

PBN 이행단계별 요구사항과 대안항법

APNT Technologies for Domestic PBN Implementation

김무근*, 강자영, 고상호
한국항공대학교 항공체계시험인증연구센터

초 록

우리나라는 성능기반항행(PBN)으로 전환하기 위한 단계적 PBN 이행계획을 2010년에 수립하고 로드맵에 따른 새로운 비행절차를 개발 중에 있다. PBN 비행절차에는 GNSS, DME, INS 등의 항법시스템이 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 기술을 연구하고 있다. 본 논문에서는 GNSS 신호가 가용하지 않을 경우 기존의 항행시스템으로 지속적인 PBN 운항이 가능한지를 검토해 보고, 필요시 활용할 수 있는 적절한 대안항법을 논의하고자 한다.

1. 서 론

1.1 ICAO PBN 도입

사회, 경제적 발전 및 지구촌 글로벌화에 따라 항공수요가 지속적으로 늘어나고 있고, 연료절약, 배출가스 및 소음 저감 등 환경적 문제가 이슈화되고 있다. 따라서 한정된 공역을 효율적으로 이용하고 경제적이고 친환경적인 항공기의 운항이 요구되고 있다.

위에서 언급한 요구사항을 충족할 수 있도록 여러 유형의 항행 방식들이 개발되었는데, 초기에 이러한 항행 방식들의 정의가 혼선을 주었기 때문에 국제민간항공기구(ICAO)는 항행방식의 국제적 통일과 조화를 이루기 위해 PBN 개념을 도입하게 되었다. PBN 개념은 항행시스템 기반시설, 항법규격, 항법 어플리케이션 등으로 구성된다.

1.2 GNSS의 취약성

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 허위신호 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 인천, 김포공항에서는 GNSS 사용이 제한되기도 하고, 미국 뉴저지주 뉴어크(Newark) 공항 인근 고속도로의 트럭 운전사의 사생활보호 장치용으로 판매되는 GPS 교란 장치로 인해 GPS 항공기 착륙 유도가 불가능한 경우가 발생하였다[1]. 또한, GNSS에 대한 의존도가 점차 커지면서 과잉의존으로 인한 기술종속 및 서비스 비가용 시에 대한 대책의 수립이 요구되고 있다.

본 논문에서는 PBN을 지속적으로 지원하기 위해 GNSS의 취약점을 대비하고, 의존성을 탈피하여 우리나라 실정에 맞는 APNT 적용 방안을 살펴보고자 한다.

2. 본 론

2.1 비행단계별 PBN 규격

ICAO PBN 매뉴얼에는 총 11개(4개 RNAV 규격, 7개 RNP 규격)의 PBN 규격을 담고 있다. 비행단계별 분류하면 <표 1>과 같이 항로(대양 및 원격) 단계에는 Advanced RNP 2 등 4개,

항로(대륙) 단계에는 RNP 0.3 등 6개, 도착단계에는 RNP 0.3 등 6개, 접근단계(초기; 6개, 중간; 6개, 최종; 3개, 실패; 6개)에서는 RNP AR APCH 등 21개, 출발단계에서는 RNP 0.3 등 5개의 규격을 갖고 있다[2].

비행단계별 PBN 항법 규격을 지원하기 위해 지상기반의 VOR/DME, DME/DME과 같은 항행시설, 위성기반의 GNSS 그리고 항공기 탑재 INS(IRU)와 같은 자체 항법을 이용하고 있다. 항공기 탑재 장비 요건으로 <표 2>과 같이 항법 규격에 따라 분리하고 있다.

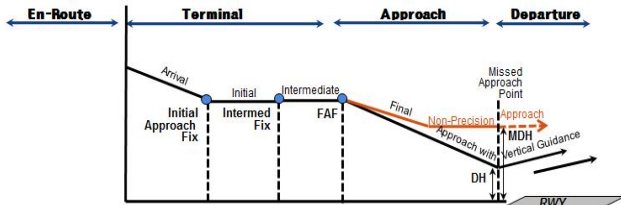


그림 1. 비행단계 구성[3]

표 1. 비행단계별 PBN 규격

항법규격	비행단계(Flight Phase)							
	항로 (대양 원격지)	항로 (대륙)	도착 (ARR)	접근(Approach)				출발 (DEP)
			초기	중간	최종	실패		
RNP 10	10							
RNAV 5		5	5					
RNAV 2		2	2				2	
RNAV 1		1	1	1	1		1	
RNP 4	4							
RNP 2	2	2						
RNP 1			1	1	1		1	
Advanced RNP	2	2 or 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	

표 2. PBN 규격에 따른 항행시스템

항법규격	항공기 탑재 장비 및 항행 인프라
RNP 10	GNSS, INS or IRU, LRNS ¹⁾
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 ¹⁾
RNP 2	GNSS*
RNP 1	GNSS*, DME/DME
Advanced RNP	GNSS (Multi-DME**)
RNP APCH	GNSS(LNAV 또는 LNAV/VNAV ²⁾ minima) GNSS(LP/LPV ³⁾ minima) 재래식 NAVAID(실패접근구역)
RNP AR APCH	GNSS*(1차), DME/DME(대체수단)
RNP 0.3	GNSS*

1) LRNS: Long-range navigation systems)
2) LNAV/VNAV Lateral navigation/vertical navigation
3) LP/LPV: Localizer performance/Localizer performance with vertical guidance)
* GNSS 신호간섭 지역에서 사용 못함
** 국가 requirements, operational requirements 및 available services 조건에 의해 제공될 수 있음

2.2 국내 PBN 비행절차

우리나라는 2010년 PBN 이행계획 로드맵에 따라 PBN 기법을 적용한 비행절차로 전환(2010~현재)을 추진하고 있다[4].

우리나라는 재래식 항로와 PBN 항로가 공존하고 항로에서 PBN 적용은 RNAV 5, RNAV 2 항법규격을 적용하고 있으며, 항공기 탑재 장비 요건(항법 인프라)으로는 대부분 DME/DME, VOR/DME, INS 또는 IRU, GNSS을 요구하고 있으나, Y711(RNAV 5)의 PANSI- ATOTI 구간, Y722(RNAV 5)의 SOSDO- ATOTI 구간, Z55(RNAV 5)의 SHANHAI-AGAVO-NONOS 구간은 위성기반(GNSS) 및 항공기 탑재 자체항법(INS 또는 IRU)을 통해서만 PBN이 가능하다. 이는 전체 RNAV 항로 28개 중 3개 항로에 해당된다.

우리나라 비행정보간행물(2015.10)을 조사한 결과 현재 10개 공항에서 PBN 기법을 적용하여 표준계기출발(SID), 표준도착(STAR), 계기접근(Instrument Approach) 절차가 수립되었다. 국내에 적용하고 있는 비행단계별 항법규격은 <표 3>과 같이 구분할 수 있다.[대한민국 비행정보간행물 2015. 10]

표 3. 비행단계별 PBN 규격

구분	PBN 규격	적용 공항
항로	RNAV 2, RNAV 5	-
SID	RNAV 1	인천, 김포, 제주, 청주, 양양, 울산, 서울, 정석, 무안
STAR	RNAV 1	
Instrument APP'	RNAV 1, RNP 0.3	

다양한 비행단계에서 이용 가능한 RNP 0.3, Advanced RNP의 도입과 관련하여 우리나라 PBN 이행계획에는 나타나고 있지 않았지만 실제 인천공항 계기접근절차 RWY 16/34 RNAV (GNSS)에는 RNP 0.3을 요구하고 있다.

2.3 국내 PBN 비행절차의 GNSS 의존성

항로 및 인천공항, 김포공항 PBN 비행절차는 지상기반, 위성기반 항행시설을 이용한 서비스가 가능하나 그 밖에 공항은 전적으로 GNSS에 의존한 PBN 비행절차가 수립되어 있다. 이는 지상항행안전시설의 적격 평가 절차를 통해 기인한 것으로 볼 수 있다.

위에서도 언급한 바와 같이 GNSS 신호의 취약성이 상존하고 있어 이를 보완하고자 ‘운항 중 일부 요소의 비계획적인 고장 또는 GNSS의 상실을 대비한 RAIM 기능을 부여하고 조종사 지식 및 훈련에 RNAV/RNP 고장에 따른 비상절차를 수행 또는 운항 중에 대체 항행으로 수정할 수 있는 능력을 요구 할 수 있는 능력을 요구하고 있으며’ [5], GNSS가 중단되어도 지속적 운항이 가능하도록 재래식 비행절차를 유지하고 있다.

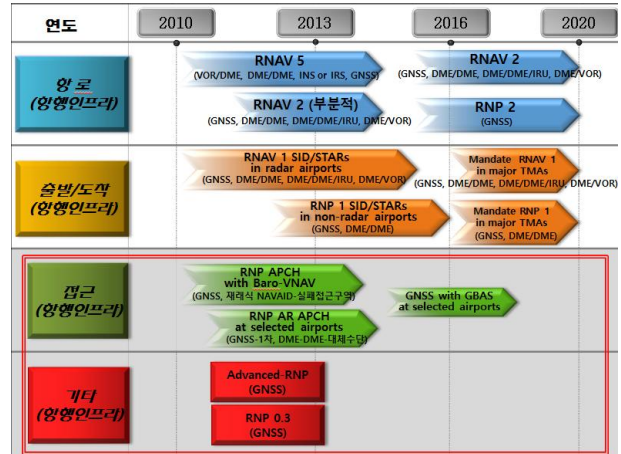


그림 2. PBN 이행계획 및 대안항법 필요 구역

그러나 GNSS 중단에 따른 PBN 비행절차 수행의 불가로 공역의 효율적, 경제적 운영의 차질이 예상되고, 특히 그림 2와 같이 정밀한 항행이 요구되는 접근단계와 A-RNP, RNP 0.3에서는 현재 GNSS가 유일한 항법 수단이 되고 있는 것으로 파악되고 있다. 향후 PBN 비행절차를 지원하기 위해 GBAS, SBAS를 이용한 GNSS 활용은 점차적으로 확대될 것이 예상되나 위성항법신호의 인위적, 자연적 취약성을 해결하지 못하는 이상 대안항법 시스템이 필요하다.

2.4 대안항법 시스템의 성능 요구사항

성능요건은 특정 공역개념에서 제시된 운영을 위해 필요한 정확성, 무결성, 연속성 및 기능성에 대하여 항법규격(RNAV 규격, RNP 규격)으로 표현된다[6].

표 4는 Signal-In-Space(SIS) 성능 요구사항을 나타낸 것이다[7]. 항법시설로 사용하기 위해서는 항법시스템 성능 파라미터(정확성, 무결성, 연속성, 가용성)의 평가가 사전에 이루어져야 한다. 따라서, PBN 비행절차를 무중단 수행하기 위해 대안항법 시스템에 대한 성능 요구사항도 역시 기존의 항법규격을 그대로 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

표 7 SIS 성능 요구사항

성능평가 조건 운영 형식	정확성 (수평) 95%	정확성 (수직) 95%	무결성 (Time-to- alert)	연속성	가용성
항로	3.7km (2.0 NM)	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$ (5min)	$1-1 \times 10^{-4}/h$ to $1-1 \times 10^{-5}/h$	0.99 to 0.99999
항로 터미널	0.74km (0.4 NM)	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$ (15s)	$1-1 \times 10^{-4}/h$ to $1-1 \times 10^{-5}/h$	0.99 to 0.99999
첫접근, 중간접근, 비정밀접근 출발	220m (720ft)	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$ (10s)	$1-1 \times 10^{-4}/h$ to $1-1 \times 10^{-5}/h$	0.99 to 0.99999
수직안내 접근운영 (APV-I)	16.0m (52ft)	20m (66ft)	$1-2 \times 10^{-7}$ in any approach (10s)	$1-8 \times 10^{-6}$ per 15s	0.99 to 0.99999
수직안내 접근운영 (APV-II)	16.0m (52ft)	8.0m (26ft)	$1-2 \times 10^{-7}$ in any approach (6s)	$1-8 \times 10^{-6}$ per 15s	0.99 to 0.99999
CAT I 정밀접근	16.0m (52ft)	6.0m to 4.0m (20ft to 13ft)	$1-2 \times 10^{-7}$ in any approach (6s)	$1-8 \times 10^{-6}$ per 15 s	0.99 to 0.99999

수 있도록 하는 것이 중요하다.

표 8 PBN 항법규격 분석 APNT 우선순위

PBN 항법규격	활용가능 항행인프라	APNT 우선순위
RNP 10	GNSS, INS or IRU, LRNS	3
RNAV 5	VOR/DME, DME/DME, INS or IRS, GNSS	3
RNAV 1, RNAV 2	GNSS, DME/DME, DME/DME/IRU, DME/VOR	3
RNP 4	GNSS, LRNS	3
RNP 1	GNSS, DME/DME	3
Advanced RNP	GNSS, (Multi-DME)	2
RNP 2, RNP APCH, RNP AR APCH, RNP 0.3	GNSS	1

2.5 국내 PBN에 적절한 대안 항법

2.5.1 기존 항행 인프라의 재설계

인천, 김포공항의 SID, STAR 비행절차는 GNSS 또는 DME/DME 항행 인프라를 이용한 RNAV 1 적용 비행이 가능하지만 그 밖에 공항은 GNSS만을 이용한 SID, STAR의 RNAV 1이 가능한 것으로 조사되었다.

RNAV 1의 경우 GNSS 또는 DME/DME 항행 인프라를 통한 지원이 가능하기 때문에 기존 항행시설의 재설계를 통한 대안 항법으로 사용할 수 있다. 다만 지상항행안전시설의 적격 평가가 사전에 면밀히 수행되어야 하며, RNP 1, Advanced-RNP 등 보다 정밀한 비행절차 적용에는 한계점을 갖는다.

2.5.2 공항중심 새로운 대안항법

비행 단계별 PBN 항법규격과 이에 따른 필요 항행인프라 조건을 조합하여 비행단계에서 필요한 APNT 우선순위를 책정하였다. 비행단계별 요구하는 정밀도와 GNSS 외 항행시스템의 활용 가능 유무를 기준으로 정하였다.

표 5에서 보는 것과 같이 타 비행단계 보다 정밀성을 요구하는 접근단계에서는 GNSS가 유일한 항행 인프라이기 때문에 그에 대한 의존성이 크다. 따라서 우선적으로 새로운 APNT 도입 시 공항 중심으로 설치하여 접근단계 항공기가 이용할

현재 항공 선진국을 중심으로 DME, MALT, UAT, 1090MHz, L-band Digital Aeronautical Communication System (LDACS), Hybrid APNT 등과 같은 방안에 대한 검토가 진행 중이다.

3. 결론

본 연구는 우리나라 PBN 비행절차 조사 및 분석을 통해 GNSS의 의존도를 알아보고, GNSS 신호 이용이 불가능할 경우에도 지속적인 PBN 비행절차를 이용하기 위한 방안을 제시하였다. RNAV 1이하의 정밀도가 필요한 경우에는 DME와 같은 지상 항행 인프라를 재설계하는 방안이 GNSS의 대안이 될 수 있겠으나, 항공기의 안전한 착륙과 직결되어 높은 정밀도가 요구되는 접근단계에서는 GNSS에 의존한 PBN 비행절차가 수립되어 있기 때문에 공항지역을 중심으로 APNT 시스템을 우선 구축하는 것이 필요하다.

또한 GNSS에 대한 의존성이 점점 커지고 있고, 머지않아 유인공역에 UAV 등 새로운 비행체의 통합운영이 가시화되고 있는 점을 고려할 때 국내에서도 대안항법에 대한 적극적인 기술개발 및 시스템 구축을 통하여 유사시에도 공역에서 원활한 운항과 안전을 유지시키는 것이 중요하다.

후 기

이 논문은 국방과학연구소 생존성 기술 특화연구센터의 사업으로 지원받아 연구되었음 (계약번호 UD150013ID).

참고문헌

- [1] <http://www.pnt.gov/advisory>, "National PNT Advisory Board comments on Jamming the Global Positioning System – A National Security Threat: Recent Events and Potential Cures", November 4, 2010.
- [2] ICAO Doc 9613, "Performance-based Navigation (PBN) Manual", 2013.
- [3] EUROCONTROL "Introducing Performance Based Navigation (PBN) and Advanced RNP (A-RNP)" p.13.
- [4] ICAO PBN/TF/6 "REPUBLIC OF KOREA PBN IMPLEMENTATION PLAN" , 2010. 2
- [5] 국토부 예규제235호 "성능기반항행(PBN) 운용지침" , 2012
- [6] 시카고협약 부속서 10 Vol. 1, Aeronautical telecommunications Vol. 1, 2006. 7, pI-3
- [7] 시카고협약 부속서 10 Vol. 1, Aeronautical telecommunications Vol. 1, 2006. 7, Table 3.7.2.4-1