

한국형 가동헬기 임무탑재장비 요구항법성능 구현

Required Navigation Performance Implementation of Mission Equipment Package for Korean Utility Helicopter

김 성 우* 이 병 화* 오 우 섭*
Sung-Woo Kim Byoung-Hwa Lee Woo Seop Oh

Abstract

A number of navigation improvements are envisaged : Differential GPS - WAAS, LAAS, and Performance Based Navigation. The GPS receiver verifies the integrity(usability) of the signals received from the GPS constellation through a process called receiver autonomous integrity monitoring(RAIM) to determine if a satellite is providing corrupted information. This paper describe the RAIM function and Performance-Based Navigation implementation of Mission Equipment Package(MEP) for Korean Utility Helicopter.

Keywords : Wide Area Augmentation System(광역보정 위성항법장치), Local Area Augmentation System(지역보정 위성항법장치), Performance Based Navigation(성능을 기본으로 한 항법)

1. 서론

1928년에 항공기 계기만으로도 안전한 비행 및 항법을 할 수 있다는 것이 입증되었다. 이후, 지상의 무선항법시설에서 송신한 정보를 항공기 탑재 수신 장비에서 수신하여 항공기의 현재 위치를 결정하는 지상기점 무선항법장치를 이용한 계기비행 기술이 발전하였다. 항공기는 보다 빠르게 위치나 방위의 결정을 할 수 있는 항법 장치가 요구되며 전파 기술의 발달로 VOR, NDB, ILS, DME 등이 주로 활용되어 왔다. VOR 등을 기반으로 하는 무선항법은 출발지점과 목적지점 사이의 각 무선 항행시설을 통과하면서 행해졌다. 지역항

법(RNAV)은 각각의 무선항법 시설을 통과하지 않고도 출발지에서 목적지까지 항공기가 원하는 비행경로를 비행할 수 있도록 하는 항법으로 미국에서는 1960년대에 지역항법이 개발되었다. 1970년대에 지역항법 관련 노선이 공표되었다. 1983년 1월에 미연방항공국은 지상의 항행안전 무선시설의 비콘을 이용하는 방법보다 관성항법장비를 활용을 고려하여 지역항법 노선을 폐지한다고 발표하였다. 항법은 조종사가 원하는 목적지까지 가장 짧은 시간에 최단거리를 이용하여 안전하게 찾아가는 비행술로, 항공기는 항법 보조 방법으로 지상 기반 무선항법, 자율 항법을 거쳐 현재는 인공위성을 이용한 위성항법으로 발전하고 있다. 항법 향상에 여러 가지 연구가 수행되었으며, 대표적인 것들은 DGPS를 활용한 광역보정 위성항법장치와 지역보정 위성항법장치, 그리고 성능을 기본으로 한 항법이다. 본 논문은 한국형 가동헬기 임무탑재장비의 성

† 2011년 6월 27일 접수~2011년 9월 16일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 김성우(sabal7086@naver.com)

능을 기반으로 한 항법 구현에 대해 정리한 것이다.

2. 계기접근

계기접근 또는 계기접근 절차는 계기비행으로 항공기를 운용하는 상황 하에서 최초 접근 구간에서부터 착륙까지 또는 시각비행으로 착륙이 이루어지는 지점까지 항공기의 순차적인 전환을 위한 기 결정된 조차 절차다^[1]. 계기접근은 일반적으로 지상의 관제기관의 지원이 없이 무선, 위성항법장치 또는 관성항법장치 합법 수단으로 공항까지 항해할 수 있으며 필요시는 공항 근처에 체공, 그리고 안전 착륙을 위해 활주로의 충분한 시각 기준을 얻을 수 있는 위치로의 비행, 또는 시계가 안전 착륙 수행에 필요한 최소치 이하이면 실패 접근을 수행할 수 있도록 설계하였다. 계기접근 절차에는 어떤 접근 절차 구조를 갖는가에 따라 다음과 같은 4개 부분으로 구분할 수 있다. ① 최초 접근 : 최초 접근 픽스와 중간 픽스, 또는 항공기를 중간 코스 또는 최종 접근 코스 상에 설정한 포인트 간의 부분 ② 중간 접근 : 중간 픽스 또는 포인트와 최종 접근 픽스 간의 부분 ③ 최종 접근 : 최종 접근 픽스 또는 포인트와 활주로, 공항, 또는 실패 접근 포인트 간의 부분 ④ 실패 접근 : 실패 접근 포인트 또는 결심 고도에 도착 포인트와 규정한 고도에 실패 접근 픽스 간의 부분 계기접근 절차는 정밀 접근과 비정밀 접근으로 구분된다. 정밀 접근은 측면 및 수직 정보를 함께 사용한다. 비정밀 접근은 측면 코스 정보만을 제공한다^[2]. 정밀 접근 시스템과 비 정밀 접근 시스템들은 다음과 같다.

- 정밀 접근 시스템 : 계기착륙 시스템, 마이크로파 착륙 시스템. 정밀 접근 레이더(군용), 지역 보정 시스템(LAAS : Local Area Augmentation System), 합동 정밀 접근 및 착륙 시스템, 지상 관제 접근(군용), 위성항법 시스템 착륙 시스템(GLS : GNSS Landing System)
- 비 정밀 접근 시스템 : 로컬라이저, VOR, NDB, 로컬라이저 타입 방향 보조(LDA : Localizer Type Direction Aid), 단순 방향 시설(SDF : Simplified Directional Facility), 위성항법장치(WAAS 등을 이용한 수직 항법 포함 또는 미포함), 전술항법장치(TACAN), 감시 레이더 접근, 공항 감시 레이더

계기비행 조건에서 착륙 시는 시각 보조물을 참고할 수 없기 때문에 조종사는 터미널 절차라 부르는 계기 접근 절차 차트를 참고한다. 계기접근 절차 차트는 주어진 활주로에서 특별한 형태의 접근을 위해 조종사가 따라가야 할 특정 절차를 그래픽 식으로 묘사한다. 계기접근 절차 차트 상에 명시된 실패접근 절차, 라디오 주파수, 지형, 장애물, 항로, 규정 고도 등을 준수하여 공항 주변의 장애물을 회피할 수 있을 뿐만 아니라 타 항공기와의 충분한 분리를 보장받을 수 있다. 이전에는, 지상에 설치된 대형 항법 보조 시설들의 요구사항들은 활주로에 대한 계기접근 활용이 일반적으로 제한되었다. 하지만 최근의 위성항법장치 접근 기술은 미국 메인 주의 랭그리 호수 수중항공기와 같은 수중 비행기 돛과 같은 계기접근을 만들 수 있게 되었다.

3. 정밀 접근 시스템

정밀 접근은 전통적인 체계로 계기착륙장치를 이용하는 데 이 방법은 각 활주로 끝, 활주로 중심선으로부터의 연장선에 복합적인 일련의 무선 장치들의 설치를 필요로 하는데 이 같은 정밀 접근의 구현은 어렵고 비용이 많이 든다. 계기착륙장치를 이용한 진입은 활주로 연장선상의 직선 진입밖에 할 수 없고, 진입로에 따라서 항공기 소음에 피해를 입는 지역 등이 있으면 공항의 운용시간이 한정되거나 이착륙 기수가 제한되는 등 공항의 능력을 충분히 발휘할 수 없는 경우가 있다. 항공기 소음에 피해를 입는 지역을 피하여 곡선을 그리면서 공항에 접근할 수 있는 방법을 찾기 위해 1980년대 초에 미연방 항공청과 미 항공 우주국에서 시간-기준 스캐닝 빔 마이크로파 착륙장치 개발을 시작하였다. 마이크로파 착륙장치는 전파를 이용하여 항공기에 대해서 방위각, 고각, 비행정보, 거리를 제공하는 지상시설로 비용이 획기적으로 감소된다. 마이크로파 착륙 장치는 일반 접근은 20 nm, 백 방위는 7 nm 범위, $\pm 40^\circ$ 방위, 15° 고각으로 계기착륙장치에 비하여 상당히 넓은 곡선으로 공항에 접근하거나 시계가 나쁜 상태에서도 마이크로파 착륙장치의 유도에 따라서 착륙할 수 있다. 마이크로파 착륙장치는 계기착륙장치보다 더 넓은 시계를 갖는다. 마이크로파 착륙장치로의 전환을 검토하였지만, 위성항법장치와 같은 위성체계의 등장으로 계기착륙장치와 함께 마이크로파 착륙장치의 교체를 검토하였다. 미연방 항공청은

기존의 VOR, NDB 등의 장거리 체계를 위성항법체계로 교체하는 계획을 시작하였다. 1994년에 미연방 항공청은 마이크로파 착륙장치를 중단하고 광역 보정 시스템(WAAS) 기술을 활용한다고 발표하였다.

4. 상대측위 위성항법장치

위성항법장치는 최초에는 미 공군에서 국방 분야를 위해 사용하였지만 미연방 항공국에서 민간 항공에의 활용을 승인하여 1994년 2월 17일에 위성항법장치를 항공관제에 사용한다고 공표하였다. 상용 위성항법장치는 미 공군과는 다른 주파수를 이용하며 최초 상용 위성항법장치는 1996년에 활용되었다. 엘 고어 미 부통령이 항공 안전을 위해 정밀도와 신뢰성을 증진시키기 위한 2개의 신규 민수 신호로 위성항법장치를 개선하는 계획을 1998년에 공표하였다. 2000년 초까지 위성항법장치에 고의 잡음 SA(Selective Availability)를 만들어 넣어 정확도를 100 m로 저하시켰다. 2000년 5월 1일에 빌 클린턴 미국 대통령이 미 국방성 위성항법장치의 고의적인 오차 요인이었던 고의잡음을 제거한다고 발표하였다. 단독으로 사용하는 GPS 수신기는 자신이 계산하고 있는 위치 정보가 틀린지 맞는지를 판단 할 수가 없다. 어떤 제 2의 장치가 수신기 근처에 존재하여 지금 현재 수신 받는 자료가 얼마만큼 빗나간 양이라는 것을 수신기에게 알려줄 수 있다면 위치결정의 오차를 극소화할 수 있는데 바로 이 방법이 상대측위 위성항법장치(DGPS : Differential GPS)다. Fig. 1과 같은 DGPS 개념의 핵심은 지상에서 GPS 신호를 수신하는 기지국으로, 기지국의 정확한 위치는 이미 측정하여 알고 있다³⁾. 기지국에서 이미 알고 있는 기준점의 정확한 위치 값과 GPS에서 측정한 위치 값을 비교하여 GPS에서 발생한 오차 값을 보정한 후, 그 보정 값을 무선통신망을 이용하여 위치 정보를 제공하면 DGPS 수신기는 위성에서 수신한 GPS 신호로 자신의 위치를 계산한 다음 지상기지국에서 전송해온 오차를 가지고 위치를 보정해 준다.

상대측위 위성항법장치 기법은 지상에 위치한 수신기로부터 전송한 보정 메시지를 이용하는데 다음과 같은 2가지 방법이 있다.

① 광역보정 위성항법장치(WAAS : Wide Area Augmentation System) : 광역보정 기법은 자료 수집

지상 스테이션의 네트워크를 이용한다. 보통 500 마일 이상 떨어진 여러 지상 스테이션에서 정보들을 수집한다. 각 스테이션에서 보정한 정보를 위성 보정을 결정하는 중앙 지역으로 전송한다.

② 지역보정 위성항법장치(LAAS : Local Area Augmentation System) : 국지역역 교정 기법은 정밀하게 측정된 국지 지상 기준 사이트를 이용한다. 정밀하게 알고 있는 사이트의 위치로부터 가시선 VHF 데이터 링크를 통해 비행기로 전송하여 위성의 부정확한 값을 판단한다.

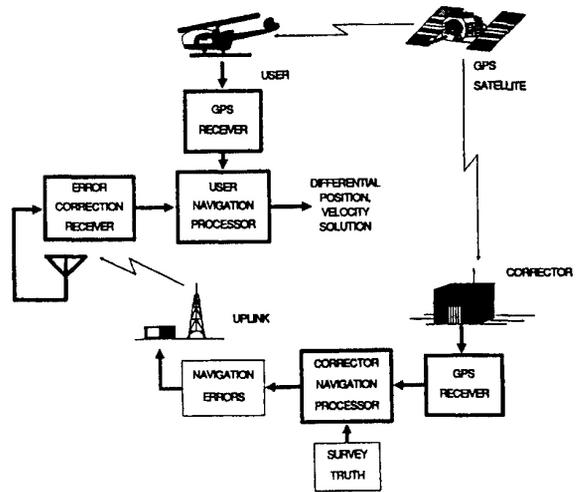


Fig. 1. DGPS 개념

5. 광역보정 위성항법장치

1995년 초에 미 교통부와 미 연방 항공국이 공동으로 계기착륙장치 카테고리 I 요구 성능을 제공하는 광역보정 시스템 개발을 시작하였다. Fig. 2와 같은 광역 보정 시스템은 위성항법장치를 기본으로 한 항법 및 착륙 시스템으로 전 단계 비행의 정밀한 지시를 제공하여 안전을 향상시킨다⁴⁾. 광역 보정 시스템은 GPS 위성 정보의 정밀도, 보존성, 가용성을 향상시키고 태양 폭풍, 타이밍, 위성 오차로 인한 오차를 보정하기 위해 설계되었다. 광역 보정 시스템은 미전역에서 GPS 위성 자료를 수집할 수 있도록 38개 지상 기준 스테이션을 하와이, 알래스카, 캐나다의 일부까지 배치하였다. 이 기준 스테이션들은 정밀하게 측정된 곳이며 GPS 위성으로부터의 값을 모니터한다. 지상 기

준 스테이션은 3 곳의 마스터 스테이션으로 전송하여 보정 값을 계산하며 시스템 건전성을 평가한다. 보정 메시지는 4 곳의 업 링크 스테이션을 통해 정지 지상 궤도(GEO : Geostationary Earth Orbit) 위성에 업 링크 한다. 정지 지상 궤도 위성에서 비행기로 L1 대역으로 보정 자료를 전송하면 광역 보정 시스템 수신기로 수신한다.

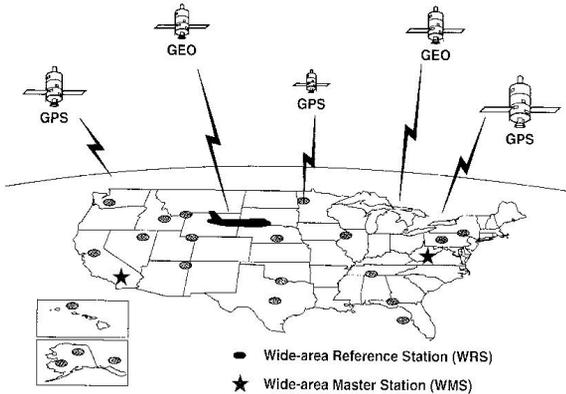


Fig. 2. 광역보정 시스템

2003. 7. 10에 비행을 위한 정지 지상 궤도 신호 작동이 시작되었다. 2005년 3월에 미 연방 항공국은 록히드마틴사로부터 정지 지상 궤도 위성 서비스를 2016년까지 임차하였다. 2006년 3월에 미 연방 항공국이 정밀 접근 카테고리 I 요구를 충족하는 착륙 지역 위 200 ft(60 m)의 결심고도까지 3차원 위치 정보를 제공한다고 공표하였다. 결심고도는 정밀 접근 중 계속해서 접근 착륙할 것인지 아니면 실패 접근할 것인지를 결심해야 하는 고도로 카테고리 I은 200 ft, II는 100 ft, IIIa는 50~100 ft, IIIb는 50 ft 이하다. 광역 보정 시스템 정확도는 Table 1과 같은 계기착륙장치 카테고리 II, III 요구사항을 충족시키지 못한다. 그러므로 광역 보정 시스템은 기존 계기착륙장치 장비를 대체하지 못하지만 지역 보정 시스템은 대체할 수 있다.

Table 1. 카테고리별 정확도 요구

	정확도
카테고리 I	16 m (L), 4 m (V)
카테고리 II/IIIa	6.1 m (L), 1.4 m (V)
카테고리 IIIb	3.6 m (L), 1 m (V)

6. 지역보정 위성항법장치

Fig. 3과 같은 지역보정 시스템은 위성항법장비를 기본으로 한 정밀 접근 및 착륙 시스템으로 최종 단계 비행의 아주 정밀한 정보를 제공한다. 지역 보정 시스템은 특별히 공항의 20~30 마일 반경 내에서 정밀 접근 및 착륙을 지원하기 위해 2001년 후반에 개발이 시작되었다. 지역 보정 시스템의 지역 기준 수신기는 공항 주변의 정밀하게 측량된 위치, 지역 기준 스테이션에 설치한다. 지역 기준 스테이션에서 VHF를 통해 사용자 항공기로 직접 보정자료를 전송하는 것 외에는 광역 보정 시스템과 동일한 원리다.

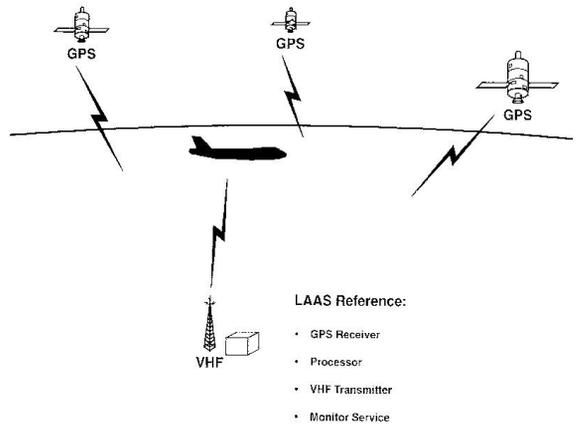


Fig. 3. 지역보정 시스템

지역 보정 시스템의 커버 범위는 VHF 가시선과 지형-차폐 제한사항에 따라 제한된다. 항공기의 지역 보정 시스템 수신기는 이 정보를 이용하여 위성항법장치 신호를 보정한다. 이 정보는 접근 및 착륙 목적의 계기착륙장치 형태로 시현된다. 지역 보정 시스템의 목표는 계기착륙장치 카테고리 III 능력을 제공하는 것이다. 지역 보정 시스템의 이점 중 하나는 주요 공항에 지역 보정 시스템 1개로 여러 개의 정밀 접근 시설을 대체하는 것이다. 예로서, 시카고 오후라 공항의 12개의 활주로 끝에 각각 위치한 계기착륙장치를 1개의 지역 보정 시스템으로 대체하면 기존 계기착륙장치의 정비 및 유지비용을 획기적으로 절감할 수 있다. 또 다른 장점은 비행기가 직선이 아닌 곡선 및 복합 접근도 가능하다. 카테고리 II, III 요구사항을 충족하기 위한 접근방법은 Fig. 4와 같은 ILS 유사 방법과 Fig. 5와 같은 자동 착륙 방법이 있다. ILS 유사 방법은 주어진

위치에서 선형화를 통해 성능을 계산하는 방법으로 오랜 기간 운용으로 통하여 검증이 된 장점이 있다. 자동 착륙 방법은 착륙까지 레이더 고도계 지시 등의 전통적인 자동 착륙 체계 구조도를 이용한다.

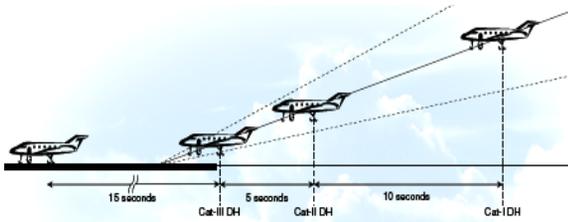


Fig. 4. ILS 유사 방법

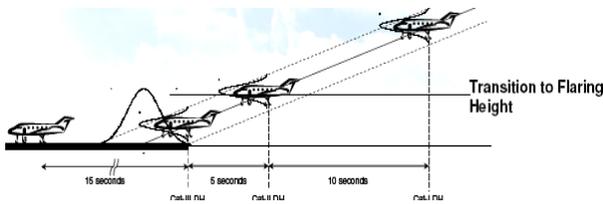


Fig. 5. 자동 착륙 방법

7. 성능을 기본으로 한 항법

항법 항상에 여러 가지 연구가 수행되었으며, 대표적인 것 중의 하나가 성능을 기본으로 한 항법 방법이다. 비행의 모든 단계에서 성능을 기본으로 한 항법 방법으로 지역항법과 요구항법성능이 있다. 국제민간항공기구에서 정의한 지역항법 개념은 정해진 공역에서의 항공기 레벨 요구 성능(정밀도)에 근거한 항법 방법, (지상, 자율) 항법 보조 제한 내의 원하는 비행 경로이며 기본 지역항법과 정밀 지역항법이 있다. 기본 지역항법은 1988년에 소개되었으며 요구항법성능 RNP-5 (± 5 nm)이다. 2005년에 도입된 정밀 지역항법은 요구항법성능 RNP-1 (± 1 nm)이다. 지역항법(RNAV : Regional Navigation) 운용의 전반적인 안전은 항공기 항법 정확도, 노선 분리 및/또는(레이더 모니터링, 자동 종속 감시, 통신 등의) 항공 교통 관제 조정의 복합적인 사용을 통해 이루어진다. 1993년에 국제민간항공기구에서 정의한 요구항법성능(RNP : Required Navigation Performance) 개념은 특정 항법 요소와 무관한 성능으로 정밀도, 보존성(Integrity), 지속성(Continuity), 가용성으로 규격이 정해진다. 요구항법성능은 여러 비행조건

의 절대 항법 성능요구이며 실제 성능과 비교하여 운전자에게 제공한다. 요구항법성능의 중요 성분은 성취할 항법 성능의 모니터링과 운용 요구사항과의 일치 또는 불일치를 조종사가 인지하는 것이다. 요구항법성능은 온-보드 항법 견제, 모니터링 및 경보를 갖는 지역항법 운용이다. 이와 같은 온-보드 모니터링 및 경보 능력은 운용의 전반적 안전 유지에 (레이더 모니터링, 자동 종속 감시, 통신 등의) 항공 교통 관제 조정 의존 및 노선 분리를 증가시키는 것을 감소시킨다. 요구항법성능(RNP)의 일반적 요구사항은 Table 2와 같으며 단계별 운용은 Fig. 6과 같다.

Table 2. 요구항법성능 일반적 요구사항

단계	RNP 레벨	요구범위
대양(ocean)	RNP-12	± 12 nm
en-route	RNP-2	± 2 nm
터미널	RNP-1	± 1 nm
접근	RNP-0.3	± 0.3 nm

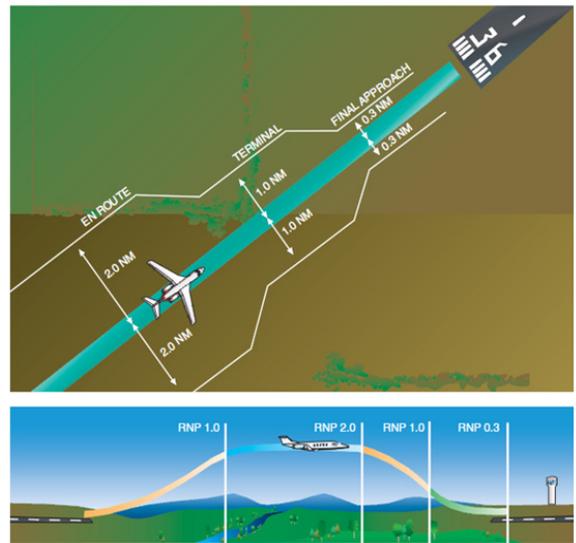


Fig. 6. 요구항법성능 단계별 운용

GPS 수신기가 위성으로부터의 수신 신호의 보존성(유용성)을 검증하는 것을 수신기 자율 보존성 모니터링(RAIM)이라 하며 위성의 제공 정보가 잘못된 것인지를 판단한다. 수신기 RAIM 기능을 위해, 항법에 필

요한 위성 수보다 최소한 1개 위성이 더 요구되며 최소 5개 위성, 그리고 잘못된 위성 신호를 항법 해에 활용하지 않도록 하는 격리는 6개 위성이 필요하다. 수신기의 RAIM 메시지는 일반적으로 다음과 같은 2 가지 형태가 있다. 불충분한 위성이 있다는 것을 RAIM 보존성 모니터링에 제공하는 형태와 RAIM 보존성 모니터가 현 비행단계를 위한 제한을 초과하면 잠재적 오차를 탐지하고 지시하는 형태다. RAIM 기능이 없다면, 조종사는 GPS 위치 정확도에 대한 보장할 수 없다. 한국형 가동헬기 임무탑재장비는 성능을 기본으로 한 항법과 RAIM 기능을 구현하였다. Fig. 7과 같이 다기능시현기 요구항법성능(RNP) 하드 카를 누르면 RNP에서 선택한 단계(en-route, 터미널, 접근)가 시현되며 비행단계별로 요구항법 성능을 구현하여 시현한다. 또한, GPS로부터 RAIM 정보를 수신하면 RAIM 문자를 노란색으로 시현한다.



Fig. 7. 한국형 가동헬기 다기능시현기 RNP 화면

8. 지역항법 접근

1969년부터 2,600개 이상의 VOR/DME 지역항법, GPS 오버레이, 지역항법(GPS) 접근절차가 미국에서 공표되었다. Fig. 8은 미국 달라스의 지역항법(GPS) 접근절차다^[5].

위성항법장치 오버레이 프로그램은 조종사가 위성항법장치로 기존의 VOR, VOR/DME, NDB, NDB/DME, TACAN, 지역항법 비 정밀 계기 접근 절차로 비행하는 것으로 1994년 2월에 처음 소개되었다. 1998년 7월 16일에 인가된 위성항법장치로 거리측정 장치(DME)와 자동방향 탐지기(ADF) 계기접근을 대체할 수 있게 공표되었다. 다만, 아래의 3가지 제한사항은 거리측정

장치와 자동방향 탐지기를 필요로 한다. ① 관련 위성항법장치가 접근을 오버레이하지 않는 무지향성 무선 표지 접근은 자동방향 탐지기를 이용하여 비행해야 한다. ② 규정에 의해 교체 공항에서의 비 위성항법장치 접근이 존재할 때는 거리측정 장치 또는 자동방향 탐지기에 의존하여 비행한다. ③ 로컬라이저와 관련된 거리측정 장치 전송기가 위성항법장치에서 검색되지 않을 때 위성항법장치 계기접근은 다음과 같은 요구사항들을 충족시켜야 한다.

- 위성항법장치 항로 지시를 받을 때, 항로편차 지시계는 1 nm 또는 터미널 민감도에 세트되어야 한다.
- 위성항법장치 운용에 필요한 보존성을 위해 최소한 수신기 자율 보존성 모니터링(RAIM : Receiver Autonomous Integrity Monitoring)이 제공되어야 한다. 광역 증대 시스템(WAAS) 수신기 사용도 가능하다.

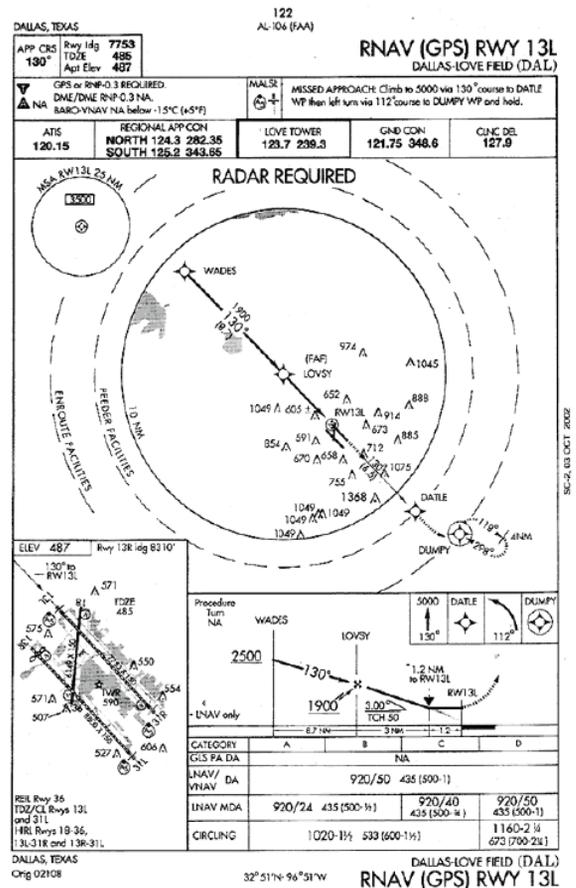


Fig. 8. 지역항법(GPS) 접근절차

9. 결론

2006년 3월에 미 연방 항공국은 광역 보정 위성항법장치로 정밀접근 카테고리 I에서 요구하는 위치 정보를 제공한다고 공표하였다. 광역 보정 위성항법장치 이전에는 미 영공의 모든 위치에서 모든 사용자들을 위한 수평 및 수직 항법 정밀 접근을 제공할 능력이 없었다. 광역 보정 위성항법장치 정확도는 정밀접근 카테고리 II, III의 요구사항을 충족시키지 못한다. 광역 보정 위성항법장치는 3 m의 정확도를 갖는다. 지역 보정 위성항법장치는 1 m 이내의 정밀도 보유를 목표로 한다. 이 정밀도는 정밀접근 카테고리 II, III 접근 지도를 충족하며 조만간 활용될 계획이다. 항공기 항법은 지상 기반 무선항법, 자율 항법, 인공위성을 이용한 위성항법으로 빠르게 변화하고 있다. 또한, 항법 항상에 여러 가지 연구가 수행되었으며 현재는 성능을 기본으로 한 항법으로 발전하고 있는 추세다. 한국형 기동헬기 임무탑재장비는 이와 같은 발전추세를 고려

하여 성능을 기본으로 한 항법으로 요구항법 성능과 RAIM 기능을 구현하였다.

References

- [1] Federal Aviation Administration, "Instrument Approach Procedure", 2010.
- [2] Federal Aviation Administration, "Contact Approach", Aeronautical Information Manual. Washington D.C., U.S. Department of Transportation, pp. 5-4-24, 2010.
- [3] Robert Denaro, Jacques Beser, "GPS Vertical Axis Performance Enhancement for Helicopter Precision Landing Approach", NAS2-11791, 1986.
- [4] Ian Moir, Allan Seabridge, "Military Avionics Systems", Wiley, pp. 287~330, 2006.
- [5] John McGraw, "Performance-Based Navigation(RNAV and RNP) : Implementation in the U.S.", 2005.