성 알고리즘을 적용할 수 있고, 항공기와 NAVAID간 질문과 응답을 보내는 방식이 아니라 일정한 간격으로 정보신호를 송출하는 방식을 적용하기 때문에 항공기 대수에 상관없이 이용할 수 있으며, 정확한 항행업무가 가능하다.

X, Y, Z의 위치, 동기화된 지상국과 항공기간 시간 차이 (time offset)를 위해 적어도 4개의 지상국이 요구되며, 새로운 항공기 탑재 장비를 필요로 한다.

#### 5) LDACS

의사위성 방안의 하나로 LDACS을 이용한 방안이 연구되고 있으며, 그 중 LDACS1은 직교주파수분할다중화 (OFDM; orthogonal frequency division multiplexing) 변조방식에 기초한 광대역 통신시스템으로 3G 및 4G 무선통신시스템과 많은 기술적인 특징을 공유한다.

그림 3과 같이 수신기로부터의 거리를 측정 후 삼각 측량 또는 다중 측량법을 사용하여 항공기의 위치를 계산하는 방식으로 LDACS1 통신 네트워크를 통해 항공기 위치 판정을 가능하

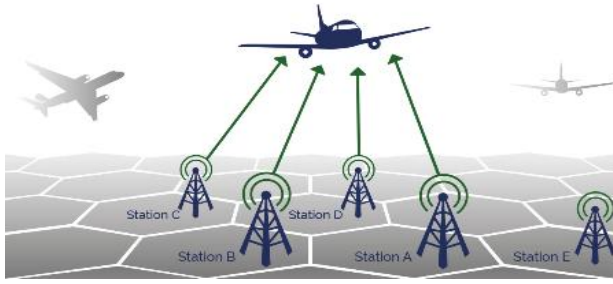


그림 3. LDACS1 APNT 개념 [16]  
 Fig. 3. LDACS1 APNT concept [16].

게 한다[16].

독일 DLR 통신항법연구소에서는 2012년 11월부터 1년간 수행된 LDACS1 항법 적용을 위한 시험 비행 검증을 통해 RNP 0.3 수준의 성능 요구사항을 충족하는 것으로 발표하였다.

6) 하이브리드 APNT

동종의 장비와 신호를 사용하여 APNT를 구현하고자 하는 방법에서 벗어나 이종의 신호와 장비간 결합을 통하여 상호 보완적, 경제적 이점이 있는 새로운 하이브리드 APNT 개념이 제시되고 있다.

항법을 위해 필요한 정보를 이종의 센서를 통해 얻을 수 있는 방법이다. 예를 들어 LDACS1 대안항법에서 고도정보 Z-축을 항공기에 장착된 기압고도계를 통해 얻을 수 있다[16]. 따라서 지상에 설치하여야 하는 지상국의 개수를 최소 4개에서 3개로 줄일 수 있어 경제적인 측면에서 이득을 얻을 수 있다.

또한, 기존 DME 방식의 질문과 응답을 통한 실거리 (true range) 산출과 DME 의사위성 방식에 의한 수동적 거리 (passive range) 산출이 한 시설에서 이루어질 경우 거리 정보 및 지상과의 시각 동기 정보 제공이 가능하다. 이 경우 거리 정보가 하나만 추가되더라도 수평 위치를 산출할 수 있다[2].

하이브리드 ANPT 개념에 의해 이종의 장비와 신호를 조합하여 항법에 적용한다면, 지상 인프라 활용성 증대 등 동종의 장비와 신호의 활용 시 보다 많은 이점을 얻을 수 있다.

3-3 국내 PBN에 적절한 대안 항법

1) 기존 항행 인프라의 재설계

인천 및 김포 공항의 SID, STAR는 GNSS 또는 DMEDME/IRU NAVAID 인프라를 통하여 RNAV 1 비행을 지원하지만, 그 외 공항의 비행절차는 GNSS만을 이용할 수 있도록 되어 있다.

RNAV 1의 경우 GNSS, DME/DME 또는 DME/DME/IRU 항행인프라를 통한 지원이 가능하기 때문에 기존 NAVAID의 재설계를 통한 대안 항법으로 사용할 수 있다. 다만 지상 시설의 적격 평가가 사전에 면밀히 수행되어야 하며, RNP 0.3, RNP APCH 등 보다 정밀한 비행절차 적용에는 한계점을 갖는다.

2) 공항중심 새로운 대안항법

현재까지 수립된 한국의 PBN 항로 및 공항 비행절차에 대한 항법규격과 항행인프라 조건을 검토하여 APNT 구축이 필요한 공항 및 비행단계를 표 8과 같이 나타내었다.

인천 및 김포 공항을 제외한 공항은 기존 NAVAID의 재설계를 통해 RNAV 1 비행절차가 지원 된다고 가정하면, GNSS가 유일한 항행인프라인 RNP 0.3 절차를 지원하기 위한 APNT 수립이 필요하지만, ILS (instrument landing system) 접근과 같이 정밀접근절차가 수립된 공항의 경우는 RNAV(GNSS) 계기접근절차 보다 낮은 기상 제한치에서 비행이 가능하다는 점이 고

표 8. ANPT가 필요한 항로 또는 공항

Table 8. APNT-required en route or domestic airports.

En route or Airport	Flight procedure	Specific ation	NAVAID	APNT required	Example
En-route	RNAV en-route	RNAV 5	DME/DME, INS or IRS, GNSS VOR/DME	×	
		RNAV 2	DME/DME, DME/DME/IRU, GNSS	×	
Incheon, Gimpo	SID STAR	RNAV 1	GNSS or DMEDME/IRU	×	
	IAP (ILS)	RNAV 1	GNSS or DMEDME/IRU	×	
	IAP (ILS)	RNP 0.3	GNSS	-*	
Jeju, Yeosu	SID STAR	RNAV 1	GNSS	○	DMEDME/IRU, DME/DME
	IAP (ILS)	RNAV 1	GNSS	○	DMEDME/IRU, DME/DME
	IAP (ILS)	RNP 0.3	GNSS	-*	
Yangyang, Ulsan, Muan	SID STAR	RNAV 1	GNSS	○	DMEDME/IRU, DME/DME
	IAP (ILS)	RNAV 1	GNSS	○	DMEDME/IRU, DME/DME
	IAP (RNAV)	RNP 0.3	GNSS	○	
Jeongseok	SID STAR	RNAV 1	GNSS	○	DMEDME/IRU, DME/DME
	IAP (RNAV)	RNP 0.3	GNSS	○	
Cheongju	SID	RNAV 1	GNSS	○	DMEDME/IRU, DME/DME
	IAP (ILS)	RNP 0.3	GNSS	-*	
	IAP (RNAV)	RNP 0.3	GNSS	-*	
Seoul	SID	RNAV 1	GNSS	○	DMEDME/IRU, DME/DME
	IAP (RNAV)	RNP 0.3	GNSS	○	

\* In the case of both direction precision approach procedures are established airports like Incheon, Gimpo, Jeju, Cheongju and Yeosu), it may defer constructing APNTs.

려 되어야 할 것이다. 따라서, ILS와 같은 정밀접근절차가 수립된 공항보다 GNSS에 의존한 비행절차가 수립된 공항에 우선적으로 APNT 구축이 필요하다.

#### IV. 결 론

본 연구는 한국 PBN 비행절차의 조사 및 분석을 통해 GNSS의 의존도를 알아보고, GNSS 신호 이용이 불가능할 경우에도 지속적인 PBN 비행절차를 이행하기 위한 APNT 적용 방안을 제시하였다.

한국은 안보적 위협으로 인한 GNSS 신호간섭 발생 가능성이 상존하고 있고, 항공기의 안전한 착륙과 직결되고 높은 정밀도가 요구되는 접근단계에서는 GNSS에 의존한 PBN 비행절차가 수립되어 있기 때문에 단기적으로 공항 주변 접근단계 구역 중심으로 APNT 시스템을 우선 구축하는 것이 필요하다. 또한, 장기적으로는 안보적인 측면과 GNSS에 대한 의존성이 점점 커지고, 유인공역에 UAV 등 새로운 비행체의 통합운영 및 4차원 항적기반 운항을 고려할 때 국내에서도 해당공역을 지원할 수 대안항법에 대한 적극적인 기술개발 및 시스템 구축이 고려되어야 할 것이다. 이를 통하여 공역에서의 원활한 운항과 안전성을 향상시켜야 할 것이다.

향후 PBN 비행절차의 접근단계 구역 및 APNT 후보군별 통달범위 성능 요구사항을 비교하여 효과적인 구축안을 제시하고자 한다.

#### 참고 문헌

[1] The National Space-Based Positioning, Navigation, and Timing (PNT) Advisory Board, “Jamming the global positioning system - s national security threat: recent events and potential cures,” p. 6, 2010. [Internet]. Available: <http://www.gps.gov/governance/advisory/recommendations/2010-11-jammingwhitepaper.pdf>

[2] C. D. Kee, “Alternative position, navigation, and timing.” CNS TODAY, pp. 52-60, Dec. 2014.

[3] S. H. Jo, S. E. Kang, J. Y. Kang, and S. H. Ko, “The GNSS alternative PNT requirements and technology analyses,” *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol. 20, No.

3, pp. 28-34, 2012.

[4] ICAO Doc 9613, “Performance-based navigation manual,” Advance fourth edition, 2013.

[5] EUROCONTROL “Introducing performance based navigation (PBN) and advanced RNP (A-RNP),” p. 13, 2013.

[6] ICAO PBN/TF/9 - IP/03 “PBN implementation status and future plan(presented by the republic of Korea),” Mar. 2012.

[7] Republic of Korea Aeronautical Information Publication, Oct., 2015.

[8] MLIT Republic of Korea established rule no. 235 “PBN operation guide”, 2012.

[9] ICAO Annex10, “Aeronautical telecommunications Vol. 1”, pp. 1-3-3-70, 2006.

[10] S. Lo, “Pseudolite alternatives for alternate positioning, navigation, and timing (APNT),” FAA GNSS Library, pp. 9-13, 2012. [Internet]. Available: [http://www.faa.gov/about/office/org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gnss/library/documents/APNT/media/APNT\\_Pseudolite\\_WhitePaper\\_Final.pdf](http://www.faa.gov/about/office/org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/library/documents/APNT/media/APNT_Pseudolite_WhitePaper_Final.pdf)

[11] National Maritime PNT Office. [Internet]. Available: [http://www.ndgps.go.kr/html/kr/gnss/gnsys/gnsys\\_050501.html](http://www.ndgps.go.kr/html/kr/gnss/gnsys/gnsys_050501.html)

[12] National Maritime PNT Office. [Internet]. Available: [http://www.ndgps.go.kr/html/kr/gnss/gnsys/gnsys\\_050503.html](http://www.ndgps.go.kr/html/kr/gnss/gnsys/gnsys_050503.html)

[13] S. Lo, Y. H. Chen, S. Zhang, and P. Enge, “Hybrid APNT: terrestrial radionavigation to support future aviation needs,” in *The Institute of Navigation GNSS+ 2014 Conference*, Tampa: FL, pp. 3029-3033.

[14] L. Eldredge, P. Enge, M. Harrison, R. Kenagy, S. Lo, R. Loh, R. Lilly, M. Narins, and R. Niles, “Alternative positioning, navigation & timing (PNT) study,” ICAO Navigation System Panel(NSP) Working Group Meeting, Montreal, Canada, 2010, pp. 5-6. [Internet]. Available: [http://waas.stanford.edu/papers/Eldredge\\_ICAO\\_2010\\_NSP-Flimsy-May-2010-2.pdf](http://waas.stanford.edu/papers/Eldredge_ICAO_2010_NSP-Flimsy-May-2010-2.pdf)

[15] S. H. Jo, J. Y. Kang, “Alternative positioning, navigation, and timing using multilateration in a terminal area,” *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol. 23, No. 3, pp. 35-41, 2015.

[16] Future Aeronautical Communications LDACS1. [Internet]. Available: <http://www.ldacs.com/ldacs1-navigation/concept/>



**김 무 근 (Mu-Geun Kim)**

2009년 2월 : 아주대학교 교통-ITS대학원 교통공학과 (공학석사)  
2015년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 대학원 항공운항관리학과 박사과정  
※관심분야 : CNS/ATM, 시험평가인증, 공항운영 및 관리



**강 자 영 (Ja-Young Kang)**

1992년 6월 : 미국 Auburn Univ, AE/Ph.D.  
1979년 3월 ~ 1984년 8월 : 국방과학연구소 연구원  
1992년 6월 ~ 2002년 3월 : ETRI 책임연구원  
2002년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공운항학과 교수  
※관심분야 : CNS/ATM, 비행안전성 및 조종성, 항공체계공학



**장 재 호 (Jae-Ho Chang)**

2003년 12월 : 미국 Embry-Riddle Aeronautical Univ. Master of Aeronautical Science  
2010년 4월 ~ 2011년 2월 : 한서대학교 비행대우교수  
2011년 2월 ~ 2015년 8월 : 진에어 운항승무원  
2015년 9월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공운항학과 교수  
※관심분야 : 비행안전, CRM, Human Factors, 조종교육