

PA 안전성 향상을 위한 항공전자장비 구성

The Avionics architecture to Improve Small aircraft flight safety on Non-precision approach

김현수^{1*}, 정복헌²

초당대학교¹, 한국항공대학교²

초 록

현재 국토교통부가 추진 중인 국내 공항 개발 중기계획에는 소형 공항뿐 만 아니라 수상 공항 등 다각적인 소형항공기를 활용한 항공운송계획을 수립하고 있다. 과거 전파항법을 사용하는 기존의 계기접근절차에서 CFIT, LOC-I, LALT, UIMC 등의 위험요소를 줄이고, CNS/ATM 환경하에서 보다 안전한 비정밀접근절차를 수행할 수 있는 탑재용 항공전자장비 구성 요구사항을 제시하고 향후 소형 항공기 운용에 안전성을 증진하고 CNS/ATM 환경하에 모의 비행실험을 확보한 비정밀절차 운용 결과를 분석하여 소형항공기 항공전자장비의 기술 표준 및 형식 승인을 위한 안을 제시해 보고자 한다.

1. 서 론

1.1 연구의 배경

최근 도서 지역의 소형공항 설립[1]이 결정되면서 과거 오지로 인식되던 도서지역의 접근성이 증대되고 50인승 규모의 소형항공기를 이용한 소형운송사업이 활성화 될 전망이다. 더불어 국토교통부가 추진 중인 국내 공항 개발 중기계획에는 소형 공항뿐 만 아니라 수상 공항을 건설할 계획이다.

소형공항의 경우 내륙 보다 도서지역간 교통량에서 소형항공 수요에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단되어지며 향후 국외 소형운송사업의 진흥을 위해 정부는 비즈니스 출장, 가족단위 소규모 관광 등 다양한 항공수요에 부응하고 대형공사가 감편 또는 철수하는 내륙노선 등에 항공교통 공급을 위해 소형항공운송사업 활성화를 지원할 수 있는 제도개선을 추진하고 있다.

소형운송산업에 대한 수요증가는 국내뿐만 아니라 현재 항공운송이 가장 활발히 이루어지는 미국의 경우, 4인승에서 50인승내외의 소형기를 이용한 지점간 항공운송이 활발히 운영되고 있으며 소형기의 경우 운항가능거리에 따라 피스톤 및 터보 프롭 기관 소형기의 경우 단거리(300 NM

내외)항공운송수단으로, 터보팬, 소형제트 항공기의 경우 중, 장거리(1200NM 내외)상업용 항공운송수단으로 선호되고 있으며[2], 향후 대형기 이외에도 개인용 항공기, 소형 에어택시, 전세 항공기 등 다양한 소형기 운용이 활발해지고 있다[3]. EU국가의 경우 향후 중유럽을 중심으로 소형기용 이용한 Door To Door 항공운송체계를 운영할 계획으로 2009년부터 2012년까지 SAFAR(Small Aircraft Future Avionics Architecture)를 실행하여 소형운송사업용 소형항공기의 가능성을 확인하였다.

국내에서도 소형기의 운송 분담률이 증가할 것으로 예측하고 있어 향후 항공운송사업의 구조는 중국, 일본 등의 주변국과 지점간 소형운송사업의 활성화에 기여하여 보다 많은 소형공항 건설로 이어질 것으로 예측된다.

1.2 연구의 목적

소형 공항이 활성화됨에 따라 정밀접근을 위한 항행안전시설 설치 및 건설비용 등이 공항 건설에 제약사항이 될 것으로 예상되며 소형 항공기의 경우 계기비행 기상상황에서 계기접근 절차를 수행하게 될 때 다양한 탑재용 항법 장비를 탑재한 대형기와 비교해 볼 때 여러 가지 제약요건들이 존재함으로 이를 해결하기 위해 새롭게 정의

된 항공기 운항구역 즉, 자체 관제구역(Self Controlled Area;SCA)의 활용을 제안해 본다. 자체 관제구역은 최초 접근지점(IAF), 중간 접근지점(IF) 및 최종 접근 지점(FAF)으로 구성된 T 모양의 형상을 포함 하는 최종 접근 지점(FAF)의 반경 15NM내 공역으로 설정하는데, 현재 미국 공역내에서 운영중인 GPS-T Approach와 매우 유사한 형태를 보여질 것으로 예상 된다 [4].

이러한 자체 관제 구역이 설정된 공항에서는 GNSS를 활용한 비정밀접근절차로 계기 절차가 수립되어지며 기존의 전파항법을 사용하는 Step down(dive-and-drive approaches)방식에서 운송용항공기에 적용되는 CDA(Constant descent-angle)방식으로 전환하게 될 것으로 예상된다. 이를 위해 향후 변화될 환경에서 소형기의 비정밀접근 절차의 안전성 향상을 위한 항공 전자 장비의 구성을 제안해 본다.

2. 본 론

2.1 비정밀접근절차

비정밀접근절차란 전자적인 활공각(滑空角) 정보를 이용하지 아니하고 활주로방위각 정보를 이용하는 계기접근절차로서 최저강하고도(Minimum Descent Altitude/MDA: 비정밀접근절차별, 기장별 또는 항공기별로 인가된 강하고도 중 가장 높은 고도를 말한다.) 또는 결심고도(Decision Height/DH: 접근절차별, 기장별 또는 항공기별로 인가된 결심고도 중 가장 높은 고도를 말한다. 이하 같다)가 75미터(250피트) 이상으로 설계된 계기접근절차라고 정의 [5]하고 있다.

이를 수행하기 위해 최소 강하고도(MDA)에서 ALS(Approach Lighting System)과 같은 적절한 시각 참조물을 확인하고 적절한 하강각으로 시각적으로 접근해야 한다. 또한 비정밀접근 절차의 경우 정밀접근절차가 설계된 공항에서도 ILS(Instrument Landing System)시설이 작동하지 않거나 단일한 방향으로 설정 되어 있어 반대 방향으로 접근시에도 수행하게 된다.

일반적으로 ILS(Instrument Landing System)를 사용하지 않고 다른 항법 장비를 사용하는 경우 전파항법장비를 통해 횡적 방위정보만을 제공

하거나, GNSS 또는 IRU와 RA와 같은 고도정보를 사용하여 수행하게 된다. 비정밀접근 절차의 사고 요인은 CFIT(controlled flight into terrain), LOC-I(loss of control during the flight), LALT(low altitude operation), UIMC(weather conditions) 등으로 분류되며 운영측면에서 사고 예방을 위해 필요한 성능으로 최적의 접근경로와 속도의 유지, 위험한 접근각의 회피, 45°를 초과하는 bank angle과 3 deg/s 이하의 각속도 회피 등이 요구된다[6]. 이와 동시에 적절한 접근각과 단계별 최소고도를 인지할 수 있도록 돕는 항법 장비의 성능을 추가로 요구 된다. 비정밀접근시 불안전 접근으로 안전한 접근 및 착륙이 어렵다고 판단하고 있는 불만족(Unsatisfactory) 기준을 파라미터 범위로 표 1과 같이 표현할 수 있다.[7]

TABLE 1. 불만족 기준 파라미터범위[1]

FIX	고도	속도	CDI
IAF	+300 이상	+20/-5KT	1.0 Dot
FAF	+200 이상	+15/-5KTS	1.0 Dot
MDA	+200 이상	+15/-5KTS	visual contact

아울러 현재 운용중인 횡적 방위정보를 제공하는 기존의 전파 항법 장비에서도 아래와 같이 기술적 오차를 제공하고 있어 비정밀접근시 정밀접근과 비교할 때 위험 가능성을 증가시키고 있다. [8]

- NDB : +/- 5 degrees;
- VOR : +/- 3 degrees;
- LLZ : +/- 0.2 degree; and
- DME : 0.2 nm or 2.5 % of distance

2.2. 미래 CNS/ATM 시스템 구성 개념

현재 운용중인 CNS 시스템의 경우 음성통신, 지상 기반의 항행안전시설과 레이더를 기본으로 운영되고 있다. 그러나 미래의 무결성을 보다 향상시킨 CNS 서비스는 현재 사용하고 있는 지상 기반의 항행시설과 위성기반의 항행시설이 혼용될 것이며 이를 통해 공역의 효율성을 향상시킬 것으로 예상된다[9]. 현재 ATM 시스템 기능은

항공교통에서 예상되는 혼잡과 기상여건에 의해 기인한 지연과 교통 변경들을 포함하는 TFM(Traffic Flow Management)으로 구성되어 있다. 이로 인해 ATC(Air Traffic Control)는 항적간, 지형 또는 장애물로부터 분리 기능을 제공하게 된다. 그러나 미래 CNS/ATM 시스템은 기존의 방식보다 좀 더 많은 교통수요를 충족시킬 수 있는 보다 역동적이며, 확장된 형태로 변화하게 될것으로 예상된다. 2020년부터 적용될 CNS/ATM은 현재의 통신, 항법, 감시 체계에서 보다 독립적이며 관제사의 업무를 증가시키지 않으면서도 다양한 교통환경과 수요에 응답할 수 있는 체제로 전환하게 될 것이며, 현재 운용 중인 소형공항이나 소형 항공기의 교통흐름과 접근능력을 향상시킬 수 있을 것으로 예측된다.

TABLE 2. 2020년 CNS/ATM 시스템구조 및 운용개념

	2013	2020	운용에미치는 영향
항로 구조	2D 지역항법	시간원도우가 구비된 3D	4D 비행 일부항공기 속도통제
통신 (C)	VOR/DME/ILS 사용 일부SBAS/GBAS CAT1지원	데이터링크사용 (위급상황 제외)	자동데이터입력재생 (주통신수단)
항법 (N)	VOR/DME/ILS 사용 일부 SBAS/GBAS CAT1지원	SBAS/GBAS CAT III 지원 일부공항 VOR/DME 사용	소규모공항까지 확대, 전천 후운용
감시 (S)	레이더사용 ADS-B 제한 사용	레이더 및 ADS-B (병행운용)	데이터융합
항공 전자	제한적 CDTI, LNAV/VNAV을 가진 DRVSM, FMS 사용	SBAS/GBAS, EVS, CDTI, 완전한 ANV/LNAV	VFR→IFR 상승

미래 ATM 시스템은 비정기 수요 즉 시간과공간에 따라 계속 변화하는 수요의 상당량을 처리하면서 모든교통 체증을 동적으로 관리하게 될것으로생각된다 표 2는 2D, 3D, 4D 공역운용 음성 및 데이터 통신 원하는 RNP를 지원하는 정밀 항법기술, 항공기 및 레이더정보의 데이터융합으로 제공된 감시기능을 지원하기 위한 항로구조의 변화를 포함하여 2020년 CNS/ATM 시스템의 운용개념을 나타낸 것이다[10]. CNS/ATM 운

영시 요구되는 소형운송수단으로서 항공기 기본 개념은 유연한 운송수단으로 기상상태와 독립적으로 운용 되어야 하며, 사용가능 시간대가 한정적이지 않으며, 현재와 같이 비행계획이 접수되고 운항할 수 있으며, 사용자의 편의 증진을 위해 언제나 비행계획이 변경 가능하여야 한다.

또한 적어도 600Km 이내에서는 노스톱으로 운행이 가능하며 구간 내에서는 다른 운송 수단에 비해 시간우위를 점유하고, 현재의 도로체계와 독립적인 체계로 비용과 가용성에서도 독립적 우위를 점유해야 할 것으로 예상하고 있다[11]. 더불어 환경적 측면에서 기존의 교통수단보다 적은 Co2배출량과 소음저감효과를 보유해야할 것으로 예상하고 있다.

CNS/ATM 환경하에서 예상되는 소형항공기가 운용되는 소형공항의 개념은 IMC상황에서 자체 관제지역을 설정하고 관제탑 또는 1, 2차 감시 레이더가 없는 공항 으로 설정하고, 공항에 진입하는 항공기는 표준 IFR 비행계획을 제출한 후 Air Traffic Control의 분리 서비스만을 제공받게 된다. 자기통제구역 내에서는 조종사가 다른 항공기(비슷한 수준의 장비 장착)와의 분리에 대한 책임을 갖고, 항공기에 장착된 장비와 절차를 이용하여 접근및 착륙을 수행한다.

고밀도 교통지역내 소형항공기 운용 하에서는 항공관제의 제한에도 불구하고 한 번에 한 대의 항공기가 아닌 다수의 항공기가 비관제 공항의 공역에 진입하여 착륙하게 된다.

기본 개념은 자체 관제지역 내에서 다른 항공기에 대하여 항적분리와 침로에 대하여 조종사가 책임을 가지며 공항관리시스템은 오직 도착 sequence만을 제공하고 충돌에 대한 감시정보는 제공하지 않는다. 다만 자체 관제지역 내에 진입 항공기의 경우 항적 분리를 위한 오직 현행 TCAS와 비슷한 형태로 접근경로상의 항공기에 대하여 충돌 위험 지시 및 권고만을 지원하고 발발 항공기에 대하여는 순서를 제공하지 않는다.

이와 함께 데이터 또는 통신 두절시 절차가 지정되지 않고 상황에 적절한 특정 위치를 지정하여 시현장치를 통해 제공한다. 간단히 설명하자면 IAF주변 5nm 또는 접근 예정 지점 5분 전, 기내에 탑재된 항공전자장비를 통해 공항관리 시스템으로 현위치를 고려하여 자체 관제구역 진입 허

가를 요청한다. 요청을 수령한 공항관리시스템은 항공기성능과 기상조건 등을 고려하여 순차관제 정보를 제공하고 접근 절차에 대한 정보를 데이터를 통해 전송한다. [12]

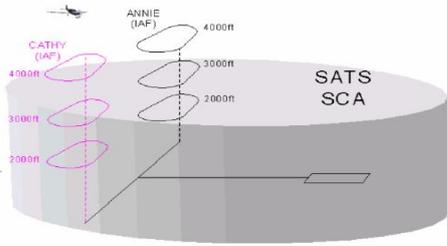


Fig 1. 소형항공기 운용 공항 개념

2.4 CNS/ATM에서 비정밀접근 변화 예측

소형기 운용의 요구조건은 현재보다 상대적으로 향상된 안전성을 위해, 비숙련 조종사의 업무량 감소를 위한 다양한 장비를 탑재, 관제 및 감시 기능을 위한 추가적 장비를 요구된다. 아울러 미래 환경에서는 다수 항공기가 존재하는 고밀도의 공역 운용을 위해 현 관제시스템보다 한 발 앞선 진보된 관제 시스템이 필요할 것으로 예측되며 현재보다 좀더 자율적인 교통 환경이 구성되어 비레이더 상황에서 탑재용 항공전자장비를 활용하여 계기접근절차가 이루어질 것으로 예상된다.

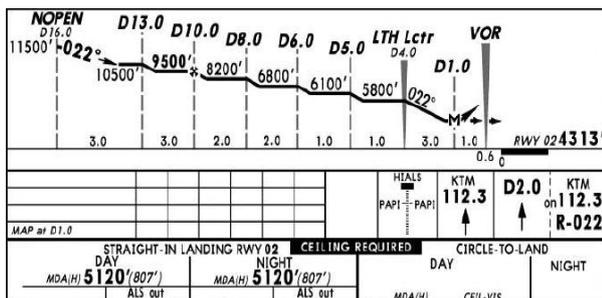


Fig 1. Kathmandu - VOR DME Rwy 02

그림 1은 전형적인 전파항법을 사용하는 NPA로 Multi-step-down을 이용하여 최종적으로 MDA 까지 접근 하는 패턴으로 주어진 MDA의 경우 807ft(AGL)로 정밀접근에 비해 상대적으로 높게 나타내고 있으며 시각참조물이 운영 되지 않을 경우 기정 최소치 또한 증가하고 있어 실제

NPA접근시 제약사항이 많이 나타나고 있다.

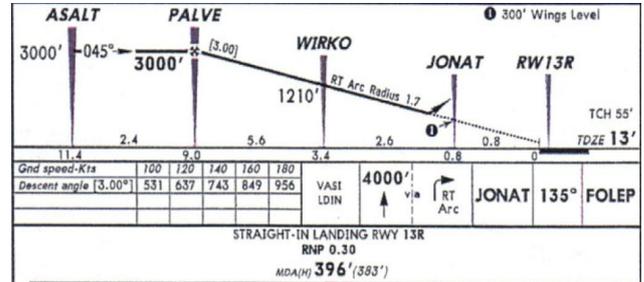


Fig 2. JFK Rwy13R RNP - Baro VNAV

그러나 그림 2의 JFK RNP-Baro VNAV의 경우 기존의 step-down방식에서 CDA로 전환하여 최종 접근 지점까지 접근을 실행할 수 있으며, RNP가 충족되고, Baro data가 제공되어 질 경우 MDA도 383ft(AGL)까지 낮아지는 것을 확인할 있다.

결국 현재의 전파를 기반으로한 접근절차는 정밀접근의 안정성을 제외하고 정밀접근에 있어서는 GNSS를 기반으로 한 비정밀접근과는 그 정확성이나 안정성이 확대되고, 공역 사용의 효율성을 높일 것으로 예측된다.

현재의 항법 시스템 변화추이를 볼 때 2020년 이후 기존의 전파항법은 위성항법으로 대체되고 탑재용 항공전자장비의 경우에도 이와 같은 형태로 전환될 것으로 분석된다.

2.5 소형항공기 항공전자장비 요구사항

위 조건을 비행과정 및 형태로 분류 해보면 기상상황에 제약을 받지 않으며, 항공교통량이 고밀도인 지역에서 운용되고, 항로비행 중 비행체와 운항에 대한 안정성이 향상을 위해 외부 모니터링이 가능하며, 한명의 조종사만으로 운용이 가능한 형태로 기술할 수 있다.

특히 안정적이며 안전한 NPA를 위해 비행안전성 향상이 요구되며 항공기에 탑재되는 항법장비의 구성요소들로는 실시간 항공전자 시스템 모니터링 및 비행 중 시스템 오류 감지와 복구 기능을 적용한 비행체 안전성 확보를 위한 기술요소인 FBW(Fly by Wire), 항로 및공역에서의 항공기 간의 적절한 분리 및 관제를 위해 CNS/ATM을 이용한 성능기반항행(PBN) 및 자

유비행 개념을 이용할 수 있는 운항 안전성 향상 기술요소, 공항 주변에서는, 더욱 증가되는 항공기 항적들을 적절히 분리 및 관제할 수 있도록 지원하는 고밀도 교통지역내 관제수신 기술요소로 구분할 수 있으며, 각 기술요소별 세부항법장비는 다음과 같다.

Table 3. 항공전자장비별 세부기술

비행체 안전성 확보를 위한 항공전자장비
<ul style="list-style-type: none"> ·Fly-by-Wire technology ·Flight envelope protection ·Human-Machine Interfaces ·FLIGHT MODES 지원가능 PFD(AUTONOMOUS : 4D) ·ENHANCED SITUATION AWARENESS (Surrounding Terrain, Flight Trajectory, Flight Envelope Limits)
운항 안전성 향상 항공전자장비
<ul style="list-style-type: none"> ·정확한 위치 정보 수신을 위한 장비 (GNSS 수신기) ·정보를 화면에 표시하는 장비(Multi-Function Display) ·충돌 방지 및 경보 장비, 데이터 전송 및 수신 장비 (ADS-B or UAT with ADS-R, Data Link), ·비행정보 융합을 위한 항공통신, ADS, WFIS, ATFM, ASM, Airborne ATM을 지원하는 통합 ATM 구축 장비 ·전파항로 운용 지원 장비 (Head-Up Display; Enhanced Vision System, 3D Virtual Flight Path) ·위성항행시스템이 도입시까지 항로, 접근, ·출도착의 PBN(RNAV, RNP) 요구사항 지원 장비 ·양방향 데이터링크(Two-way Data Links: CPCDL), 자동 ·조종 데이터 링크(Automation-pilot datalink), ·통신 인터페이스(Communication interfaces) 장비 ·능동형 FMS(Flight Mangement System) ·현재 PFD장비와 연동되는 VD(Vertical Situation Display) ·착륙 순차 정보를 제공하는 공항관리 시스템 (Airport manegement module: AMM) 수신 장비 · AV의 비관제 공역 운용 및 고밀도 운용을 지원하는 IPv6 ATN 장비

2.6 항공전자장비 활용 시뮬레이션 결과

고밀도 지역에 대한 소형항공기 운용(Small Aircraft Transportation System HVO; SATS HVO)을 적용한 공항 주변 공역에서의 항공관제 타당성에 대해 미국 연방항공청(FAA)과 미국 항공우주국(NASA)의 Langley 연구센터(LaRC)에서는 2004년 10월 18일부터 12월 19일에 걸쳐 총 세단계의 실험을 실시하였다[13].

실험대상인 소형항공기는 향후 운용될 다양한 형태의 소형항공기를 포함하는 개념으로서, 관제

요구조건이나 운항성능, 요구되는 탑재장비 등 대부분의조건이 비슷하거나 동일하며 운용 조건 및 적용시스템 또한 비슷하거나 동일한 수준으로 정의 했다.

실험은 실험방법, 실험설계 및 데이터분석기술을 독립변수로 설정하여 1단계(Terminal Sector)를 적용하였으며, IMC상황에서도 Radar가 없거나, 비관제 공항 주변의 공역에서 동시다발적인 항공기 운영이 가능하도록 하기 위해 정립되었으며, 접근 항공기에서 운용지역의 항공기에 대한 모든 감시정보가 탑재 전자장비에 시현되어지는 것을 가정하고 수립되었다. SATS 시나리오에서 교통수준은 동일하였으며 SATS항공기가 자기관제구역에 진입 후 조종사에게 분리책임이 이양되어 관제사작업량은 감소하였다. 결론적으로 SATS 시나리오 동안 실험에서 관제사들이 조금 더 이른 시간에 관제이양을 하는 것이 가능했으며 이에 따라 적극관제하의 항공기 수는 감소하였다.

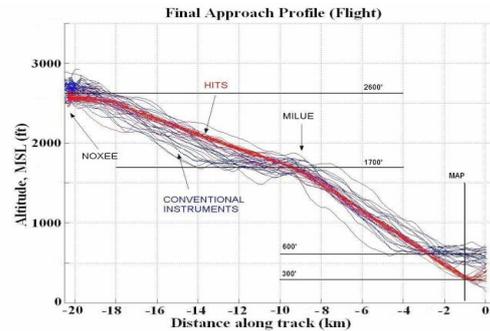


Fig 3. 전파항법과 위성항법 요구 항공전자장비 적용 프로파일 비교(14)

SATS 운용기간 동안 도착항공기 비율(작업량)은 현저하게 증가하였으며, 이것은 관제탑이 운용되지 않는 공항공역으로 한 번에 한 대 이상의 항공기가 착륙할 수 있게 만든 기본적인 절차상의 변화에 따른 것이라고 볼 수 있다. 또한 조종사들의 교통정보 획득 시간과 직관에 따른 반응 시간이 감소됨으로서 운항 안전성이 향상되었음을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 비정밀접근을 기본으로 한 계기 도착 절차에서도 그림과 같이 수직오차가 감소되고 강하각을 유지하고 접근할 수 있는 결과를 보여주고 있어, 효율성 뿐만 아니라 NPA에서의 장애물 안전성과 CDA안정성 모두에

만족할만한 결과를 보여주고 있다.

3. 결 론

현재 국토교통부가 추진 중인 국내 공항 개발 중기계획에는 소형 공항뿐 만 아니라 수상 공항 등 다각적인 소형항공기를 활용한 항공운송계획을 수립하고 있다. 과거 전과항법을 사용하는 기존의 계기접근절차에서 CFIT, LOC-I, LALT, UIMC 등의 위험요소를 줄이고, CNS/ATM 환경하에서 보다 안전한 비정밀접근절차를 수행할 수 있는 탑재용 항공전자장비 구성 요구사항을 제시해 보았다.

CNS/ATM 환경하에서 NPA는 기존의 전과항법에서 위성항법으로 전환될 것으로 예측되며 step-down방식에서 CDA로 전환됨으로서 비용 및 환경, 안전 요구사항이 모두 충족 될 전망이다. 향후 소형 항공기 운용에 안전성을 증진하고 CNS/ATM 환경하에 모의 비행실험을 확보한 비정밀절차 운용 결과를 분석하여 소형항공기 항공전자장비의 기술 표준 및 형식 승인을 위한 안을 제시해 보았다.

참고문헌

- [1] 2015. 7. 2 한국일보 ‘신안 흑산도 소형공항 건설 본격화’
- [2] S. Tsach. 2004, ICAS, A VISION FOR THE FUTURE EVOLUTION OF AIRCRAFT." 24TH INTERNATIONAL CONGRESS OF THE AERONAUTICAL SCIENCES
- [3] 김현수 외, 2010 ‘소형항공기의 고밀도 운용방안 연구’, 항공운항학회
- [4] 김현수 외, 2010 ‘소형항공기의 고밀도 운용방안 연구’, 항공운항학회
- [5] 항공법 186조
- [6] Tomas Levora, 2012, IEEE, Small Aircraft Flight Safety Increasing Using Integrated Modular Avionics
- [7] 국토교통부 훈령제72호, 2009
- [8] 국토교통부고시 제2014-117호, 2014, 항행안전무선시설의 설치 및 기술기준,
- [9] r. Satish C. Mohleji, Andrew R. Lacher

and Paul A. Ostwald, 2011 AIAA, CNS/ATM SYSTEM ARCHITECTURE CONCEPTS AND FUTURE VISION OF NAS OPERATIONS IN 2020 TIME FRAME

[10] 강자영, 2016, 항공경영학회 추계학술대회, CNS/ATM시스템과 RNP 지역항법 운용의 미래 전망

[11] 2015. 10. 26
http://www.ils.uni-stuttgart.

de/forschung/projekte/safar/flyer.pdf
‘SMALL AIRCRAFT FUTURE AVIONICS ARCHITECTURE’

[12] Sally A. Viken, 2005. 24th Digital Avionics Systems Conference, DEMONSTRATION OF FOUR OPERATING CAPABILITIES TO ENABLE A SMALL AIRCRAFT TRANSPORTATION SYSTEM

[13] Victor A. Carreño, October 2003, “Concept for Multiple Operations at Non-Tower Non-Radar Airports During Instrument Meteorological Conditions”, Proceedings of the 22nd Digital Avionics Systems Conference, DASC 2003, pages 10

[14] Sally A. Viken, 2005. 24th Digital Avionics Systems Conference, DEMONSTRATION OF FOUR OPERATING CAPABILITIES TO ENABLE A SMALL AIRCRAFT TRANSPORTATION SYSTEM