

GNSS를 이용한 계기비행절차(RNAV_{GNSS}) 설계 기술동향

글 / 김 필 수 pskim@kari.re.kr

한국항공우주연구원 항공우주안전·인증센터 항공인증팀

초 록

3차원의 공간을 비행하는 항공기의 항행은 조종사가 직접 지상의 지형지물을 참조하며 비행하는 시각비행과 지상의 항행안전시설로부터 무선신호를 받아 비행하는 계기비행으로 구분되어 발전되었다.

현재 계기비행을 수행하기 위한 계기비행절차 수립에 기반이 되는 항행안전무선시설은 기존의 VOR(VHF Omni-directional Range), ILS(Instrument Landing System) 등의 지상기반 항행안전무선시설에서 GNSS(Global Navigation Satellite System)를 이용한 위성기반 항행으로 전환을 목표로 하고 있으며 항행체제 또한 기존의 Fix to Fix 항행체제에서 RNAV(Area Navigation) 체제로 전환되고 있는 추세이다.

계기비행절차는 항공기가 활주로를 이륙하여 항로로 진입하기 위한 계기출발절차(SID), 항로절차(Enroute), 항로에서 목적 공항의 지정된 활주로에 설정된 접근절차(Approach)로 인도하는 도착절차(STAR), 지정된 활주로에 착륙하기 위한 접근절차로 구분될 수 있으며 본문에서는 GNSS를 기반으로 하는 RNAV 절차(RNAV_{GNSS})에 대한 개괄적인 소개, 설계요건 및 RNAV_{GNSS} 계기비행절차를 성공적으로 이행하기 위한 절차이행모델, RNAV_{GNSS} 절차 수립에 중요하게 고려해야할 사항 등에 대하여 소개하도록 한다.

주제어 : 계기비행, 계기비행절차, 위성항행, SID, STAR, RNAV, GNSS

1. 서 론

1.1 서 론

3차원의 공간을 비행하는 항공기의 항행은 조종사가 직접 지상의 지형지물을 참조하며 비행하는 시각비행과 지상의 항행안전시설로부터 무선신호를 받아 비행하는 계기비행으로 구분되어 발전되었다.

계기비행을 위한 항행 시설은 VOR(VHF Omni-directional Range), NDB(Non-directional Radio Beacon), ILS(Instrument Landing System) 등의 지상기반 항행안전 무선시설을 거쳐 최근에는 GNSS

(Global Navigation Satellite System)를 사용하는 위성기반 항행방법으로 발전하고 있는 추세이다.

이에 따라 국제민간항공기구(ICAO¹⁾)와 미국 연방항공청(FAA²⁾)에서는 위성기반 항행을 위한 계기비행절차설계(Procedure Design) 기준을 제시하고 있으며 현재 계기비행절차설계를 위한 설계기준은 크게 ICAO에서 발행하는 PANS-OPS (ICAO Doc 8168 PANS-OPS Vol II) 기준과 FAA에서 발행하는 TERPs (Terminal Instrument Procedures)기준으로 구분되어있다.

1) ICAO : International Civil Aviation Organization

2) FAA : Federal Aviation Administration

계기비행절차는 계기비행을 하는 항공기에 대해 경로에 대한 Track guidance를 제공하고 지상 장애물에 대한 최소 일정수준 이상의 거리(MOC³⁾)를 보장함으로써 안전한 항공기 운항을 피하는데 그 목적이 있으며 계기비행절차설계는 위에서 언급한 계기비행절차를 해당 기준을 만족하도록 절차를 구성하는 것을 말한다.

현재 우리나라에서는 ICAO PANS-OPS와 FAA TERPs 기준을 국내 각 공항별로 적용하고 있으며 본문에서는 ICAO PANS-OPS 기준에서 제시하는 GNSS를 사용한 계기비행절차인 RNAV_{GNSS} 절차에 대하여 고찰하도록 하겠다.

1.2 GNSS 체제로의 전환

우리나라의 경우, 현재 우리나라 관제공역인 인천 FIR(Flight Information Region)의 대부분이 레이더 감시범위 내에 있으며 국내 곳곳에 설치된 향로용 VOR로서 항공로 네트워크를 구성하고 있다. 또한 설치된 향로용 VOR들은 우리나라 인천 FIR 대부분의 지역을 통달거리 안에 두고 있다. 더불어 각 공항은 이착륙 항공기를 위하여 터미널 VOR이 설치되어 있고 거의 대부분의 공항에 ILS도 설치되어 있는 상태로서, 항공기 항행을 위한 국가 항행인프라는 세계 최고의 수준이라고 할 수 있다. 그러나 우리나라 전국에 설치되어 있는 VOR, ILS 등의 지상기반 항행 안전무선시설이 수명을 다하여 도태단계 및 GNSS로 체제 전환을 피하는 세계적 추세에 발맞추어 국가 항행체제를 GNSS 기반 RNAV(Area Navigation) 방식으로 전환하는 것에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것이다.

현재의 재래식 지상기반 항행안전무선시설에서 GNSS 기반 RNAV 방식으로 국가 항행체제가 변경되는 경우 다음과 같은 이점을 예상할 수 있다.

- 안전성향상 : GNSS 비정밀접근절차의 구축에 따라 현재의 지상기반 항행안전무선시설 기준으로 구축된 절차 대비 조종사에게 향상된 위치인식이 가능하게 되며 재래식 비정밀접근

절차 대비 안정된 강하를 가능하게 해준다. 이를 통해 공항주변에서 일어날 수 있는 CFIT (Controlled Flight Into Terrain) 사고 경감에 효과적일 수 있을 것이다.

- 항행능력 향상 : 유사한 재래식 절차와 비교했을 경우 많은 사례에서 GNSS를 이용한 절차가 운항 최저치 또는 착륙 최저치 등이 낮아지는 효과가 있으며 이를 통하여 지연운항이나 교체공항으로의 회항 등의 사례를 감소시킬 수 있을 것이다.
- 효율성 증대 : GNSS 접근절차는 기존의 재래식 절차에 비해 최적화된 경로 구성을 추구할 수 있으며 이로 인하여 운항시간 단축 및 운항비용절감을 추구할 수 있다.
- 국제적인 사용 : GNSS 항행체제로의 전환은 국제적인 화두이며 현재 항공기에 장비된 여러 가지 지상기반시설에 대응하는 수신기를 통합하여 대체할 수 있을 것이다.
- 원격지에서의 사용 : GNSS 체제는 지상기반 항행안전무선시설이 충분치 못한 내륙지방이나 대양지역을 운항하는 항공기에 대하여 정확한 항행정보를 제공함으로써 안전한 항행을 추구할 수 있으며 국가적으로는 최적화된 공역구성 및 향로설계를 추구할 수 있을 것이다.
- 향로설정의 유연성 향상 : 공항지역의 지형이나 소음규제에 영향을 많이 받는 계기출발(SID⁴) 절차 설계에 유연성을 제공하여 최적화된 출발 절차 경로를 설계할 수 있으며 이로 인하여 재래식 절차와 비교하여 항공기 운항에 대하여 더 낮은 상승률 및 더 높은 유상하중을 제공할 수 있다.
- 정확한 접근절차 수행 : 공항에 추가적인 인프라 구축 없이 기존의 재래식 비정밀접근절차에 비해 좀 더 정확한 수직정보를 제공할 수 있으므로, 항공기 운항안전을 추구할 수 있다.
- 재래식 지상기반 항행안전무선시설의 폐쇄 : 앞으로 운영 수명이 다하여 점진적으로 폐쇄되는 지상기반항행안전무선시설을 교체하기 위한 교체비용이 감소하는 효과를 얻을 수 있을 것이다.

3) MOC : Minimum Obstacle clearance

4) SID : Standard Instrument Departure

2. RNAV_{GNSS} 절차

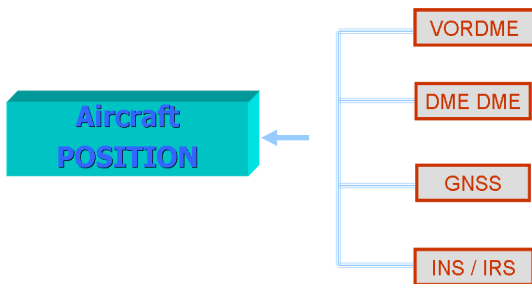
2.1 RNAV_{GNSS} 절차 개요

계기비행절차는 크게 Departure(SID), Enroute, Arrival(STAR⁵⁾), Approach로 구분되며 다시 각각의 절차는 지상기반 항행안전무선시설을 사용하여 설계하는 재래식 절차와 RNAV 절차로 구분되어진다. 여기서 RNAV 절차는 다시 지상기반항행안전무선시설을 기반으로 설계되는 방식과 GNSS를 기반으로 설계하는 방식으로 구분되어진다.

현재 GNSS를 이용한 RNAV_{GNSS} 절차는 위에서 언급한 모든 비행단계에 적용 가능하도록 설계기준이 제시되어 있는 상태이다.

접근단계(Approach phase)에서의 계기비행 절차의 경우, 크게 Lateral Deviation정보를 제공하는 비정밀접근(Non-Precision Approach)과 Lateral Deviation 정보와 최종구간(Final segment)에서 Vertical Deviation 정보를 제공하는 정밀접근(Precision approach)로 구분되어지며 GNSS 계기비행절차는 비정밀접근절차인 Basic GNSS가 실용화되어 운영되고 있고 정밀접근절차인 GBAS (Ground-based Augmentation System) CAT-I(Category I) 절차가 실용화 단계에 임박해 있다.

이외에도 정밀접근과 유사하게 Vertical deviation 정보를 제공하나 그 정밀도가 CAT-I에는 아직까지 미치지 못하는 SBAS(Satellite Based Augmentation System)) 적용 절차 중 하나인 APV I/II(Approach with Vertical Guidance I/II) 절차도 제시되어 있다.



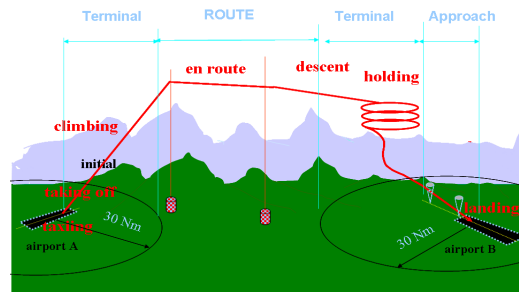
자료출처 : PROCEDURE DESIGN CRITERIA ppt자료
 그림 1. 일반적인 RNAV 기반 시설

2.2 GNSS 항행체계

RNAV_{GNSS} 계기비행절차를 수행하기 위한 GNSS 항행체계는 다음과 같이 Space segment, Ground segment, Airborne segment로 구성되어진다.

- 1) Space segment : Satellite Vehicles(SV)
- 2) Ground segment : Monitoring Station, Master Station
- 3) Airborne segment : GNSS Receiver, Navigator, Database, Integrity monitoring

특히, 항공기 측면에서는 승인된 GNSS 수신기가 장착되어야 하며 본 GNSS 수신기는 Accuracy, Integrity, Availability, Continuity의 4가지 파라미터로 규정되어지는 GNSS 요구성능을 만족하여야한다. 이와 같이 승인된 GNSS 수신기 운용모드는 그림 2와 같이 Enroute, Terminal, Approach 모드로 구성되어 운영된다.



자료출처 : PROCEDURE DESIGN CRITERIA ppt 자료
 그림 2. 일반적인 GNSS 수신기 모드

- 1) Enroute mode : 비행계획상의 목적공향으로부터 30NM 외부의 범위에서 적용된다.
- 2) Terminal mode : 목적공향으로부터 30NM 이내에서 적용되며 FAWP(Final approach waypoint)이전에 종료된다.
- 3) Approach mode : FAWP 2NM 이전에 시작되며 MAWP(Missed approach waypoint) 이후 다시 Terminal mode로 전환된다.

또한, 2.3항과 같은 Path Terminator로 코딩된 각각의 RNAV_{GNSS} 절차의 WPT(Waypoint)를 인식하여 운용하기 위한 Database가 구축되어 있어야 하고,

5) STAR : Standard Terminal Arrival Routes

Turn Anticipation 및 WPT Transition/Sequencing에 적절하게 대처할 수 있는 항행능력을 구비하여야 한다. 이와 더불어, GNSS 신호의 Integrity를 감시할 수 있는 기능이 추가되어야 한다.

2.3 Path Terminator

Path Terminator는 항공기 항법 시스템 소프트웨어를 지원하기 위한 것으로 컴퓨터 기반의 항행시스템에 사용될 수 있도록 코드화 된 비행경로를 Departure, Arrival, Approach 등의 절차설계에 적용하게 되었으며 주로 FMS(Flight Management System) 등의 항공기 경로 데이터베이스 코딩에 이용된다.

표 1. Path Terminator의 종류 및 적용

Leg 형태	Conv.	RNAV	RNP
IF : Initial fix	○	○	○
TF : Track to fix	○	○	○
RF : Radius to fix	×	×	○
DF : Direct to fix	○	○	○
FA : Fix to altitude	○	○	○
CF :Course to fix	○	○	○
HF : Hold to fix	○	○	○
HA : Hold to altitude	○	○	○
HM : Hold to manual termination	○	○	○
PI : Procedure turn to interception	○	×	×
CA : Course to altitude	○	×	×
CI : Course to next leg intercept	○	×	×
CD : Course to a DME distance	○	×	×
CR : Course to a radial intercept	○	×	×
FC : Fix to a distance on course	○	×	×
FD : Fix to a DME distance	○	×	×
FM : Fix to a manual termination	○	×	×
AF : Arc to a fix	○	×	×
VD : Heading to DME distance	○	×	×
VA : Heading to altitude	○	×	×
VM : Heading to manual termination	○	×	×
VI : Heading to next leg intercept	○	×	×
VR : Heading to radial; termination	○	×	×

각각의 Path terminator는 두개의 알파벳 문자로 구성되며 각각의 알파벳 문자는 항공기가 항행하는 경로의 시작지점에서 특정지점 또는 경로가 종료되는 지점까지 그 경로의 성격을 규정한다.

현재 ICAO에서 규정하고 있는 Path Terminator는 표1과 같이 총 23종이 제시되어 있으며 각 Path terminator의 특성에 따라 기존의 Fix to Fix 방식의 Conventional procedure, 지역항법 개념의 RNAV 절차 또는 RNP(Required Navigation Performance) 절차에 각각 적용된다.

3. RNAV_{GNSS} Departure 절차설계

3.1 RNAV_{GNSS} Departure 절차

RNAV_{GNSS} Departure는 일반적으로 Departure Track의 Alignment 조건에 따라 Straight Departure와 Turning Departure로 구분되어 진다. 또한 RNAV_{GNSS} Departure를 수행하기 위해서는 항공기에 탑재된 GNSS 수신기가 다음과 같은 성능을 만족하여야한다.

- 1) Terminal mode : 30NM 이전
 - Display sensibility : 1.0NM
 - RAIM alarm limit : 1.0NM
- 2) Enroute mode : 30NM 이후
 - Display sensibility : 5.0NM
 - RAIM alarm limit : 2.0NM

3.2 Straight Departure

Straight Departures는 Departure Track이 활주로 중심선으로부터 첫 번째 WPT까지 15°이하로 Diverges되는 경우 적용된다.

그림 3과 같이 적용구역(Area)은 DER (Designated end of runway)에서 1.9NM까지 15°각도로 벌어지고 이후 30NM까지 Terminal mode 구역인 경우, 구역너비의 반(W/2)은 5.0NM의 너비를 유지하며 Enroute mode 구역인 경우, 구역너비의 반(W/2)

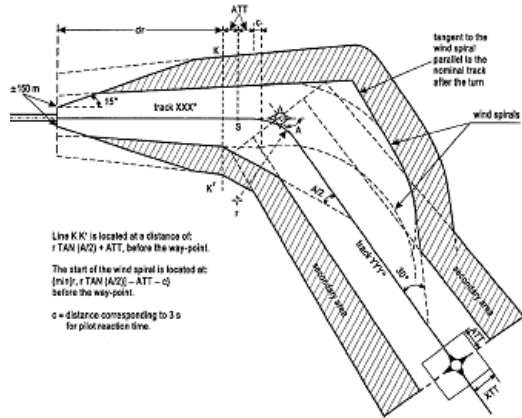
은 8.0NM의 너비를 유지한다. 이때 적용구역에는 2차 구역(Secondary Area)이 적용된다.

3.3 Turning Departure

Turning Departures는 Departure Track이 활주로 중심선으로부터 첫 번째 WPT까지 15°이상으로 Diverges되는 경우 적용되며 WPT 성격에 따라 다음과 같이 구분된다.

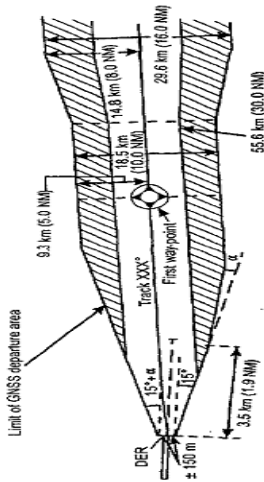
- 1) Fly-by WPT에서의 선회
- 2) Fly-over WPT에서의 선회
- 3) 지정된 Altitude/Height에서의 선회

일반적인 Turning Departure 절차의 경우, Turn anticipation이 적용되며, 선회 시작 전(Earliest TP⁶⁾)까지는 RNAV_{GNSS} Straight Departure기준이 적용된다. 선회에 따른 바람의 영향(Wind Spiral)은 1차 구역(Primary Area) 외부 경계에서 구성되며 30NM이전 구역너비의 반(W/2)은 5.0NM, 30NM 이후에는 8NM이 각각 적용된다.



자료출처 : ICAO Doc 8168 Vol II, 2004

그림 4. RNAVGNSS Turning Departure의 구성 (Fly-by WPT에서의 선회)



자료출처 : ICAO Doc 8168 Vol II, 2004

그림 3. RNAVGNSS Straight Departure의 구성

4. RNAV_{GNSS} Arrival(STAR) 절차설계

4.1 RNAV_{GNSS} Arrival(STAR) 절차

Arrival Route(STAR)는 항공기가 운항하는 Enroute Structure와 접근단계가 시작되는 Initial Approach Segment가 상호 직접적으로 연결될 수 없는 경우에 이를 상호 연결하기 위하여 수립된다.

Arrival Route의 구역 구성은 RNAV_{GNSS} 접근절차에서 적용되는 기준(이때 W/2는 2XTT⁷⁾ 적용)이 적용되며 그림 5와 같이 1차 구역(Primary Area)과 2차 구역(Secondary Area)으로 구성된다. Arrival Route의 길이는 ARP⁸⁾로부터 IAWP 위치까지의 거리를 30NM을 기준으로 GNSS Enroute mode기준 적용과 Terminal mode 기준 적용으로 구분하여 구성하며 구역너비는 30NM지점에서 30°의 각도로 수립되어 Initial Approach Segment너비와 접하도록 구성된다.

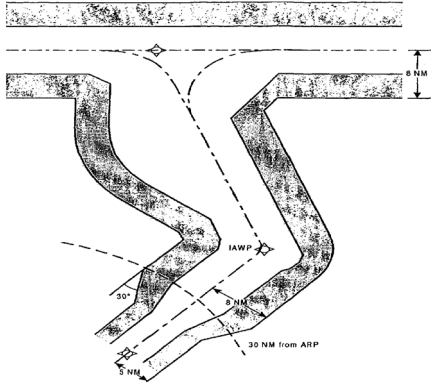
이때, 지역 내 장애물과 해당 구간의 최저고도 사이의 수직적인 최소 장애물과의 거리인 MOC는 1차 구

6) Earliest TP(Turn Point) : WPT Tolerance Area 구성에 있어 항공기 수신기가 해당 WPT를 인지할 수 있는 최초 위치이며 이에 따라 항공기 선회가 가장 먼저 일어날 수 있는 지점이다. 이때, Fly-by WPT 기준으로 $r \cdot \tan(A/2)$ 에 ATT(Along track tolerance)를 더한 지점이 Earliest TP로 규정된다.

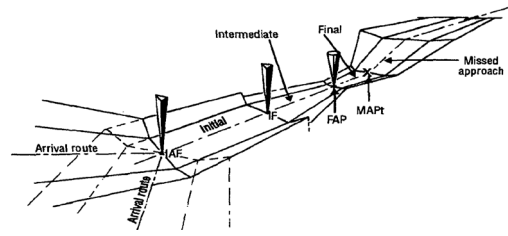
7) XTT: Cross Track Tolerance이며 RNAV 절차 기준 XTT의 경우, 1NM의 Pilot tracking tolerance, 즉 FTT(Flight Technical Tolerance)가 적용된다.

8) Airport Reference Point

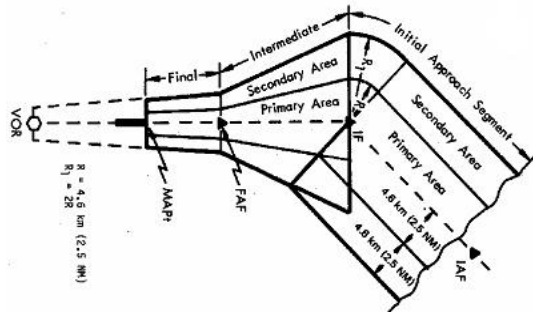
역(Primary Area)의 경우 300M(984ft), 2차 구역 (Secondary Area)의 경우 300M에서 0M까지 균등하게 적용된다.



자료출처 : ICAO Doc 8168 Vol II, 2004
그림 5. GNSS Arrival (30NM이상)의 구성



자료출처 : ICAO Doc 8168 Vol II, 2004
그림 6. 일반적인 접근절차의 구성



자료출처 : ICAO Doc 8168 Vol II, 2004
그림 7. 일반적인 비정밀접근절차 구간의 구성 (Missed Approach 제외)

5. RNAV_{GNSS} Approach 절차설계

5.1 계기접근절차 구간

계기접근절차는 보통 그림 6과 같이 5가지 구간으로 구분되며 각각의 구간은 다음과 같은 특징을 가진다.

- 1) Arrival Segment : Initial segment가 Enroute Structure와 직접 연결될 수 없는 경우 사용된다.
- 2) Initial Segment : Enroute 단계에서 Terminal 단계로의 전환을 위해 구성되는 구간이다.
- 3) Intermediate Segment : Initial 구간과 Final 구간을 연결하기위한 중간적인 구간으로서 본 구간 동안 항공기는 Final 구간 진입을 위한 항공기 형상 변경을 시도한다.
- 4) Final Segment : 정상적인 착륙을 하기위한 항공기 위치 및 상태를 유지하도록 구성된 구간이다.
- 5) Missed approach Segment : 정상적인 착륙을 수행할 수 없게 된 경우 항공기를 Holding 지점이나 Enroute 구간으로 돌아갈 수 있도록 구성된 구간이다.

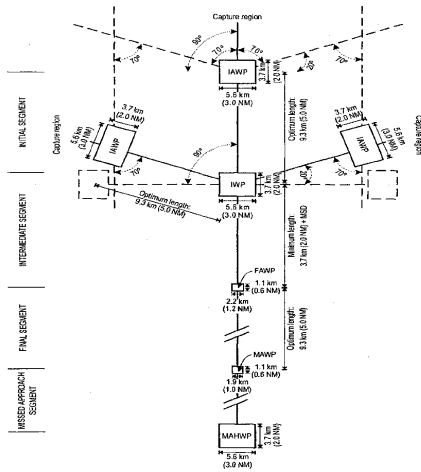
5.2 터미널 지역에서의 WPT

WPT는 계기비행절차상의 정해진 한 지점이며 조종사가 항법시스템을 사용하여 확인할 수 있는 지점으로서 터미널 지역에서 사용되는 주요 WPT는 다음과 같다.

- IAWP(Initial Approach Waypoint) : Initial segment의 시작점을 나타낸다.
- IWP(Intermediate Waypoint) : Initial segment의 종료와 함께 Intermediate segment의 시작점을 나타낸다.
- FAWP(Final Approach Waypoint) : Intermediate segment의 종료와 함께 Final segment의 시작점을 나타낸다.
- MAWP(Missed Approach Waypoint) : Final segment의 종료지점이며 Missed approach segment의 시작점을 나타낸다.

5.3 Basic RNAV_{GNSS} 접근절차의 구성

Basic RNAV_{GNSS} 접근절차는 통상적으로 그림 8과 같이 “Basic T” 또는 “Basic Y” 형상으로 설계되며 기존의 비정밀 접근절차 설계 기준과 유사하게 Initial, Intermediate, Final, Missed Approach Segment로 구분된다. 세부 기준은 대부분 기존의 재래식 비정밀 접근과 같은 개념을 공유한다.



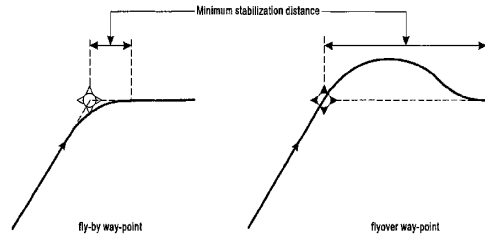
자료출처 : ICAO Doc 8168 Vol II, 2004
 그림 8. 통상적인 RNAV_{GNSS} “T” 및 “Y” 형상

5.4 RNAV_{GNSS} 접근절차의 특성

RNAV_{GNSS} 절차는 항공기에 장착되는 GNSS 수신기의 기술적 특성으로 인해 하나의 WPT를 지나 다음 WPT까지의 거리가 항공기 선회거리 등으로 인해 짧을 경우 해당 WPT를 건너뛰어 다음 WPT로 진행하는 특성이 있다.

이런 경우를 방지하기 위해 그림 9와 같이 각 구간별로 항공기가 선회하여 안정되기까지의 거리를 계산하여 구간길이에 적용하게 되는데 이를 MSD⁹⁾라 한다.

총 구간거리는 항공기 강하율에 따른 강하거리를 고려하여 MSD 및 DTA¹⁰⁾, WPT(Fly-By 또는 Fly-Over 방식)를 지나는 거리를 고려한 유효구간거리(Effective Segment Length)를 기초로 계산되어진다.

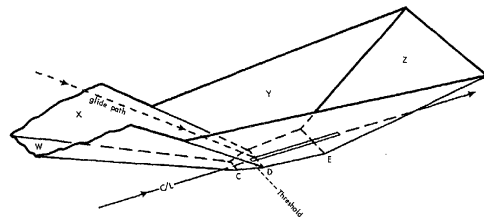


자료출처 : ICAO Doc 8168 Vol II, 2004
 그림 9. Minimum Stabilization Distance

5.5 GBAS 접근 절차의 특성

GBAS는 정밀접근을 제공하는 GNSS 보정 시스템의 한 종류이다. 현재 GBAS는 CAT-I 정밀접근의 정확도 정도를 지원할 수 있는 시스템으로 개발되고 있으나 앞으로 GPS 현대화 또는 GNSS 위성시스템의 추가 등으로 인한 GNSS 위성시스템의 시스템 정확도가 향상되면 현재의 ILS와 같이 CAT-II 및 CAT-III 정밀접근 서비스도 제공할 수 있을 것으로 전망된다.

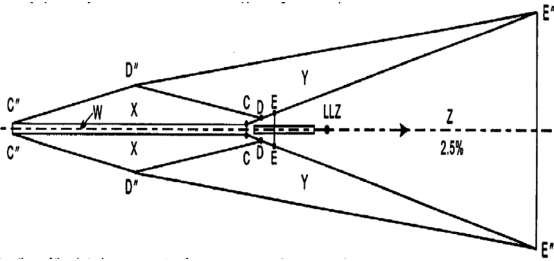
지난 2004년 11월에 개정된 ICAO PANS-OPS Vol. II Amdt 12부터 CAT-I GBAS 정밀접근절차 설계 기준이 도입되었으며 새롭게 도입된 GBAS 절차 설계기준의 경우 전체적인 절차 구성, 세부기준, Precision Segment에서의 Obstacle Protection을 위한 OAS(Obstacle Assesment Surface), CRM(Collision Risk Modeling) 등의 기본 골격은 기존의 ILS CAT-I 정밀접근 절차의 구성과 거의 동일하게 적용된다. 그러나, Fix Tolerance Area의 구성 등의 세부적인 GNSS관련 특성은 기존의 RNAV_{GNSS}절차의 기준을 적용하고 있다.



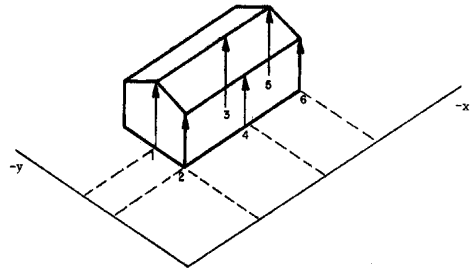
자료출처 : ICAO Doc 8168 Vol II, 2004
 그림 10. ILS의 Obstacle Assesment Surface(OAS)

9) Minimum Stabilization Distance

10) Distance Turn Angle



자료출처 : ICAO Doc 8168 Vol II, 2004
그림 11. ILS의 OAS Plan View



자료출처 : ICAO Doc 8168 Vol II, 2004
그림 12. CRM 모델링의 예시

5.6 CRM의 개요

GBAS 등의 정밀접근절차 절차의 수립을 위해서는 OAS내 장애물 평가를 위한 CRM(Collision Risk Model)을 사용한 평가를 수행하여야 한다. GBAS CRM의 경우, ICAO에서는 현재 관련 지침서를 발행하여 제시하고 있지는 않으나 GBAS CRM의 모든 파라미터는 ILS CAT-I CRM의 파라미터와 동등하므로 현재 시점에서 GBAS 정밀접근절차를 설계하려면 ILS CAT-I CRM 분석방법을 사용해도 무리가 없을 것으로 판단된다. 참고로 ILS CRM과 관련한 사항은 ICAO Doc 9274 Manual on the use of the Collision Risk Model(CRM) for ILS Operation을 참고하여 ICAO에서 사용하는 CRM 프로그램을 실행함으로써 분석을 수행할 수 있다.

ICAO에서 요구하는 CRM의 평가 기준은 충돌위험 확률(Collision Risk Probability)이 1.0×10^{-7} 이하이며 CRM을 통한 분석에 의하여 그 이상의 충돌위험 확률로서 계산되어진다면 해당 정밀접근절차의 결심 고도(DA/H¹¹)를 더 높게 설정하여 충돌위험확률이 1.0×10^{-7} 이하가 되도록 하여야 한다.

CRM 분석에서 주의할 점은 Precision Segment 내의 활주로 및 항공기 경로 주변 모든 장애물 정보를 입력하여 정확한 평가가 되도록 하는 것이다.

그림 12는 CRM 분석을 위하여 장애물을 모델링하는 방식을 제시한 그림이며, 그림 12의 경우 해당 장애물을 6개의 점으로 구분하여 모델링하였다.

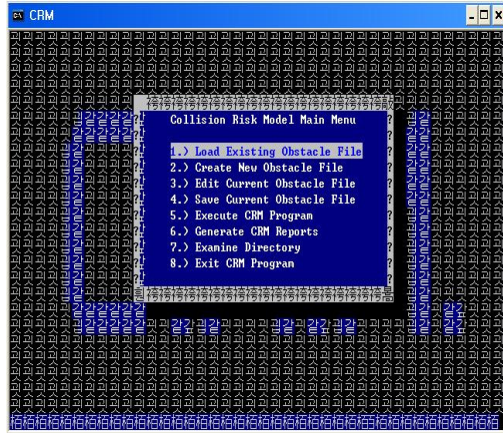


그림 13. CRM 프로그램 시작화면(MS DOS 용)

6. RNAV_{GNSS} 계기비행절차의 이행

6.1 ICAO GNSS 절차 이행 모델

ICAO는 각각의 계약국에게 GNSS를 사용한 항행을 권고하고 있으며 이에 따라 최초로 IATA¹²⁾가 제시한 다음과 같은 GNSS 절차 이행 모델을 제시하였다.

- 1) WGS-84 Survey : GNSS를 이용한 계기비행절차를 수립하기에 앞서 해당 공항 등에 대한 WGS-84 Survey를 실시한다.

11) Decision Altitude/Height

12) IATA : International Air Transport Association

- 해당 공항의 GNSS 계기비행절차를 수립하기 위한 기준위치를 측정한다.(예 : 활주로 말단 기준점 등)
 - 공항 주변 장애물 위치 및 높이에 대한 조사 등
- 2) GNSS 계기접근절차 : 현 단계에서는 비정밀접근절차를 수립할 수 있으며 향후에 정밀접근절차로의 업그레이드가 가능하다.
- 공항에 추가적인 인프라 구축 없이 모든 활주로의에 대한 절차설계가 가능하다.
 - GNSS 정밀접근절차의 사용이 현실화된 경우, 저비용으로 기존의 GNSS 비정밀접근절차를 정밀접근절차로 업그레이드가 가능하다.
- 3) GNSS STAR 및 SID 절차 : 현 단계에서도 효율성, 융통성 등이 강점인 GNSS STAR 및 SID 절차 구성이 가능하다.
- GNSS SID 절차는 장애물 회피, 항공교통관제 서비스, 공역 구조, 항공기 성능, 소음규제 등을 고려하여 최적화 설계가 가능하다.
 - 지상기반 항행안전무선시설의 위치와 관계없이 STAR의 구성이 가능하며 이는 항공교통관리의 효율성을 증대시킨다.
- 4) GNSS 공역 : 현재 VOR 기준으로 구성되어 있는 공역을 WGS-84 기준의 공역으로 재편하고 최적화한다.
- 5) GNSS 절차 관련 차트(Chart)의 개발 : WGS-84 기준을 적용한 신규 GNSS 접근, STAR, SID 등의 계기비행 차트를 개발한다.
- 현재 전 세계 대부분의 조종사들이 사용하고 있는 Jeppesen Chart와 유사한 형태의 GNSS 계기비행절차 차트가 WGS-84 기준으로 발행된다.
- 6) GNSS 비행점검(Flight Inspection) : 설계된 GNSS 절차에 대한 비행가능성, 안전성 측면에서의 비행점검을 실시한다.
- 안전성 측면 : 각각의 설정된 WPT의 실제 위치, Alignment , 장애물 회피 등을 확인한다.
 - 비행가능성 측면 : 설계된 절차의 강하율, WPT 진행순서의 적절성, 선회반경, 조종사의 업무량 등을 평가한다.
- 7) 교육훈련 : 일반적인 GNSS관련 교육, GNSS 절차 관련 교육, GNSS 항공기 장비에 대한 인증

관련 교육, GNSS 절차 승인 관련 교육 등을 시행한다.

- GNSS 일반사항 : 조종사 및 국가 공무원 등을 대상으로 한다.
 - GNSS 절차 : 관제사, 운항감독관 및 GNSS 절차 승인을 담당하는 국가 공무원 등을 대상으로 한다.
 - 항공기 탑재 장비 인증 : 항공기 감항 및 인증관련 인원을 대상으로 한다.
- 8) GNSS 관련 규정의 제정 : GNSS 절차 운영 관련 지역적, 국제적 요구조건을 충족하는 관련 규정을 제정한다.
- 9) 품질보증(QA) : GNSS 절차 개발, WGS-84 Survey, 교육훈련 및 규정제정관련 품질보증 업무를 실시한다.

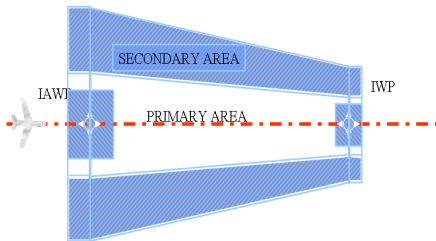
6.2 GNSS 절차 이행 체크리스트

다음은 GNSS를 사용한 계기비행절차를 설계하는 가정 하에 고려해야할 주요 항목들이다.

- 1) 항공기 탑재 장비 : 항공기에 탑재되는 GNSS 수신기의 능력을 고려하여 RNAV_{GNSS} 절차를 수립한다. 예를 들어 현재 일부 GNSS 수신기는 “지정된 고도/높이에서의 선회” 기능이 포함되어 있지 않은 실정이다.
 - 2) WGS-84 Survey : 해당공항 및 주변지역 등의 지형, 장애물, 주요시설, 활주로 말단(DER) 등에 대한 위치 및 높이 조사가 신뢰성 있게 수행되어야 한다.
 - 3) 절차설계 전략 : 설계되는 계기비행절차가 주변의 다른 절차 또는 공역, 주변공역에 대한 간섭 등을 평가하고 어떠한 영향을 미칠 것인가에 대한 전략적 평가가 수반되어야한다.
 - 4) 경로설정(Nominal trajectory) : 실제 계기비행 절차의 경로 설계에 있어서 항공기가 조건에 맞게 충분히 대응할 수 있는 각 구간(Segment) 별 최소거리 및 구성되는 각 구간에 적용되는 Path terminator의 적절한 지정이 요구된다.
- 최소 구간거리 : ICAO PANS-OPS에 제시되어 있는 각 구간별 최소 거리 및 해당 공항의

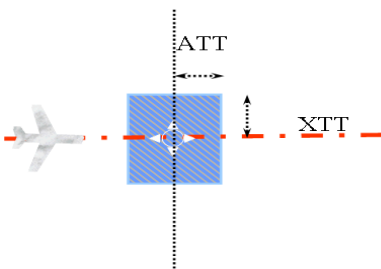
조건, 항공기 적정 강하율, MSD, DTA 등을 고려한 최소 구간거리를 지정한다.

- Path terminator : 절차의 각 구간의 특성에 따라 ICAO에서 규정하고 있는 Path Terminator를 적절하게 지정한다.
- 5) 최소고도 : 항공기가 각 구간별로 제시된 고도로 강하하기 위한 강하율, 항공기를 지상의 장애물로부터 보호하기 위한 MOC 등의 적절한 적용이 요구된다.
- MOC : ICAO PANS-OPS 기준에서는 각 구간별 최소 장애물 회피 간격이 지정되어 있으며 각 구간별 본 요건이 적절하게 적용되어야 한다.
- 강하율 : 각 구간별 길이와 규정된 최소/최대 강하율을 고려하고 목적 항공기의 성능에 부합하는 강하율을 지정한다.
- 6) 보호구역 : 각 구간의 설계기준에 따른 1차 보호구역 및 2차 보호구역을 적절하게 설정한다.



자료출처 : PROCEDURE DESIGN CRITERIA ppt자료
그림 14. 보호구역의 설정

- XTT- ATT : 해당 WPT에 대한 XTT(Cross Track Tolerance) 및 ATT(Along Track Tolerance)를 기준을 만족하도록 적절하게 설정한다.



자료출처 : PROCEDURE DESIGN CRITERIA ppt자료
그림 15. XTT-ATT의 설정

- 구역의 너비(Area width) : 각 구간에 대하여 1차 보호구역 및 2차 보호구역 등을 포함한 적절한 구역의 너비를 적용한다.
- 선회구역(Turning area) : 보호구역 내에서 선회가 일어나는 경우 적절한 바람 영향(Wind spiral)을 각각의 Earliest TP 및 Latest TP에 대응하여 적용한다.
- 7) 바람 영향(Wind spiral) : 해당 구간에 항공기의 선회가 요구되는 경우 목적 항공기의 선회 성능을 만족하도록 바람영향을 고려한 Wind spiral을 구성한다.
- 8) 저속 항공기에 대한 고려 : 절차 설계에 있어서 설계에 적용된 규정된 속도보다 저속으로 운항되는 항공기를 고려하여 보호구역을 설정할 수도 있다.
- 9) 연결지점 : 각각의 계기비행절차(SID, STAR, Approach 등)의 연결지점은 항공기 운항에 무리가 없도록 설정한다.
- 10) 비행점검 : 계기비행절차 설계의 마지막 단계로서 설계된 절차가 규정된 안정성 및 비행기능성을 만족하는지 평가하기 위한 비행점검을 실시한다. 실제 비행점검 전, 비행 시뮬레이션을 통한 평가를 수행할 수도 있다.

7. 결론

현재 계기비행절차 설계기준은 기존 지상기반 항행안전무선시설을 사용하는 재래식 절차에서 지상기반 항행안전무선시설을 사용하는 RNAV 절차로 변화되어 왔으며 최근에는 GNSS를 이용한 RNAV 절차를 현실화하기 위한 다각도의 노력이 진행되고 있으며 이미 일정수준의 실용단계에 접어들고 있는 상태이다.

여기에 덧붙여 항공기 항행항법장비 정확도의 향상 및 GNSS의 정확도 및 신뢰성 향상으로 공역 수용량을 증가시키고 공역의 최적화를 추구하기 위한 RNP(Required Navigation Performance) 절차 등이 도입되고 있다.

우리나라에서도 현재 일부 지역에서 대표적인 지상기반 항행안전무선시설인 VOR을 기반으로 하는

RNAV 절차가 사용되고 있으며 앞으로는 GNSS를 이용한 RNAV 절차의 폭넓은 사용이 예상된다.

참고문헌

1. ICAO, ICAO Annex 6 Operation of Aircraft, 2001
2. ICAO, ICAO Annex 11 Air Traffic Services, 2001
3. ICAO, ICAO Doc 8168-OPS, Procedure for Air Navigation Services-Aircraft Operations Vol. I, II, 2004.
4. ICAO, ICAO Doc 9368 Instrument Flight Procedures Construction Manual, 2002
5. ICAO Doc 9274 Manual on the use of the Collision Risk Model(CRM) for ILS Operation, 1980
6. ICAO DGCA-IP/4 GNSS Procedure Implementation in the Africa-Indian ocean region, 2002
7. ICAO APIRG/13-IP/7 AFI Planning and Implementation Regional Group Thirteenth Meeting(APIRG/13) Agenda Item 4 : Air Navigation Issues. 2001