

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2022.30.4.009>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

우리나라 성능기반항행(PBN) 도입 10년의 성과와 발전에 관한 연구 - 성능기반항행 이행계획과 항행계획의 비교를 중심으로 -

이승준*, 김현미**, 김휘양***

A Study on the Performance and Development of Performance-Based Navigation (PBN) in South Korea for 10 Years - Focusing on the Comparison between the PBN Implementation Plan and the Global Air Navigation Plan (GANP) -

Seungjun Lee*, Hyeonmi Kim**, Huiyang Kim***

ABSTRACT

With the continuous increase in demand for air transport services and the growth of the air transport industry, the International Civil Aviation Organization (ICAO) and its member states are facing social demands to expand the capacity of the air transport system and improve the efficiency of its operation. ICAO developed the concept of Performance Based Navigation (PBN) for the purpose of solving problems related to the function and performance of the navigation system. Member countries established an implementation plan in accordance with the resolution of the ICAO General Assembly, and South Korea established a Performance-Based Navigation implementation plan in December 2009. This paper evaluates the progress made so far based on Korea's Performance-Based Navigation implementation plan and proposes a development direction for Performance-Based Navigation based on changes in the international environment.

Key Words : ATM(항공교통관리), PBN(성능기반항행), RNAV(지역항법), GANP(세계항행계획), ASBUN(미래 항공교통 시스템 전환계획), NARAE(국가항행계획)

1. 서 론

항공운송 서비스 수요의 지속적 증가와 항공운송 산업의 꾸준한 성장에 따라 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO)와 회원

국은 항공교통 시스템의 수용량 확대와 운용의 효율성 개선에 대한 사회적 요구에 직면하였다(ICAO, 2013). ICAO와 그 회원국은 항공운송 산업의 당면 문제를 향상된 항공교통관리와 통신·항법·감시 분야의 기술 발전으로 개선하는 한편, 비행단계에서 지역항법(area navigation, RNAV) 기술의 개발과 적용을 통해 가용 공역을 최적화하고 수용량을 높여 공역의 효율적 운용을 도모하였다(Eurocontrol, 2013).

지역항법은 항행안전시설(NAVAIDS)의 통달 범위나 자체 항법 장치의 성능 범위 또는 이러한 장비들을 함께 이용하여 조종사가 의도한 비행경로를 따라 비행할

Received: 20. Jul. 2022, Revised: 08. Aug. 2022,
Accepted: 25. Aug. 2022

* 한국항공대학교 항공교통물류학과 박사수료

** 한국항공대학교 항공교통물류학부 조교수

*** 한국항공대학교 항공교통물류학부 조교수
연락처자 E-mail : igreenbee@kau.ac.kr
연락처자 주소 : 경기도 고양시 덕양구 항공대학로 76

수 있는 항법으로써 미국에서는 1960년대에 시작하여 1970년대에 미국 공역 전체로 확대되었다(FAA, 2003). ICAO는 항법 시스템의 기술발전을 반영하여 특정 항공로에 대한 필요성과 요건의 지정을 시도하였고 1990년에 필수항행성능(required navigation performance, RNP)의 개념을 도입하였다(ICA0, 2013). 그러나 필수항행성능은 운항에 필요한 항행성능을 지정하면서 이를 달성하는 방법을 명시하지 않아 동일한 항행성능 일지라도 국가와 지역별로 항공기에 대해 다른 요건과 운항 승인이 요구되었으며(Eurocontrol, 2022) 이전부터 지역항법이 운용되었던 공역에는 적용이 곤란하여 결과적으로 지역항법과 필수항행성능의 개념과 용어가 지역과 국가에 따라 약간씩 다른 의미로 사용되는 혼란을 초래하였다(ICA0, 2013).

ICA0는 항법 시스템의 성과와 요건에 관한 문제를 해결하고 이해관계자의 협력을 통해 세계 항행시스템을 안전하며 효율적으로 운용하기 위한 목적으로 성능기반항행(performance based navigation, PBN) 개념을 개발하였다. ICA0 제37차 총회(07.11월)는 성능기반항행의 도입과 함께 이행을 위한 계획(로드맵)을 2009년까지 수립하기로 결의하였다(ICA0, 2007). ICA0 총회의 결의에 따라 회원국은 지역사무소를 중심으로 이행계획을 수립하였으며 우리나라는 '09.12월에 성능기반항행의 이행을 위한 계획을 발표하였다(ICA0, 2010). 우리나라는 이행을 위한 추진 기간을 단기(2010~2012)와 중기(2013~2016) 그리고 장기(2017~)로 구분하고 각각의 단계별로 항공로(en-route)와 터미널(terminal) 출발·도착절차 그리고 접근절차(approach) 등 세 개 부분으로 나누어 전국 공역과 공역에 점진적으로 확대하기로 계획하였다(MOLIT, 2010).

우리나라가 성능기반항행 이행계획을 수립하고 이를 집행한 지 10여 년이 지났다. 국토교통부는 이행계획에 따라 기존 출발·도착·접근절차와 항공로를 성능기반으로 전환하였다.

이행계획의 종료 시점이 정해져 있지 않으나 현재까지의 진행 경과와 성과를 점검하고 국제 항공정책과 기술 동향 등 환경 변화를 확인하는 과정은 성능기반항행의 지속적 발전과 항공교통 시스템의 효율적 관리를 위해 중요한 과정이다.

본 연구는 우리나라 성능기반항행 이행계획을 토대로 그동안의 성과를 평가하고 국제환경 변화를 분석하여 성능기반항행의 발전 방향을 제안하고자 한다. 이를 위해 먼저 해외 국가의 성능기반항행 이행과정을 살펴보고 ICA0에서 진행 중인 세계항행계획을 통해 국제

동향을 확인한다. 마지막으로 우리나라 성능기반항행 이행계획의 의의를 고찰하고 2010년부터 2020년까지 터미널 공역과 항공로에서 진행한 성과를 평가하여 지속적인 발전 방향을 제언한다.

II. 성능기반항행의 국제적 동향

성능기반항행의 이행을 위한 기술적 내용과 가이드는 성능기반항행 매뉴얼(Doc. 9613)과 성능기반항행 운항 승인 매뉴얼(ICA0 Doc. 9997) 등에서 확인할 수 있다(ICA0, 2013, 2015). 본 연구는 성능기반항행의 기술적 내용보다 이행계획에 초점을 두고 해외 국가의 동향을 살펴보았다.

ICA0 회원국들은 성능기반항행 계획을 수립할 때 ICA0의 지침과 권고를 기준으로 하였다. 이러한 점에서 회원국들의 이행계획 사이에 뚜렷한 기술적 차이를 발견할 수 없다. 이들 이행계획은 공통으로 성능기반항행의 주요 항행요건인 RNAV와 RNP를 적용하고 출·도착절차와 항공로의 개발 그리고 항법위성(global navigation satellite system, GNSS)을 활용한 접근절차 개발 등 내용을 기본적으로 포함하고 있기 때문이다.

그러나 일부 회원국의 이행계획에서는 정책적으로 자국의 공역 특성과 교통 환경을 반영하여 추구하는 목표와 중점 추진계획에 구별을 두고 있음을 발견할 수 있다. 본 연구는 회원국별 성능기반항행 이행계획의 기본적 내용과 차이를 확인하기 위해 미국과 호주 그리고 유럽 국가 중 프랑스의 사례를 제시하였다.

2.1 미국

미국의 성능기반항행 이행계획은 공역 시스템 향상을 위한 핵심 요소로써 항공교통시스템 발전계획인 NextGen과 연계되어 계속 추진된다는 특징이 있다. 미국 연방항공청(Federal Aviation Administration, FAA)은 2004년에 국가 공역 시스템의 안전과 효율성, 수용량 그리고 유연성 등의 향상을 위해 NextGen 계획을 수립하여 발표하면서 성능기반항행을 NextGen 계획의 핵심 요소로 지정하였다(FAA, 2021). 미국 연방항공청은 2003년에 성능기반항행 이행계획을 발표한 이후에 계속해서 계획을 개정·보완하고 있다. 2016년 개정된 이행계획은 2030년까지 추진할 계획을 단기(2016~2020)와 중기(2021~2025) 그리고 장기(2026~2030)의 3단계로 구분하였으며 각 단계는 접근절차와 터미널 출발·도착절차, 항공로(en-route) 그리고

대양(oceanic)으로 세분화하였다.

단기계획 중 접근절차에 관한 계획은 저시정 상황에서 항공 안전 유지와 항공교통 처리량 개선에 중점을 두고 기존 접근절차를 성능기반항행 절차로 교체하여 단기계획 종료 시점인 2020년까지 RNP 접근절차를 구축·운용하도록 하였다. 특히 항공기에 대해 수평 정보뿐 아니라 수직유도 정보가 제공되는 RNAV(GPS) 접근절차를 구현하고 저시정 상황에서는 시각합성유도 시스템(synthetic vision guidance system, SVGS)과 비행시각강화시스템(enhanced flight vision system, EFVS)을 도입하여 운항 효율성과 안전성을 증대하고자 하였다.

터미널 출·도착절차에 관한 성능기반항행 계획은 재래식 절차를 RNP 성능의 비행절차로 전환하고 위성(global navigation satellite system, GNSS) 신호가 두절된 상황에서도 RNP 1 성능을 유지하기 위한 DME/DME 사용 승인을 포함하였다. 또한 확장된 RNP 개념인 Advanced RNP(A-RNP) 성능의 도입과 도착절차를 비행하는 항공기가 최적의 프로파일로 강하할 수 있도록 하는 OPD(optimized profile descents) 비행 방식의 실현을 계획에 담았다.

항공로에 대해서는 FL290 이상의 A 등급 공역을 RNAV 2로 지정하여 공역을 최적화하는 한편 재래식 항공로는 성능기반항행으로 대체하여 이를 기반으로 하는 지점 간(point-to-point) 운항을 추진하고자 하였다.

중기와 장기계획은 단기계획을 연장하여 수직유도 정보를 활용한 APV(approach procedure vertical guidance) 접근절차를 계속 추진함으로써 안전성과 접근성 그리고 효율성을 향상하는 데 중점을 두었다. 기존 재래식 터미널 출발·도착절차는 계속해서 성능기반의 절차로 대체하는 한편 항공교통 흐름이 복잡하고 교통량이 많은 공항에서는 A-RNP 적용과 축소된 분리 기준의 적용을 확대하는 내용을 포함하였다.

2.2 아태지역: 호주

호주 민간항공안전청(Australia Civil Aviation Safety Authority, CASA)은 2010년에 성능기반항행 이행계획을 발표하였다(CASA, 2010). 성능기반항행 이행계획은 다른 나라 이행계획과 마찬가지로 단기(2008~2012), 중기(2013~2017), 그리고 장기(2018~2022)의 3단계로 구분하였다. 호주 이행계획의 특징은 단기 계획에서부터 모든 공역에 대해 두 가지 항행요건인

RNAV와 RNP 요건이 동시에 가능하게 하는 것이다.

단기계획은 내륙 항공로(en-route)에 RNAV 5를 적용하고 대양과 대륙의 항공로에는 RNP 4 또는 RNAV 10을 적용하였다. 터미널의 출발·도착절차에는 RNAV 1 요건을 적용하는 동시에 APV-Baro(Barometric) 접근절차가 운영되는 활주로는 RNP 1 요건의 출발·도착절차 도입을 목표로 하였다. 접근절차에 관한 계획에서 독특한 내용은 APV-Baro 접근절차 외에 특별승인이 요구되는 RNP AR(Authorized) 접근절차 적용을 적극적으로 추진하였다는 점이다.

중기계획은 단기계획과 같이 RNAV와 RNP 요건을 동시에 적용하여 항공로에는 RNAV 5와 RNP 2 요건을 적용하고 터미널에서 RNAV 1과 RNP 1 요건의 출발·도착절차 도입을 목표로 하였다. 접근절차는 LPV(localizer performance with vertical guidance) 운영지원을 목적으로 2013년에는 SBAS(satellite based augmentation system) 인수를 고려하고 2015년부터 운영 능력을 갖추는 것을 목표로 하였다.

2.3 유럽: 프랑스

유럽은 ICAO에서 성능기반항행 개념을 도입하기 전인 1998년부터 지역항법 시스템의 감항성 인증과 운항 승인을 위한 유럽의 필수요건을 적용하고 항공로와 터미널 출·도착절차에 대해 B-RNAV와 P-RNAV를 적용하였다(Eurocontrol, 2013). 2018년에는 유럽 내의 모든 공역에 대해 2030년까지 성능기반항행을 의무적으로 적용하는 이행규칙으로 발효하였다. 의무화 계획에 따라 유럽은 항공로에는 RNAV 5, 터미널 출발·도착절차에 대해서는 RNAV 1 또는 RNP 1 요건을 적용하고 활주로는 APV 접근절차를 운영하기로 하였다(EU, 2018).

유럽의 성능기반항행 이행계획 중 프랑스 사례를 보면 프랑스 민간항공국(Dirección General de Aeronáutica Civil, DGAC)은 다른 회원국의 이행계획과 마찬가지로 단기(2012~2014)와 중기(2015~2019) 그리고 장기(2020~)의 3단계로 이행계획을 구분하였다(DGAC, 2012).

단기계획은 RNAV 5 성능의 항공로를 구축하고 수직유도 정보(APV-SBAS 또는 APV-Baro)가 제공되는 RNAV(GNSS) 접근절차와 터미널 공역에서의 점진적으로 RNAV 1 성능의 출발·도착절차의 구현을 계획으로 포함하였다.

중기계획은 항공로 간의 간격을 줄이고 항공교통흐

를 개선하기 위해 Advanced RNP 개념과 항공로에 대한 새로운 항행요건의 이점과 적합성을 분석하는 한편 터미널 구역에 RNAV 1 성능의 출발·도착절차 적용·확대를 포함하였다. 접근절차는 수직유도 정보가 제공되는 접근절차인 RNAV(GNSS)를 확대하고 운영 환경이 복잡한 공항 또는 비행장에는 RNP AR 접근절차의 도입을 목표로 하였다.

장기계획에서는 단기와 중기에 도입된 성능기반항행의 의무화를 위한 규칙을 도입하고 위성 기반의 항법 시스템 도입에 따라 VOR과 DME 등 재래식 항행안전 시설의 철거에 관한 검토를 계획하였다.

III. 우리나라 성능기반항행의 이행과 성과

우리나라는 '09.12월에 이행계획을 수립하고 아태 지역 사무소에 제출하였다(ICA0, 2010). 우리나라는 단기(2010~2012)와 중기(2013~2016) 그리고 장기(2017~)로 이행계획을 구분하고 각 단계를 항공로(en-route)와 터미널(terminal) 출발·도착절차 그리고 접근절차 등 세 개 부문으로 구분하여 전국 공항과 공역에 점진적으로 확대되는 것으로 계획하였다(Table 1 참조).

Table 1. PBN implementation plan

구분	주요 계획	
단기 ('10~'12)	항공로	• RNAV 5 도입(일부 혼잡지역은 RNAV 2)
	터미널	• 기존 및 신설 절차 RNAV 1 적용 • 주요 공항에 연속강하운항(CDO)
	접근 절차	• APV-Baro 도입, GBAS 도입 연구
중기 ('13~'16)	항공로	• 신설 항공로 RNAV 2 또는 RNP 2 적용
	터미널	• RNAV 1 또는 RNP 1 확대 • 혼잡구역에 RNAV 1 또는 RNP 1 의무화 • 연속강하운항(CDO) 확대
	접근 절차	• APV-Baro 도입 완료 및 GBAS 시범 운영
장기 ('17~)	항공로	• RNAV 2 또는 RNP 2로 설계
	접근 절차	• APV-Baro 완료 및 GBAS 활성화

출처: ICAO APAC, "State PBN Plan and Status of PBN Implementation Progress", 2010.

3.1 성능기반항행 이행계획

우리나라는 이행계획을 수립하는 데 있어 국제기준에 부합하고 지역항법 시스템을 탑재한 항공기를 배려하며 아태지역의 항행계획과 조화를 이루는 한편 국제적 항공 안전수준 확보의 기본원칙을 토대로 마련하였다(MOLIT, 2022). 단기계획은 기존 재래식 항공로를 RNAV 5 또는 RNAV 2(일부 혼잡지역) 성능으로 전환하고 터미널 출발·도착절차는 RNAV 1 성능으로 전환하되 접근절차에 대해 APV-Baro 절차의 도입을 목표로 하였다. 우리나라 계획의 특징은 연속강하운항(continuous descent operations, CDO)의 도입을 목표로 단기계획부터 인천공항과 제주공항 등 주요 공항으로 확대한 점과 B576 항공로에 대해 RNAV 2를 이용한 평행항공로 도입을 목표로 하였다는 점이다.

중기계획은 RNAV 또는 RNP 요건을 적용하는 것으로 목표로 하였으며 결과적으로 접근절차에 대해서만 RNP 요건을 적용하고 항공로와 터미널 출·도착절차에는 RNAV 요건을 적용하였다. 신설 항공로에는 RNAV 2 또는 RNP 2 요건을 적용하고 항공로 네트워크에 대한 항행요건을 인접 국가와 협의하도록 하였다. 터미널 구역에서는 RNAV 1 또는 RNP 1 성능의 출·도착절차를 확대하는 한편 연속강하운항(CDO)을 지방 공항으로 확대하고자 하였다. 그와 함께 혼잡한 터미널 구역에 대해서 RNAV 1 또는 RNP 1 성능의 의무화 추진을 포함하였다. 또한 접근절차에 대해서 모든 공항에 APV-Baro 도입을 완료하고 지상기반보정시스템(ground based augmentation system, GBAS)을 이용한 접근절차의 시범 운영을 계획하였다.

장기계획은 운영 중인 모든 RNAV 5 성능 항공로를 RNAV 2 또는 RNP 2 성능으로 전환하고 GBAS 접근절차의 점진적인 확대를 목표로 하였다. 여기에서는 중기에서 공정한 퇴역 대상 지상 항행안전시설의 철거를 계획하였다는 점이 특별하다고 할 수 있다.

3.2 성능기반항행의 이행성과

제36차 ICAO 총회 결의에 따라 우리나라는 2010년 시범 도입을 시작하고 지속적인 사업을 통해 공항(출발·도착절차와 접근절차)과 항공로에 대한 도입을 적극적으로 이행하였으며 실질적으로 전환을 완료하였다.

Table 2는 국토교통부의 추진한 성능기반항행 이행의 결과로서 국토교통부는 민간항공기가 운항하는 전국 15개 공항에서 전환을 추진하였다. 기존의 재래식

Table 2. Implementation result of PBN

구분	내용	이행건수
항공로	RNAV 2 항공로 전환	34건
터미널	RNAV 1 출·도착 비행절차	292건
접근절차	RNP 접근절차 (LNAV 및 LNAV/VNAV)	80건

출처: Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "A Study On Performance-Based Navigation (PBN) Flight Procedures and Airspace Efficient Operation", 2021.

절차는 성능기반의 RNAV 1 출발절차와 도착절차로 전환하였으며 각각의 활주로에 대한 RNP 0.3 성능의 접근절차를 수립하였다(MOLIT, 2021). 다만 일부 대구공항, 광주공항 그리고 청주공항 등 일부 민군 공용 공항에서는 공항의 특수성으로 도입이 지연되고 있다.

국토교통부는 인천공항에 적용된 도착절차 중 4식을 연속강하운항(CDO) 전용 절차로 설계하였고 그 외의 출발·도착절차에 대해서도 운항 효율성 향상과 배출가스 감소를 위해 연속강하운항(CDO)과 연속상승운항(continuous climb operation, CCO)을 고려하였다(MOLIT, 2021). 또한 RNP 접근절차는 수평 정보만 제공되는 LNAV 절차와 수평·수직 정보가 동시에 제공되는 LNAV/VNAV(APV-Baro) 절차를 함께 수립하여 유사시 ILS 정밀접근절차를 보완할 수 있도록 하였다.

성능기반항행 성과는 교통량이 밀집하는 서울 터미널 공역(접근관제구역)과 항공로에서 뚜렷하게 나타났다. 터미널 공역에서는 출발·도착절차의 보호구역 범위를 줄여 인천공항에 독립 동시 접근절차와 동시 출발절차를 설계할 수 있도록 하고 포인트머지(point merge) 또는 트롬본(trombone) 형식과 같은 여러 형태의 도착절차를 고려할 수 있도록 하여 항공교통의 효율성을 도모하였다.

항공로에서는 RNAV 2 성능을 적용하여 가장 혼잡한 B576 항공로에 Y711/Y722 평행항공로를 구축하였으며 B576 항공로 외에도 대구-김해노선에 Y781/Y782 항공로를 평행항공로로 운용함으로써 평행 복선 항공로의 기능적 효과와 경제적 효과를 유발하였다. 이외에도 현재까지 신설된 항공로를 포함하여 34개 항공로가 RNAV 2 성능으로 운용 중이다(MOLIT, 2021).

성능기반항행 이행성과는 산출 결과(Table 2 참조) 외에 경제적 효과에서도 증명되었다. Park et al.(2013)은 항공로 복선화에 따른 항공기 운항 효율성을 분석

Table 3. Parallel air routes economic effect

구분	B576	Y711, Y722
평균 비행거리	228.6NM/대	229.7NM/대
평균 비행속도	408Kts/대	425Kts/대
평균 비행시간	33.8분/대	32.66분/대
평균 연료소비량	4,137.7kg/대	3,945.3kg/대
분석 항공기 수	725대	864대

출처: Park, J. H., Goo, S. K., and Baik, H. J., "Assessment of Flight Operational Efficiency before and after Dualizing an Air Route", 2013.

하였다. 이 연구는 우리나라에서 교통량이 많은 B576 항공로를 Y711과 Y722로 복선화한 효과를 운항 효율성 측면에서 분석하기 위해 연료 소모량을 비교하였다. 분석 결과, 비행거리는 평균 약 1NM 증가했으나 비행속도는 평균 17Knots가 증가하여 비행시간은 약 1.2분이 감소하였다. 그 결과 항공기 한 대당 평균 연료소모량은 약 228.4kg 감소했으며 복선화 이전과 비교했을 때 5.5%의 연료가 절감되고 운항 효율성이 향상되었다(Table 3 참조).

Jeong(2013)은 제주공항 포인트머지 형태의 도착절차를 조정했을 때 운항 효율성이 개선되는 효과를 분석하였다. 포인트머지 형태의 도착절차는 RNAV 1 항행요건을 전제로 설계할 수 있는 절차로서 성능기반항행에서 목표로 하는 연속강하운항(CDO)뿐 아니라 관제사 업무량 감소 등 효율성이 확인되었다. 이 연구는 제주공항 활주로 25방향 포인트머지 형태의 위치를 변경하여 기존 절차와의 효율성을 비교하였는데 이를 위해 주변 공역 상황을 반영하고 포인트머지 절차 설계를 위해 필요한 고려사항을 검토하였다. 분석을 위한 도구는 항공교통 분석에 주로 사용되는 TAAM 시뮬레이션을 활용하였다. 분석 결과, RNAV 1 성능을 기준으로 포인트머지 도착절차를 일부 조정하는 경우 연료절감을 통한 운항 효율성이 더욱 개선되었음을 확인하였다(Table 4 참조).

Table 4. Result of fuel consumption

구분	평균	표준편차
기존 포인트머지	496.9kg	351.1kg
대체 포인트머지	452.5kg	320.8kg

출처: Jeong, I. H., "Application of a Fast-Time Simulation Model in Designing Point Merge Arrival Procedure", 2013.

3.3 성능기반항행 이행의 한계

우리나라의 성능기반항행 전환이 계획에 따라 모든 이행을 완료한 것은 아니다. 여전히 GBAS 접근절차 도입은 진행되지 않았고 RNP 1 성능의 출발·도착절차 그리고 RNP 2 성능의 항공로 도입도 추진되지 않았다(Table 5 참조).

그러나 GBAS 접근 절차의 도입은 프랑스와 호주 계획에서도 특정 시점 이전에 고려하지 않거나 철회하였다는 점에서 우리나라도 장기적으로 추진하는 것이 적절하다(CASA, 2010; DGAC, 2012). RNP 성능의 출발·도착절차와 항공로 도입에 대해서는 그간 일련의 항법위성 신호의 교란으로 인해 항공기 운항의 안전에 위협이 될 수 있음을 고려하였다(MOLIT, 2012). 성능기반항행 이행계획에는 포함되지 않았으나 국토교통부는 김해공항과 양양공항 등 장애물로 인해 비행절차 설계와 운항에 지장을 받는 일부 공항에 RNP AR 접근절차의 도입을 고려하였다. 검토 결과 양양공항은 군 기관과의 공역 협조가 필요하고 김해공항의 경우는 활주로 시단의 이설 또는 소음구역의 변경 등의 필요성으로 인해 RNP AR 접근절차 도입이 곤란하다는 것을 확인하였다(MOLIT, 2013).

국토교통부는 계획에 포함하였으나 이행하지 않은

Table 5. PBN implementation plan and performance comparison

이행계획	이행실적
• 항공로 RNAV 2 또는 RNP 2 구축	• A593 항공로를 제외한 항공로 RNAV 2 구축
• 터미널 출·도착 절차 RNAV 1 또는 RNP 1 구축	• 인천, 김포, 김해, 제주공항 등 출·도착 절차에 RNAV 1 도입
• APV 접근절차 도입	• APV-Baro 도입·운영
• CDO 확대	• 인천공항 도입(4식)
• SBAS 이용 여부 검토 및 적용	• 미이행
• GBAS 접근절차 도입	• 미이행
• RNP AR 접근절차 대상 검토 및 도입	• 양양공항·김해공항 도입 검토
• VOR 등 일부 지상 무선항행시설 퇴역	• 미이행

출처: Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "A Study on Performance-Based Navigation (PBN) Flight Procedures and Airspace Efficient Operation", 2021.

계획을 계속 추진하고 새로운 과제도 개발해야 한다. 그러나 성능기반항행 이행계획의 지속적 진행은 국내외 정책, 기술, 교통 환경 등의 변화에 따라 시기가 달라지고 더 늦춰질 수도 있다. 성능기반항행 이행계획은 현재 진행 중인 계획이기는 하나 첫 번째 사업 이후 10여 년 동안 실질적으로는 계획을 완료하였고 항공교통 부문에 새로운 정책이 채택되고 이행되면서 성능기반항행 이행계획의 중요성과 추진동력이 희미해졌다. 국토교통부는 ICAO 세계항행계획에 따라 국가항행계획으로서 '나래(NARAE)'를 주요 정책으로 채택하고 세부 과제를 이행하고 있다. 우리나라 국가항행계획이 항공교통 시스템 전체를 포괄하는 거시적 정책이라는 점에서 공역의 개발과 개선에 집중된 정책이라고 볼 수는 없다. 성능기반항행 이행의 지속적인 추진과 여전히 미이행으로 남아있는 일부 과제의 이행 여부는 이러한 상황에서 고려되고 필요하다면 다른 정책과 연계될 수 있어야 한다.

IV. 항행계획의 전략과 성능기반항행

4.1 ICAO 세계항행계획(GANP)

본 연구는 세계항행계획의 배경이 되는 1983년 FANS (Future Air Navigation System) 위원회 설립과 CNS/ATM을 미래 표준 항행시스템으로 채택한 제10차 항행회의('91.9월)까지 거슬러 올라가 계획을 설명하지 않는다. 여기에서는 성능기반항행 이행계획의 발전 방향을 고찰하려는 목적으로 성능기반항행 이행을 결의한 제36차 ICAO 총회 이후의 제4차 세계항행계획부터 연관성을 살펴볼 것이다.

세계항행계획은 환경에 미치는 영향을 억제하면서 여객과 화물을 안전하고 효율적인 방법으로 운송할 수 있도록 국제적으로 상호운용이 가능한 항공교통 시스템을 구축하기 위한 전략이며 포괄적이고 점진적 방법으로 시스템을 변환하기 위한 국제적 기준이다(ICAO, 2017). 세계항행계획은 세계 항공교통 시스템의 조화로운 통합과 발전을 위한 최상위 계획으로써 종합적 방법론을 제시한다(ICAO, 2016).

시간의 경과에 따라 항공운송 산업은 구조를 달리하고 항공산업의 기술은 끊임없이 발전하며 항공교통 수요자의 요구는 계속해서 달라진다. 국가와 항공교통 서비스 제공자는 항공교통 시스템이 처한 환경과 당면한 과제에 따라 새로운 계획을 통해 시스템의 역할과 기능을 높이고 성능을 끊임없이 개선해야 한다. ICAO는

세계항행계획 개정을 통해 계획의 프레임워크와 기술적 내용뿐 아니라 주요 패러다임을 변경하였다. 패러다임 변화는 2007년의 제3차 세계항행계획과 그 이전에 제시한 세계 항공교통관리 운용개념(Doc. 9854)에서 확인할 수 있다.

ICAO는 제1차 세계항행계획 이전부터 일관되게 유지해 왔던 CNS(communication, navigation & surveillance) 기술개발 중심 패러다임을 제3차 항행계획에서 운영개념(operational concept)과 성과(performance)의 패러다임으로 전환하였다(ICAO, 2007). 그러나 패러다임의 전환이 기술의 지속적인 개발과 발전을 등한시하거나 소홀히 한다는 의미는 아니다. CNS 기술은 여전히 그 중요성이 인정되고 세계항행계획 내에서 다른 시스템 개발의 기초가 되기 때문이다. ICAO는 세계 항공교통관리 운용개념에서 새로운 패러다임을 설명하면서 개발 중이거나 개발 예정인 항공교통 시스템이 어떻게 운영되어야 하는지 명확한 설명과 필요요건을 제시하여 기술의 현실적 적용과 구현을 유도하기 위한 것이라는 점을 분명히 하였다(ICAO, 2005).

제4차 세계항행계획은 ICAO 제12차 항행회의(11.9월)에서 채택되고 제38차 총회(13.10월)에서 승인되었다. 제4차 세계항행계획은 ICAO 전략의 달성과 항공교통 시스템 구축을 위한 방법으로 시스템 엔지니어링 방식의 ASBU(aviation system block upgrade)를 제시하였다(ICAO, 2013). ASBU는 세계항행계획을 달성하기 위해 회원국이 단계별(block)로 이행해야 할 시스템의 운영개념과 기술사항 그리고 필수요건을 명시한 방법론이며(Park and Kim, 2016) 미래 항공교통 시스템이 항공교통 수요를 효과적으로 관리하고 항공 안전 향상과 수용력의 확대 그리고 예측성과 효율성을 개선할 수 있도록 하는 프레임워크이다(CANSO, 2016).

제5차 세계항행계획은 단계별 이행 기간의 변경 외에 제4차 항행계획의 기술적 방향과 구성을 그대로 유지하였다. 제4차와 제5차 항행계획은 성능기반항행의 역할과 중요성을 강조하였는데 ICAO는 성능기반항행(PBN)과 연속강하운항(CDO)·연속상승운항(CCO) 그리고 항공교통흐름관리(air traffic flow management, ATFM) 등 3개 과제를 집중적으로 추진할 우선순위 과제로 결정하고 성능기반항행을 최우선의 과제로 정했다(ICAO, 2016). 제4차와 제5차 세계항행계획 초기

단계는 성능기반항행의 이행시기와 중첩되고 세계항행계획에서 정한 항공교통 시스템의 개선을 위해서는 무엇보다 구역 개선이 선행되어야 한다는 점에서 성능기반항행 이행을 우선 과제로 선택한 ICAO의 결정은 충분히 이해될 수 있는 사실이다.

제4차와 제5차 세계항행계획에서 성능기반항행에 관한 내용은 APTA(airport accessibility) 스레드(thread)와 FRTO(free-route operations) 스레드에서 찾을 수 있다. 해당 스레드의 내용은 제6차 항행계획으로 업데이트되었으므로 유사점과 차별점은 제6차 세계항행계획의 내용에서 함께 기술하였다.

제6차 세계항행계획은 이전 항행계획과 비교하여 여러 가지 면에서 차이가 있다. 제6차 세계항행계획은 제40차 ICAO 총회(19.10월)에서 승인되었다. 개정된 항행계획은 성과와 성능, 시스템 간의 조화와 상호운용성을 더욱 강조하는 한편 추진체제와 성과체제, ASBU 프레임워크 그리고 스레드의 구성 등에서 변화를 가져왔다.

추진체제는 글로벌(global strategic과 global technical), 권역(regional), 국가(national)의 4개 단위로 구분하여 각 단위에서의 이행과 역할을 명확히 하였다. 이전 계획에서는 스레드를 성능개선영역(performance improvement area, PIA) 중심으로 구성하였으나 개정된 계획은 특성에 따라 정보(information), 운영(operational), 그리고 CNS 기술서비스(technologies) 부문으로 나누고 22개 스레드를 배치하였다(ICAO, 2022).

제6차 세계항행계획은 성능기반항행에 대해서도 이전의 항행계획과는 다른 태도를 보이며 성능기반항행을 강조하지 않고 우선순위로도 지정하지 않았다. 세계항행계획에서는 그 이유에 관해 설명하지 않았으나 제36차 ICAO 총회 이후 전 세계적으로 성능기반항행이 전파되고 이행되면서 성능기반항행이 정착되었기 때문이라고 유추할 수 있다. 제6차 세계항행계획에서 성능기반항행에 관련된 계획은 APTA(improve arrival and departure operations)와 FRTO(improved operations through enhanced en route trajectories) 그리고 NAVS(navigation systems) 등 3개 스레드에서 찾을 수 있으며 관련된 내용을 요약하면 다음과 같다¹⁾.

첫 번째, APTA 스레드는 항행계획에 따라 성격이 달라졌다. 이전 세계항행계획에서는 공항 운영의 효율

1) APTA와 FRTO 스레드의 괄호 안에 기술된 간략한 설명 문구는 제6차 세계항행계획에서 변경되었다.

성에 초점을 맞추어 접근성을 높이고자 했다면 제6차 항행계획에서는 공항과 터미널 공역에서 항공기 입·출항 비행절차 개선과 운항 효율성 향상에 초점을 두고 있다(Table 6 참조). 개정된 계획은 APV-Baro·SBAS·GBAS 등 위성 항법을 이용한 접근절차 개발과 연속강하운항(CDO)/연속상승운항(CCO) 그리고 항공기 성능에 따른 착륙 최저치 개선을 주요 내용으로 한다. 그러나 이전과 현재의 항행계획에서 APTA 스레드의 일부 계획은 성능기반항행 이행과 유사하면서도 그 계획이 공항과 터미널 공역에 집중되어 공역과 항공로에 대해서는 고려하지 않고 있다는 점 그리고 비행절차의 성능과 항행요건에 대한 계획은 언급하지 않고 있다는 점에서 성능기반항행과 구별된다.

두 번째, FRTTO 스레드는 APTA에서 고려하지 않은 공역에 관한 계획을 담고 있다. 개정 전 항행계획에서 FRTTO 스레드는 특수사용 공역으로 분리된 공역을 공역 사용자가 상호 공유하는 탄력적 공역 운영의 개념과 성능기반항행을 토대로 대양 항공로에서 사용자가 선호하는 항공로를 선택하는 개념이었다. 개정된 제6차 항행계획에서는 이전의 운영개념보다 자유경로 운항(free route operations)을 통한 운항 효율성을 더욱 강조하였다. 자유경로 운항의 개념은 기존의 고정된 항공로 개념에서 벗어나 비행경로를 최적화할 수 있는 지점을 항공기 운영자가 선택하고 임의의 경로를 지정하여 비행하는 방식을 의미한다.

Table 6. APTA thread related to PBN

Block 구분	Thread 구성요소
Block 0 (2013~2018)	<ul style="list-style-type: none"> 수직안내(Baro-VNAV) 기능을 갖춘 항공기 성능을 이용한 계기접근절차 항공기 기본성능을 통한 SID/STAR ILS 불가능 지역에 SBAS/GBAS CAT-I 절차 도입 항공기 기본역량을 통한 CDO/CCO
Block 1 (2019~2024)	<ul style="list-style-type: none"> RNP AR 접근방식 도입 RNP AR 개념을 SID/STAR 절차에 도입 정밀도 높은 Vertical navigation 제공을 통한 CDO/CCO
Block 2 (2025~2030)	<ul style="list-style-type: none"> GBAS 기반의 CAT-II/III 접근절차 도입 APV 접근절차를 이용한 평행활주로 운영

출처: ICAO, GNAP Portal, <https://www4.icao.int/ganportal/>

FRTTO 스레드와 성능기반항행 이행계획은 공역 운영의 효율성 향상이라는 목적을 공유한다. 그러나 성능기반항행은 항공로의 설계와 항행요건을 중요시하는데 비해, FRTTO 스레드는 항공기 운항에 초점을 둔 공역의 효율성을 강조하고 항공로가 아닌 임의의 비행경로를 정의한다는 점에서 성능기반항행의 운영개념과 구별된다.

세 번째, NAVS 스레드는 이전 항행계획에는 포함되지 않고 CNS 기술구현과 다른 스레드의 운영개념을 지원하기 위해 제6차 항행계획에 새롭게 개발된 4개의 기술서비스 스레드 중 하나이다. 성능기반항행과 APTA 스레드의 ABAS·SBAS·GBAS 접근절차 개발과 운영을 위해 필요한 항행 인프라와 기술적 필요요건을 정의한다는 점에서 이들 계획은 밀접하게 연관되어 있다. 성능기반항행의 기본 개념은 항행 적용·항행요건·항행 인프라로 구성되는데 NAVS는 항행 인프라로서 성능기반항행 개념의 한 축을 담당한다. 그러나 NAVS는 접근절차 운영을 위한 필요요건에 한정되고 항공로 또는 터미널 출·도착절차에 대해서는 정의하지 않는 점에서 성능기반항행 이행계획과 차이가 있다.

항법시설을 포함한 통신과 감시시스템의 CNS 인프라 시설에 관한 전략적 계획은 기술개발 자체의 중요성뿐 아니라 항공교통 시스템의 운영목적과 개념을 고려해야 하고 국내·외 기술 수준, 항공교통 환경의 변화와 항공교통 참여자의 요구를 반영하여야 한다. 이러한 측면에서 우리나라는 국가항행계획 등 다른 계획과 별도로 국내외 환경과 여건 등을 반영한 항행안전시설 발전 기본계획(2021~2025)을 수립하여 추진하고 있다(MOLTI, 2021).

4.2 우리나라 국가항행계획(NARAE)²⁾

우리나라는 ICAO 제38차 총회(13.10월)에서 결의한 세계항행계획에 따라 두 차례에 걸쳐 국가항행계획을 수립하고 계획에 따라 항공교통 시스템 성능의 향상을 진행하고 있다. 첫 번째 국가항행계획은 제4차 세계항행계획의 프레임워크를 반영하여 '차세대 항공교통시스템 구축계획(NARAE)'이라는 타이틀로 발표하였다. 두 번째 국가항행계획은 첫 번째 항행계획 이후 두 차례에 걸쳐 수정·보완하고 제6차 항행계획의 프레임워크와 우리나라 항공교통 이해관계자의 의견을 적극 반영하여 '국가항행계획: NARAE'라는 제목으로 발표

2) 나래는 날개를 의미하는 우리말로, National ATM Reformation And Enhancement의 약어이다.

하였다(MOLIT, 2021).

제2차 국가항행계획은 ‘데이터·시스템 지원을 통해 끊임 없고 안전한 최적 비행 보장’을 비전으로 하고 이를 달성하기 위해 5개의 추진전략, 14개 주요 과제 그리고 43개 세부 과제를 설정하였다(Kim, 2022). 이번의 국가항행계획은 제6차 세계항행계획을 모델로 하면서도 추진전략과 이행 기간에서 차이를 두고 있다.

추진전략 측면에서 국가항행계획은 세계항행계획과 같이 스펙트럼의 3개 부문을 포함하고 인공지능(AI), 빅데이터 그리고 도심항공모빌리티(urban air mobility) 등 신기술 개발을 고려한 전략과제와 특별과제를 추가하여 5개 부문으로 설정하였다. 세부 추진과제 측면에서도 ICAO 계획의 22개 스펙트럼을 그대로 반영하지 않고 우리나라의 항공교통 시스템 성능을 고려하여 독자적인 과제를 개발하였다. 이러한 구별은 세계항행계획에서 정한 과제3)를 모든 권역과 국가에 적용할 필요가 없다고 한 제5차 세계항행계획뿐 아니라 글로벌 단위의 추진계획과 국가 단위의 계획을 구분한 제6차 항행계획 의도의 충분히 반영한 것이다(ICA0, 2016). 이행 기간 측면에서 국가항행계획은 추진 일정을 기간별로 정하지 않고 2025년까지의 연도 별로 구분하였는데 이는 추진 일정을 단계(block)별로 블록 0에서 블록 4까지로 구분한 세계 항행계획과 차이가 있다. 그러나 국가항행계획은 성과목표 기간을 단기(~24년)와 중장기(~42년)로 구분하고 있다는 점에서 계획의 지속성과 확장성을 고려하고 있는 것으로 볼 수 있다.

국가항행계획은 공역과 성능기반항행에 관련된 주요 추진과제로 3개 과제를 선정하였다. 첫 번째 ‘민·군 국제 협력을 통한 유연한 공역 운영’에서는 공역의 탄력적 사용과 한·중·일 공역의 활용 그리고 수도권 공역의 조정 등 5개 세부 과제를 추진한다. 이 과제들은 항공교통 수요의 증가에 대비하여 항공로 신설을 포함하여 공역의 수용 능력을 높이고 효율성을 향상하기 위한 계획으로 국토교통부와 국방부 간 협력을 토대로 한 공역의 효율성을 강조한다. 그러나 항공로와 터미널 공역의 비행절차 그리고 접근절차에 대해서는 언급하지 않고 항행요건에 대해서도 정의하지 않는다는 점에서 성능기반항행 이행을 고려한 계획이라고 하기는 어렵다.

두 번째 ‘위성을 통한 항행시스템·감시기능 향상’은 우리나라에서 개발한 위성기반보정시스템인 KASS(Korea augmentation satellite system)의 서비스

제공과 GBAS의 도입·운용을 위한 인증기술 개발 등 3개 세부과제를 추진한다. KASS와 GBAS 기술은 세계 항행계획의 NAVS 스펙트럼과 성능기반항행 이행계획에 간접적으로 연관되어 있다. 그러나 국가항행계획은 이 기술을 활용하고 적용한 항공로, 터미널 비행절차 또는 접근절차 개발에 관한 계획을 고려하지 않고 있다. APV-I 접근 절차와 공항 접근성 향상 등 KASS 기술과 정보서비스의 활용 가능성에 대해서는 제1차 항행 안전시설 발전 기본계획(2021~2025)에서 확인할 수 있다.

세 번째 ‘직선비행로 확대로 항공사 부담 경감’은 항공기 운전자 관점에서 운항 효율성을 강조하면서 조건부 항공로의 운영과 연속강하운항(CDO)/연속상승운항(CCO) 확대를 주요 계획으로 추진한다. 조건부 항공로는 공역이 탄력적 운영을 위한 개념이나 연속강하·상승운항은 세계항행계획의 APTA 스펙트럼 일부이면서 성능기반항행 이행을 위한 계획에도 포함되어 있다.

4.3 항행계획과 성능기반항행 이행계획의 비교 요약

지금까지 ICAO 세계항행계획과 우리나라 국가항행계획을 살펴보고 항행계획 내에서 성능기반항행에 관한 계획이 어떻게 구성되어 있는지 살펴보았다. 우리나라 국가항행계획을 포함하여 세계항행계획과 성능기반항행의 비교를 요약하면 다음과 같다.

첫 번째, 세계항행계획에서 가지는 성능기반항행의 기능과 역할 그리고 중요성은 시기에 따라 변화하였다. 성능기반항행이 세계적 이행과제로 주목받던 시기에는 성능기반항행 운영개념은 세계항행계획의 최우선 과제로 배치할 만큼 중요성과 역할이 인정되었다. 성능기반항행을 결의한 제36차 총회에서 제6차 세계항행계획을 승인한 제40차 총회까지 10여 년 동안 131개 회원국에서 성능기반항행 전환을 위한 계획을 수립하고 계획을 이행하였다(ICA0, 2022). 회원국들이 적극적으로 항공로와 터미널의 비행절차를 RNAV 또는 RNP 항행요건으로 전환하고 활주로나 APV 접근절차를 운영함으로써 성능기반항행은 점차 새로운 개념이 아닌 보편적이고 일반적 개념으로 인식되었다. 성능기반항행 이행의 결과는 세계항행계획과 항공교통 시스템의 발전을 위한 토대를 제공하였고 이러한 점에서 세계항행계획에서 성능기반항행이 차지하는 역할과 기능은 특

3) 제5차 세계항행계획에서는 스펙트럼별 추진과제를 모듈(Module)이라고 하였다.

정 범위로 한정될 수밖에 없다.

두 번째, 세계항행계획은 성능기반항행 이행과 추진 방향이 다르고 세계항행계획 내에서 성능기반항행에 관한 내용을 거듭 변경하였다. 제4차 개정 이후 세계항행계획은 방법적 프레임워크로 ASBU를 개발하였다. ASBU 형식과 구성요소는 정책·사회경제·기술환경 등 변화에 따라 동태적으로 변화하고 스레드의 계획과 필요요건도 변화하였다. 모든 세계항행계획은 성능기반항행의 운영개념과 관련된 스레드를 포함하고 있으나 일부 스레드 계획은 성능기반항행과 내용적 범위가 다르고 항행계획의 개정에 따라 형태와 성격이 달라졌다.

구체적으로 내용적 범위에서 성능기반항행 이행계획은 항공기의 출발·순항·도착·접근까지 비행단계 전체를 계획의 대상으로 하였으나 세계항행계획은 비행단계 일부로서 접근단계를 주요 대상으로 고려하였다. 기술적 범위에서 볼 때 성능기반항행은 항공로와 비행절차 등에 대한 성능과 항행요건에 대한 정의를 중요하게 고려하였으나 세계항행계획은 접근절차 외에는 항행요건 등에 대해 관심을 두지 않는다.

이러한 점에서 볼 때 성능기반항행과 세계항행계획 두 개의 계획이 하나의 계획으로 대체되거나 대신할 수 있는 관계는 아니다. 또한, 세계항행계획이 항공교통 시스템에 관한 거시적이고 포괄적인 계획이지만 ICAO가 여전히 성능기반항행의 이행과 기술개발을 진행하고 있는 것처럼 세부 부문에 대해 별도 계획을 수립하여 추진할 수 있다. 성능기반항행의 지속적 이행과 필요성은 앞으로 추진할 계획이 무엇인지 추가로 필요한 기술요건과 항행요건이 무엇인지에 따라 결정될 것이다.

V. 우리나라 성능기반항행의 발전과 제언

5.1 성능기반항행 이행계획의 의의

우리나라 성능기반항행 이행계획은 공역 효율성과 성능 향상을 위한 주요 정책으로써 공역의 처리능력을 높이고 환경에 대한 영향을 줄이며 공항의 접근성 향상을 도모하였다. 성능기반항행 도입과 전환을 통해 재래식 항공로와 비행절차를 항행요건이 지정된 성능기반으로 전환하여 성능기반항행의 이점을 활용한 새로운 방식의 도착절차를 도입·운영하고 항공로 간 분리간격을 축소하여 평행항공로를 설계하는 등 항공교통의 지속적 성장과 발전을 위한 토대를 구축하였다.

그러나 성능기반항행 이행계획에는 아직 이행이 완

료되지 않은 계획을 포함하여 현재 진행 중이다. 이행계획은 애초부터 종료 시점을 정하지도 않았다는 점에서 진행 상황과 대내외 여건 변화에 따른 변동성과 확장성을 고려하였다고 볼 수 있으나 현재 잔여 계획 외에 새로운 개발계획이 없는 기간의 연장은 의미가 없다. 성능기반항행 이행계획의 의의는 남아있는 과제와 새롭게 추진될 과제가 무엇인지에 따라 결정될 수 있다. 이행계획 중 아직 이행되지 않은 과제는 GBAS 접근절차의 도입과 활성화, RNP 항행요건의 도입 그리고 성능기반의 도입으로 사용되지 않은 재래식 항행안전시설의 퇴역이다. 새롭게 추진될 과제는 한국형 SBAS 서비스에 따른 APV-I/II 접근절차의 도입과 성능기반항행 매뉴얼의 개정에 따른 새로운 기준의 도입 등을 고려할 수 있다.

5.2 성능기반항행 이행계획의 발전 방향

성능기반항행 계획 중 이행되지 않은 과제와 이행에 필요할 것으로 예상되는 과제를 국가항행계획과 항행안전시설 발전 기본계획 등 다른 계획과의 관계에서 살펴보면 다음과 같다.

첫 번째는 GBAS 접근절차의 도입이다. 세계항행계획은 운항 효율성을 위해 GBAS 접근절차의 개발과 도입을 강조하고 있으나 CAT-III까지 지원이 가능한 계기착륙시설(ILS)을 운영 중인 우리나라는 GBAS 도입을 적극적으로 추진하기보다는 세계 기술 동향과 핵심 기술 확보 등을 고려하여 추진하는 반면 공항 접근성 향상을 위한 방안으로 ILS 시설의 등급 상향을 지방의 주요 공항으로 확대할 계획이다(MOLIT, 2021).

이는 국제적으로 GBAS 성능이 ILS CAT-III의 성능 수준에 미치지 못하는 상황에서 우리나라 항공교통 상황과 시스템의 성능개선을 고려한 적절한 방안이 될 수 있다.

두 번째는 RNP 항행요건의 도입이다. RNP 항행요건은 지상의 항행안전시설을 이용하지 않고 오로지 GNSS를 기반으로 비행하는 방식으로 이를 위해서는 GNSS 신호의 무결성, 정확성 등이 확보되어야 한다. 그러나 GNSS 신호 교란에서 경험하였듯이 우리나라의 특수한 상황을 고려할 때 현재는 항공 안전 보장을 위해 RNAV 항행요건의 사용이 바람직하다. 그러나 터미널 공역에서 RNP 항행요건의 이점을 고려할 때 점진적으로 도입과 확대를 검토할 필요는 있다.

세 번째는 지상 항행안전시설의 퇴역과 철거에 관한 계획이다. 우리나라 공역에서 성능기반항행의 기본 항

행요건을 RNAV로 운영하는 경우 지상 항행안전시설을 철거하는 것은 정확한 검증과 검토가 필요하다. 거리정보를 제공하는 DME 또는 TACAN과 같이 RNAV 1과 2 성능을 지원하는 항행안전시설에 대해서는 더욱 그러하다. 또한 항공로에 대한 성능기반항행의 적용을 의무화하지 않은 상황에서 재래식 항공로를 구성하는 VOR의 철거를 계획하는 것은 적절하지 않다. 이러한 점에서 지상 항행안전시설의 운영계획에 대해서는 성능기반항행과 공역 정책에 따라 결정되어야 하며 다른 계획들 사이의 이해관계를 고려할 때 항행안전시설 발전 기본계획에 포함하여 추진하는 것이 적절하다.

성능기반항행 계획에서 이행되지 않은 과제를 살펴볼 때 추진 일정과 내용을 포함한 계획을 구체화하기 어려워 남은 과제를 중심으로 한 성능기반항행 계획의 지속적인 유지는 필요하지 않을 수 있다. 앞으로 추진해야 하는 과제를 살펴보면 다음과 같다.

첫 번째, 성능기반항행 이행계획은 2022.6월에 발사한 한국형 위성항법보정시스템(KASS)의 서비스를 고려한 접근절차 APV-I/II의 개발이 포함되어야 한다. 국가항행계획은 이 계획을 포함하지 않았으나 공항별로 취항하는 항공기의 운항성과 접근절차의 현황을 고려하여 도입 계획을 마련해야 한다. SBAS를 이용하는 접근절차의 도입에 따라 기존에 운영되던 LNAV 접근절차와 APV-Baro 접근절차인 LNAV/VNAV 접근절차를 새로운 접근절차로 대체하는 계획도 고려해야 한다.

두 번째, ICAO는 A-RNP 항행요건을 새롭게 개발하고 정의하고 자유경로(Free Route)에 대한 성능기반항행의 정의 그리고 RNAP AR 출발절차 등을 포함한 제5차 성능기반항행 매뉴얼 개정을 준비 중이다(ICAO, 2022). 성능기반항행에 관한 ICAO의 새로운 기술기준은 우리나라 성능기반항행 이행계획에 포함되어 추진될 수 있을 것이다. 이외에도 앞으로 추진되어야 하는 계획 중에는 국가항행계획에 포함된 계획이지만 연속강하/연속상승운항, 조건부 항공로 확대 그리고 민군협력을 통한 탄력적 공역이 있으며 자유경로 공역의 지정에 대한 계획도 포함하여 성능기반항행 계획으로 추진할 수 있다.

이와 같은 계획을 포함하여 성능기반항행 이행계획을 새롭게 업데이트하고자 하는 경우 먼저 국가 항행계획과 통합하여 하나의 계획으로 추진하는 방안을 생각해볼 수 있다. 국가항행계획은 궁극적으로 항공기의 안전하고 경제적이며 효율적인 운항을 목표로 하며 항공

교통 시스템의 각 부문을 망라하여 통합적이고 균형적인 발전을 추구하는 종합계획이다. 성능기반항행 이행계획의 기본목표는 국가항행계획과 동일하나 국가항행계획과 달리 공역의 효율성과 공역의 성능 향상이라고 하는 구체적이고 세부적인 측면에 집중한다는 점에서 차이가 있다.

다른 나라도 유사한 환경이나 우리나라 공역 환경의 특수성을 고려할 때 공역에 대한 정책은 더욱 중요한 부문이다. 좁은 공역에 다양한 사용자의 요구를 충족시키면서 항공 교통량을 처리하기 위해 공역은 더욱 효과적으로 관리되고 운영되어야 하며 국가항행계획에 선행하여 새로운 계획을 발굴하고 제시할 수 있는 공역에 관한 기본정책이 필요하다. 지금까지 국토교통부와 국방부는 공역 체계와 구조를 변경하기 위한 연구를 수행하였으나 정책으로 발전하지는 못했다. 성능기반항행 이행계획은 이전의 연구와 달리 정책으로서 성공적으로 추진되었으며 ICAO가 계속해서 관심을 두는 한 앞으로도 공역 정책으로서 역할을 담당할 수 있을 것이다. 다만 지금까지 성능기반항행 이행계획은 항행요건 전환을 위한 항공로와 터미널 비행절차의 개발 그리고 기술적 요건에 치중하였으나 정책으로 역할을 담당하기 위해서는 기술적인 측면과 함께 정책적인 측면을 강조해야 한다.

이러한 점을 종합적으로 고려할 때 성능기반항행 이행계획은 우리나라의 공역 정책을 위한 기본계획으로 새롭게 업데이트되고 대내외 환경이 요구하는 계획을 포함하여야 한다. 업데이트되는 계획에는 다음과 같은 성능기반항행과 관련된 과제와 공역 운영에 관한 사항이 포함될 수 있다.

- 민군 공용 공항에 대한 성능기반항행 확대 적용
- 위성항법보정시스템(KASS)을 활용한 APV I 접근절차의 도입과 CAT-I 수준의 APV II 접근절차 개발
- A-RNP를 포함한 RNP 항행요건의 점진적 도입
- 직진입 접근절차가 없는 일부 공항에 대해 RNP AR 접근절차 도입
- 장기적으로 GBAS를 이용한 접근절차 도입을 위한 연구개발
- KASS의 위치정보의 축적을 통한 공역 내 SBAS 항공로 설계기준 개발 및 적용
- 연속강하/연속상승운항(CDO/CCO)을 지방 공항으로 확대
- 탄력적 공역 운영을 위한 조건부 항공로(CDR) 확대

- 궤적기반운항(trajjectory based operations)을 위한 자유경로 비행 구역의 지정
- 국내 공역에 대한 성능기반항행 의무화 지정

VI. 결 론

본 연구는 성능기반항행이 우리나라에 도입 이후 10여 년이 지난 시점에서 성능기반항행 계획에 따른 이해 과정을 살펴보고 성과를 평가하였다. 우리나라는 제36차 ICAO 총회 결의에 따라 '09.12월에 성능기반항행 이행계획을 수립하여 ICAO 아태사무소에 제출하였다. 제출한 이행계획은 단기(2010~2012)와 중기(2013~2016) 그리고 장기(2017~)로 구분되었으며 각 단계는 항공로(en-route)와 터미널(terminal) 출발·도착절차 그리고 접근절차 등 세 개 부문으로 나누어 전국의 공항과 공역에 점진적으로 확대하는 것으로 계획되었다.

2010년 시범 도입을 시작으로 우리나라는 지속적인 성능기반항행 사업을 통해 공항(출·도착절차 및 접근절차)과 항공로에 대한 전환을 적극적으로 이행하였다. 이행계획과 비교했을 때 GBAS 접근절차의 도입, RNP 1 성능의 출발·도착절차 그리고 RNP 2 성능의 항공로 도입은 이루어지지 않았으나 국제기술 동향과 GNSS 교란 등 상황과 여건을 고려할 때 실질적으로는 계획을 완료하였다고 평가할 수 있다.

성능기반항행의 이행을 통한 성과는 가시적인 산출 결과 외에 성능(performance) 기반이라는 새로운 운영개념을 항공교통에 도입·적용함으로써 공역과 항공로 특성뿐 아니라 항공교통관리(ATM)의 패러다임을 전면적으로 전환하였다는 점에서도 찾을 수 있다. 성능기반항행 이행은 진보된 항행성능을 기반으로 공역의 탄력성과 항공에서의 정밀성을 높였으며 공항에서 접근성을 개선하여 항공교통 시스템의 발전을 위한 토대를 구축하였다. 또한 재래식 항공로와 비행절차를 항행요건이 지정된 성능기반으로 전환함으로써 성능기반항행의 이점을 활용한 새로운 방식의 도착 절차를 도입·운영하고 항공로 간 분리 간격을 축소하여 평행항공로를 설계하는 등 항공교통의 지속적 성장과 발전을 위한 토대를 구축하였다.

그러나 성능기반항행 이행계획이 진행되는 동안 ICAO는 제4차 항행계획을 개정하고 ASBU를 발표하였다. 세계항행계획은 국제적으로 상호운영이 가능하고 조화로운 항공교통 시스템 구축을 위한 전략이며

ASBU는 세계항행계획을 달성하기 위한 구체적인 방법이다. 우리나라는 ICAO 세계항행계획에 따라 공역을 포함한 국내 항공교통 시스템의 성능을 개선하기 위한 국가항행계획을 수립하였다.

본 연구는 국가항행계획이 진행되고 성능기반항행의 이행계획의 완료되는 상황에서 이들 계획의 목표와 세부 특성을 비교하고 해외의 동향을 파악하여 성능기반항행의 발전 방향을 제시하였다. 국가항행계획과 성능기반항행 이행계획은 공통적으로 항공기의 안전하고 경제적이며 효율적인 운항을 추구한다. 그러나 국가항행계획은 운항의 효율성을 강조하면서 내용적으로 성능기반항행에서 계획하였던 일부를 포함하여 항공교통 시스템의 각 부문을 망라한 통합적이고 균형적인 발전을 추구하는 종합계획이다. 성능기반항행 계획은 공역의 개선과 성능 향상에 초점을 두고 항공교통 시스템의 발전을 지원한다는 점에서 차이가 있다.

우리나라의 공역은 주변 국가와 비교하여 매우 협소하고 특수한 정치적·군사적 상황에 놓여 있다. 이러한 상황에서 공역에 대한 장기적 정책과 계획은 더욱 중요하고 필요하다. 성능기반항행은 공역에 대한 정책으로서 기능과 역할을 충분히 수행하였으며 앞으로도 그 역할을 담당할 수 있을 것이다. 그러기 위해서는 성능기반항행 이행계획은 국가항행계획에 선행하여 새로운 계획을 발굴·제시하여야 하며 지금까지의 기술적 측면뿐 아니라 정책적 측면까지 고려한 계획을 수립하여야 할 것이다.

References

1. International Civil Aviation Organization, "Doc. 9613, Performance based Navigation (PBN) Manual", ICAO, 2013, pp.1-(iii)-1-(vi).
2. European Organization for the Safety of Air Navigation, "Introducing Performance Based Navigation(PBN) and Advanced RNP(A-RNP)", Eurocontrol, 2013, p.4.
3. Federal Aviation Administration, "Establishment of Area Navigation Routes(RNAV)", Federal Register, May. 09, 2003, <https://www.federalregister.gov/documents/2003/05/09/03-11638/establishment-of-area-navigation-routes-rnav>
4. European Organization for the Safety of Air

- Navigation, "The Problem that PBN Solved", Eurocontrol Performance based Navigation, Jul. 08, 2022, <https://pbnportal.eu/epbn/main/Overview-of-PBN/The-Problem-that-PBN-Solved.html>
5. International Civil Aviation Organization, "Doc. 9902, Assembly Resolutions in Force", ICAO Assembly 37th Session, ICAO, 2007, pp.102-103.
 6. ICAO PBN/TF, "Report of the Sixth Meeting of the Performance based Navigation Task Force(PBN/TF/6)" ICAO Asia/Pacific Office, 2010, pp.14-15.
 7. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "State PBN Plan and Status of PBN Implementation Progress", APAC Sixth Meeting of the Performance based Navigation, 2010, pp.1-3.
 8. Federal Aviation Administration Newsroom, "PBN NAS Navigation Strategy 2016", Aug. 27, 2021, <https://www.faa.gov/newsroom/pbn-nas-navigation-strategy>
 9. International Civil Aviation Organization, "Doc. 9997, Performance-based Navigation (PBN) Operational Approval Manual", ICAO, 2015.
 10. Australia Civil Aviation Safety Authority (CASA), "PBN Implementation Plan Version 1", 2010, pp.2-28.
 11. European Union, "Commission Implementing Regulation(EU) 2018/1048 of 18 July 2018, laying down airspace usage requirements and operating procedures concerning performance-based navigation", Official Journal of the European Union, EU, 2018, pp.1-6.
 12. France Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), "Plan PBN France", DGAC, 2012, pp.1-20.
 13. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Performance Based Navigation Implementation Plan", Korea Office of Civil Aviation, Jul. 12, 2022, [http://koca.go.kr/](http://koca.go.kr/koca/forwardPage.do?pageUrl=eService&choice=tab_1)
 14. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "A Study on Performance-Based Navigation (PBN) Flight Procedures and Airspace Efficient Operation", 2021, pp.102-107.
 15. Park, J. H., Goo, S. K., and Baik, H. J., "Assessment of flight operational efficiency before and after dualizing an air route", 69th Conference of Korean Society of Transportation, Korean Society of Transportation, Gongju, Oct.25-26,2013, pp.592-595.
 16. Jeong, I. H., "Application of a fast-time simulation model in designing point merge arrival procedure", MSc Thesis, Korea Aerospace University, 2013. 2.
 17. Oh, Y. J., "North Korea's GPS jamming caused damage to civilian and military equipment for three years", Yonhapnews, Oct. 9. 2013, <https://n.news.naver.com/mnews/article/001/0006525556>
 18. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "The 3rd Performance Based Navigation (PBN) Transition Service Final Report", MOLIT, 2012, pp.139-206.
 19. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "The 4th Performance Based Navigation (PBN) Transition Service Final Report", MOLIT, 2013, pp.274-336.
 20. Zhang, N., "ICAO's global air navigation plan", ICAO, Dec. 8, 2017, https://www.icao.int/airnavigation/Documents/GANP_at_glance_flyer.pdf
 21. International Civil Aviation Organization, "Doc. 9750 5th Edition, Global Air Navigation Plan 2016-2030", ICAO, 2016, pp.1-31.
 22. International Civil Aviation Organization, "Doc. 9750 3rd Edition, Global Air Navigation Plan", ICAO, 2007, pp.iii-iv.
 23. International Civil Aviation Organization, "Doc. 9854 1st Global Air Traffic Management Operational Concept", ICAO, 2005,

- pp.iii-iv.
24. International Civil Aviation Organization, "Doc. 9750 4th Edition, Global Air Navigation Plan 2013-2028", ICAO, 2016, pp.1-31.
 25. Park, B. M., and Kim, J. H., "A study on implementation trend of aviation system block upgrades (1)", Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 24(2), 2016, pp.74-80.
 26. Civil Air Navigation Services Organisation, "Introduction to the Aviation System Block Upgrade (ASBU) Modules-Strategic Planning for ASBU Modules Implementation", CANSO, 2014, pp.6-7.
 27. International Civil Aviation Organization, "ICAO GANP Portal", ICAO, Jul. 08. 2022, <https://www4.icao.int/ganportal/>
 28. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "The 1st Plan for the Development of Radio NAVAIDS", MOLIT, 2021, pp.1-74.
 29. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "National Air Navigation Plan: NARAE (National ATM Reformation and Enhancement)", MOLIT, 2021, pp.1-33.
 30. Kim, J. H., "A study on the prioritization and application of ICAO global aviation navigation plan performance objectives", MSc Thesis, Korea Aerospace University, 2022. 8.
 31. International Civil Aviation Organization, "PBN implementation tracking", ICAO, Jul. 08. 2022, <https://www.icao.int/safety/pbn/pages/pbn-implementation.aspx>
 32. Knowles, L., and Tsuruzono, T., "ICAO-IATA PBN Webinar, Updated to the PBN Manual Edition 5", ICAO, Jul. 10. 2022, <https://www.icao.int/safety/OPS/OPS-Section/Pages/PBNWebinar.aspx>