스마트무인기 통신 · 관제시스템 개발

이 글에서는 스마트무인기 통신 · 관제시스템의 역할, 특징 및 각각의 시스템 기능에 대해 설명하고, 기존의 정보획득 체계로부터 공용으로 정보를 수신할 수 있는 통합 전술통제장비(TCS : Tactical Control System) 개발동향, 그리고 향후 무인기의 유인기 공역 진입을 위한 요구조건에 대해 소개하고자 한다.

통신 · 관제 시스템 구성 및 특징

스마트무인기 통신시스템 요구사양은 가시선이 확보된 200km 이상의 거리에서 통신신뢰도가 95% 이상이 요구되고, 상향링크 전송 지연시간은 100msec 이하, 하향링크 전송 지연시간은 200msec 이하이고 통신의 안정성을 위하여 상향링크 2채널(주, 보조채널), 하향링크 2채널(주, 보조채널)로 구성된다. 상향링크는 외부에서 발생하는 간섭신호와 전파방해에 대한 방호를 위하여 대역확산기법을 적용한 대역확산 송 · 수신기가 설치되고, 각 채널의 모든 데이터는 비화기능을 갖도록 채널코딩이나 스크램블 기법 등이 적용된 인코딩 기능을 수행한다. 대역확산기법은 전파방해에 대한 anti-jamming의 기능이 있지만 유사 잡음을 첨가함에 따라 대역폭은 아주 넓어지는 현상이 나타난다. 이는 무인기가 군용정찰기로 부터 개발됨에 따른 현상으로 판단된다.

관제장비는 비행체를 통제하는 기능을 가진 장치[비행통제장치(PBY), 임무계획통제장치(NBY), 외부조종기(EPB))와 지원 및 활용장치(지상통제차량(GCV), 셀터 조립체(SASY), 영상조종장치(OBY), 전송장치(TBY)] 2가지 7개 구성품으로 구성된다.

관제장비는 디지털 지도를 이용하여 임무비행 전 비행에 대한 위험 요소를 분석하고 비행 경로의 설정 및 임무장비의 운용 계획 수립 및 지상통신장치를 통하여 비행체 상태정보, 임무장비 상태정보, 임무장비 획득 영상, 통신장비 상태정보를 실시간으로 전달받고 이 정보를 관제장비 내부 모니터에 실시간 도시하고 임무 비행중 생성된 비행정보의 저장 및 재생 · 분석이 가능하도록

김 중 욱 | 한국항공우주연구원, 책임연구원 _e-mail : jwkim@kari.re.kr
조 태 균 | 한국항공우주연구원, 연구원 _e-mail : maycomes@kari.re.kr

설계하였다.

관제장비 특징으로는 비행통제장치가 동작하지 않는 경우 임무불가능 및 자동귀환 불가능 등을 초래할 위험이 있어 비행통제장치와 임무계획통제장치의 기능을 이중화함으로써 시스템 신뢰도까지 향상시키도록 설계하였다. 실시간제어 컴퓨터, 도시 컴퓨터, 터치패널 등을 하드웨어 및 소프트웨어적으로 이중화하여 작동상황을 상호 점검할 수 있도록 하였다. 실시간 제어 컴퓨터는 VME bus, 그래픽 도시 컴퓨터는 CompackPCI를 사용하여 환경조건, 확장성, 범용성을 높였으며 주변장치와의 통신을 위해 serial sevice server를 사용하여 통신 확장성 및 이중화 구성이 용이하도록 설계하였다. 랙은 인체공학적인 설계 기법을 도입하였으며 모니터의 틸팅 기능을 추가하여 사용자의 편이성을 고려하였으며, 유지보수 관점에서 접근성을 최대한 고려하여 설계되었다. 또한, 디지털지도 데이터와 지형고도 데이터를 활용하여 비행계획 및 비행분석을 실시간으로 수행할 수 있도록 하였으며, 영상을 압축하여 ATM망을 통하여 실시간으로 타 지역으로의 전송이 가능토록 설계 하였다.

스마트무인기에 적용되는 통신은 Ku-band를 이용하는 주통신, UHF-band를 이용하는 보조통신채널로 분류하였다. 주통신은 보조통신에 비해 주파수 대역폭이 넓어 영상신호와 원격측정 및 제어 데이터를 동시에 전송하고, 보조통신은 주통신에 비해서 먼 거리에서도 통신 신뢰성이 우수하여 주통신 두절이나 통신 불량으로 인한 비행체 운용이 어려운 경우에 사용한다.

탑재통신장비는 탑재통신제어기, 보조통신(극초단파) 송수신기, 보조통신(극초단파) 다이플렉서, 보조통신(극초단파) 고출력 증폭기, 대역확산수신기, 영상압축기, 광대역 변조기, 주통신(Ku 대역) 송수신기, 주통신(Ku 대역) 고출력 증폭기, 주통신(Ku 대역) 다이플렉서, 주통신 지향성 안테나, 보조통신 무지향성 안테나로 구성된다. 지상통신장비는 지상통신제어기, 보조통신(극초단파) 송수신기, 보조통신(극초단파) 고출력

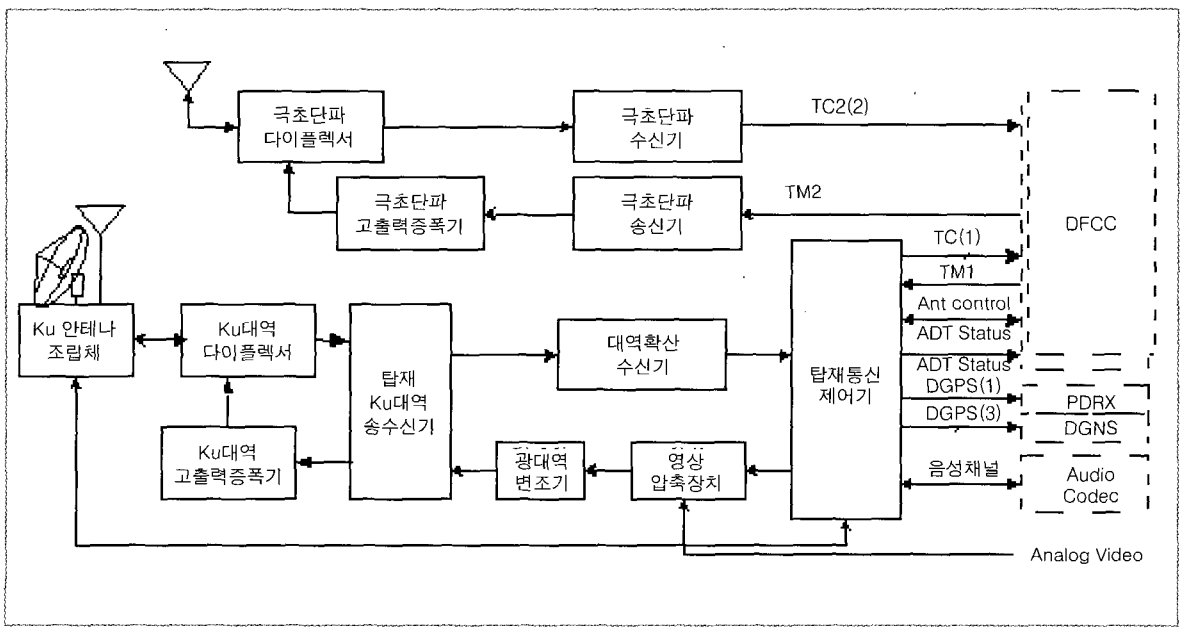

그림 1 탑재통신장비 구성도

증폭기, 보조통신(극초단파) 다이플렉서, 대역확산 송신기, 광대역 복조기, 영상복원장치, 주통신(Ku 대역) 송수신기, 주통신(Ku 대역) 고출력 증폭기, 주통신(Ku 대역) 다이플렉서, 주통신(Ku 대역) 안테나 추적시 스템, 주통신(Ku 대역) 지향성 안테나, 보조통신 무지향성 안테나로 구성된다.

통신에서 주상향 링크는 직접확산통신방식(DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum)/BPSK(Binary Phase Shift Keying) 변조방식을 사용하며 최대 200kbps까지 데이터 전송이 가능하며, 주하향 링크는 위상변조방식(OQPSK : Quadrature Phase Shift Keying) 등의 광대역 변조방식을 이용하여 10.71Mbps 데이터 전송이 가능하다. 보조상향/하향 링크는 가시오시안주파수편이(GMSK : Gaussian Mary Shift Keying) 변조방식을 이용하여 51.2kbps 데이터로 전송한다.

GMSK 변조방식을 이용한 보조통신은 대역폭당 효율이 좋고, 변조신호가 위상각 0° 지점을 지나가지 않으므로 고조파 신호발생이 적고 고전력 증폭기의 비선형 구간에서도 신호왜곡이 적다. 무인기(UAV) 에서의 보조통신은 주통신만큼 신뢰성이 보장되어야 한다. 비행조종명령, 압축음성정보, DGNS 보정신호, link control 정보를 송/수신하고, 콘벌루션/비터비 코딩, 블럭코딩, TDD통신방식을 채택하였다.

임무장비로부터 전송되는 아날로그 영상신호는 640×480 이상의 MPEG 2 혹은 JPEG 기법으로 압축/복원을 하여 telemetry 데이터와 다중화/역다중화 기능을 수행한다. 비행체에는 지향성 안테나와 무지향성 안테나를 장착되고, 지향성 안테나 제어는 항공전자장비로부터 방위각과 고각 데이터를 탑재통신제어에서 받아 안테나 제어를 수행하고 무지향성 안테나는 비행체 뱅크각도가 최대 40° 이하이므로, 안테나 고각 빔폭은 3dB에서 60°, 방위각 빔폭은 3dB에서 80°로 설계되어 장착된다. 지상 지향성 안테나는 주통신 하향주파수 대역에서 360° 자동추적이 가능하며 추적속도는 10deg/sec, 이때 안테나 페데스탈 방위각은 0 ~ 3 59°, 고각은 +30° ~−10° 범위 이상으로 조절이 가능하다.

스마트무인기의 통시시스템 요구사양은 200km 이상이다. 이로 만족하기 위하여 최적의 통신시스템을 설계하고, 지상추적안테

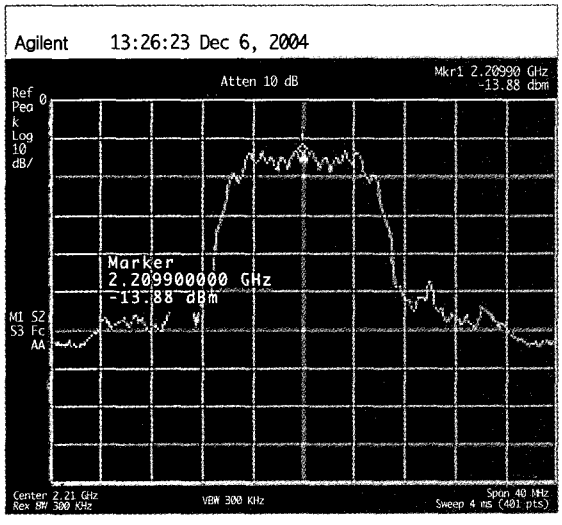

그림 2 직접확산통신방식 스펙트럼

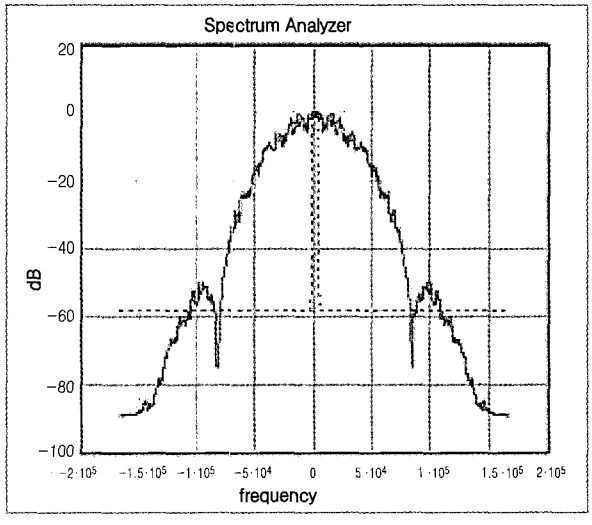

그림 3 가오시안 주파수최소편이방식 스펙트럼

스마트무인기의 관제장비의 가장 중요한 비행통제 기능을 비행통제장치와 임무계획통제장치에 이중화를 적용함으로써 시스템 신뢰성 향상 및 향후 무인기 다중 관제기술인 Hand Over 기술을 개발할 수 있도록 설계가 이루어졌다.

나의 far-field 빔폭 특성을 매우 날카롭게 하였고, 고출력증폭기 규격 채택에 있어 공기냉각 방식이 가능한 solid state power ampiflier, C급 증폭기를 선정하였다. 이로 인한 전력증폭기의 열손실은 불가피하다. 특히 주통신의 경우 빔폭이 매우 좁은 관계로 인해 모노펄스 방식 방위각 자동추적은 아주 정교한 시스템으로 적용되어야 한다. 움직이는 비행체 추적이 중도에서 끊기는 현상이 발생 시에는 임무수행을 중단하고 다시 귀환할 수 없다. 스마트무인기의 통신시스템은 움직이는 microwave 통신시스템이다. 비행체가 400km/h 이상으로 기동함에 따라 발생하는 전파의 도플러효과, Shadowding, fading 현상을 고려하여 비행체 안테나의 장착위치 및 송수신 클럭 동기화 방안를 결정해야 한다.

비행통제장치

비행통제장치는 수립한 임무계획에 의해 비행통제 임무를 수행하는 장치로 비행체, 임무장비, 통신장비를 제어하기 위해 각각의 제어 명령을 생성하여 그 제어 명령으로 각 장비들을 제어하고, 각각의 장비들로부터 전달 받은 비행체 상태, 임무장비 상태, 통신장비의 상태를 문자 또는 그래픽 처리하여 모니터에 도시한다. 또한 임무비행 종료 시 저장된 각종 데이터를 분석할 수 있다. 비행통제장치 주요기능으로는 비행체 통제, 통신장비 제어, 통신장비 상태표시, 비행정보 도시, 내 · 외부장비와 데이터 통신, 임무계획 및 임무상황 도시, 정보관리고장진단, 이중화 기능이다.

임무계획통제장치

임무계획 통제기능은 크게 임무계획 수립 및 분석으로 구분할 수 있다. 임무계획 수립이란 운용자가 비행에 앞서 지도상에 무인기에 대한 운용 계획을 설정하는 것을 의미하며, 임무계획 분석은 설정된 비행계획에 대한 통신 가시선 분석, 두 지점사이의 단면도 분석 그리고 충돌분석 등을 수행한다. 스마트무인기 임무계획 통제장비의 경우 비행통제장치의 신뢰성 상실에 따른 위험도를 최대한 줄이기 위한 이중화 기능이

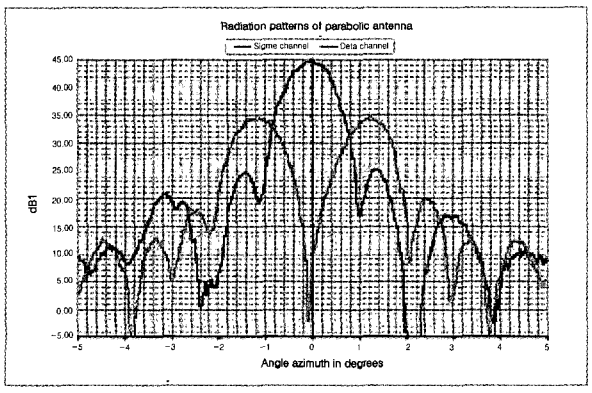

그림 4 지상추적안테나 빔패턴도

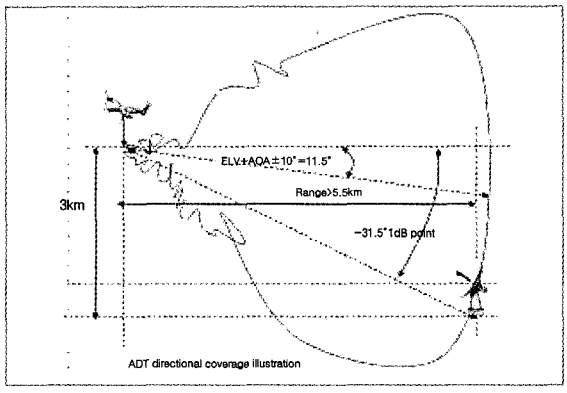

그림 5 비행체 -지상간 운용을 위한 빔패턴

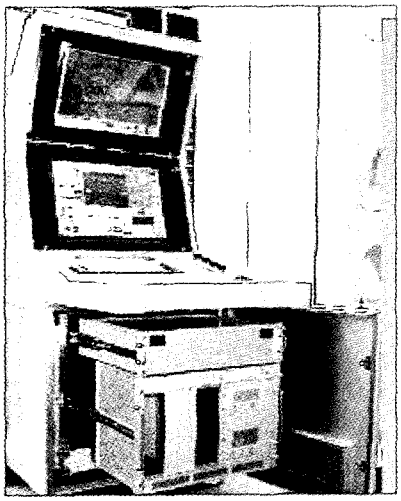

그림 6 스마트무인기 비행통제화장치

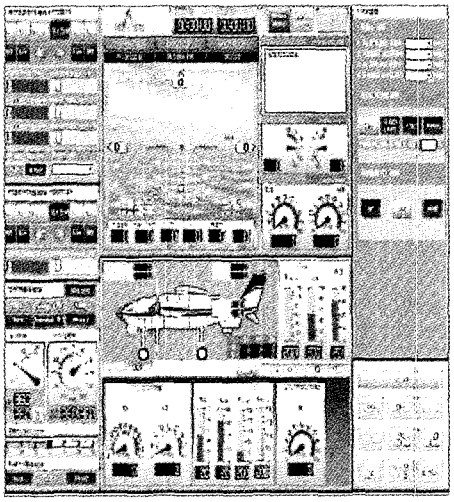

그림 7 스마트무인기의 비행통제화면

포함되도록 설계되어 있다.

임무계획 수립

임무계획 수립 기능은 크게 종합설정, 임무계획 그리고 임무상황 도시로 구분하여진다. 종합설정에는 비행계획에 관련된 비행계획설정, 비행계획열기, 비행계획저장, 비행계획 편집이 있으며 비행수행을 위한 화면자동조절, 비행항적저장, 비행계획전송, 분석결과 전송이 있고, 지도화면 설정, 상세설정, 비행계획 외부입력, 비행계획 외부출력, 화면파일저장, 프로그램 종료로 구성 하였다. 임무계획 설정은 비행구역 설정, 제한구역 설정, 장비 설정, 비행초기화 설정, 자동귀환 설정, 항로선 설정, 항로점 설정, 귀환점 설정 기능 등이며, 설정된 임무계획은 비행통제장치와 영상조종장치로 전송되어 동일한 임무계획을 공유할 수 있도록 설계되었다. 그리고 디지털 지도를 이용하여, 설정된 임무계획 및 임무상황을 도시하도록 되어 있다.

임무계획 분석

통신 장비의 위치와 DTED 데이터를 이용하여 통신에 대한 가시선 분석을 수행하며, 임무 계획 시에는 비행 고도별로 가시선 분석, 디지털 지도의 고도 데이터를 이용하여 보다 정밀한 표적 위치를 계산 및 비행체의 전방 방향에 대한 지면과의 충돌 여부가 있는지를 분석하게 된다. 또한, 현재 비행체의 정보를 바탕으로 해서 제한 구역 진입 분석을 수행한다. 위 임무계획에 대한 분석은 비행이륙 전 및 비행 중 실시간으로 분석이 가능하도록 되어 있다.

이중화

임무계획통제장치의 임무계획통제 컴퓨터 조립체는 비행통제장치의 비행통제 컴퓨터 조립체의 이상 여부를 감시하고 있다가 비행통제장치의 비행통제 컴퓨터 조립체에 이상이 발생할 경우 자동으로 비행통제장치 운용자 조종조립체, 외부조종기와 연결되어 실시간으로 비행통제에 필요한 명령을 송·수신할 수 있다. 이를 위해 임무계획통제장비에 비행통제에 필수적인 터치패널 및 노브 인터페이스를 장착하였으며, 비행체로부터 수신된 비행정보는 비행통제장치 및 임무계획통제장치에 동시에 전달되도록 설계하였다. 그러나 비행조종의 우선권은 비행통제장치의 비행통제 컴퓨터 조립체에 있다.

무인기 관제 동향 및 전망

현재 무인항공기 시장은 군수시장을 통해 빠른 속도로 성장하고 있으며, 근래의 군사적 충돌지역에서 운용되는 무인항공기를 보면 많은 부분에서 괄목할 만한 기술적인 발전을 이루어졌음을

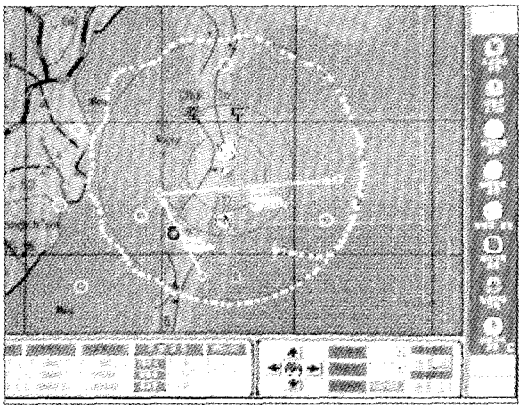

그림 8 장기체공무인항공기의 비행궤적 도시 화면

보여주고 있다. 그러나 현재 민간 무인기 시장은 크게 증가하지 못하고 있으며 주요 장벽으로는 민간 UAV를 위한 인증 절차와 법규들이 현재 거의 정의되어 있지 않으며, 주파수 · 공역 등의 제약 그리고 민간 UAV의 운용을 지원하는 ATM(Air Traffic Management) 법규와 절차가 만들어지지 않고 있으며 그로 인해 ATM으로 UAV가 통합되었을 때의 문제점 역시 연구가 미진하다는 점이다.

무인기 시스템 개발 전망으로는 타 무인 항공기 및 유인 항공기와 중복되는 부분에 대해 공통성을 가질 수 있도록 개발하여 상호 운용성을 증대시키고, 개발 및 운용 비용을 절감 시켜가는 추세이다. 현재 미국에서는 공통화 노력의 일환으로 모든 무인 항공기 체계의 통제가 가능하며 유인 비행기 및 무인 비행기를 포함하여 기존의 정보획득 체계로 부터 공용으로 정보를 수신할 수 있는 통합 전술통제장비(TCS : Tactical Control System)를 2015년 경까지 개발 완성을 목표로 하여 초기 연구가 진행되고 있다.

민간 무인항공기를 위한 인증절차와 법규-세계 동향

UAV를 위한 인증 절차와 법규의 연구가 가장 활발한 곳은 유럽이다. 영국의 CAA(Civil Aviation Authority)는 민간 공역에서의 UAV 운용에 대하여 다음과 같이 정의하고 있다. "영국 내에서의 UAV운용은 반드시 유인기의 안전과 운용 기준과 같거나 혹은 그 이상의 기준을 만족해야 한다. 따라서 UAV 운용은 유인기와 같이 안전해야만 하며 인간 혹은 공중 상 혹은 지상의 재산에 해가 되거나 혹은 위협을 초래하여서는 안 된다." 스웨덴은 UAV를 4개의 클래스로 나누고 있으며 가장 큰 사이즈인 Class 4를 다음과 같이 정의하고 있다. "이 클래스는 민간 공역에서 동시에 운용이 가능하다. 운용은 현대 유인기가 인간 혹은 지상과 바다 그리고 환경에 초래하는 안전 위협보다 큰 안전 위협을 발생시켜서는 안 된다." 이외에 핀란드, 이태리, 스위스, 호주, 일본 등도 연구를 진행하고 있으며 이들의 공통된 기준은 유인기와 동등한 혹은 그 이상의 안전도를 요구하고 있다는 것이다. 이를 만족시키기 위한 기술적인 수준은 아직 미흡하다.

무인항공기에 대한 ATM 요구조건

1. 통제 공역에서의 UAV 운용 : UAV는 유인기와 같은 방식으로 수직, 수평, 측면 방향으로 항시 이격이 가능해야만 한다. 더불어 UAV는 모든 탑재 장비에 대해 인증을 받아야만 한다. 민간 공항에서 이 · 착륙이 계획되어 있다면, UAV는 공항의 지상 장비와 완벽하게 호환이 되는 장비를 탑재해야 한다. 민간 공항에서 운용 시 가장 문제가 되는 부분은 지상 운용이다. UAV는 유인기와 지상운용 차량 등이 혼합된 트래픽 내에서 이륙 준비를 해야만 한다. 주차위치에서부터 택싱 그리고 활주로 진입까지를 UAV 단독으로 수행해야만 한다. 이것은 현재의 UAV 시스템으로 볼 때 상당한 어려움 이 따른다. 또한 단거리 이륙 능력이 있거나 지상 발사 UAV의 경우 이 · 착륙은 ATM으로의 통합의 관점에서 추가적인 문제를 야기할 것이다. 대안으로는 UAV를 위한 전용 텍시 웨이를 이용하는 것이다. 이것

은 일반 유인기 트래픽을 최대한 피할 수 있는 방법이 될 것이다. 또한 UAV 단독으로 주차위치에서 활주로까지 유인기와 같은 방식으로 견인하는 방법도 있을 수 있겠다. 이러한 UAV 지상운용의 다양한 문제들로 인하여 ATM으로의 적절한 통합은 근 미래까지 실현이 불가능할 것으로 예상된다. 민간 통제 공역에 참여하는 UAV는 민간 공항에서 이·착륙을 할 수 없으며 따로 떨어진 곳에서 해야만 한다.

2. 비 통제 공역에서의 운용 : UAV는 VFR 운용을 할 수 없을 뿐더러 VFR 트래픽에 대한 대처가 현재 기술로는 매우 미흡하다. 그러므로 비 통제 공역에서의 UAV 운용의 실현은 미래에 가능할 것이다.

전술통제체계(TCS : Tactical Control System) 개념 및 특징

TCS는 통합 전술통제장비로 미 육군의 TUAV(Tactical Unmanned Aerial Vehicle), 미 해군의 VTUAV(Vertical Take-off and Landing Tactical UAV), 미 공군의 RQ-1 Predator MAE(Medium Altitude Endurance) UAV, Future Tactical and MAE UAV를 조종하기 위해 설계된 소프트웨어와 소프트웨어에 관계된 하드웨어를 통칭한다. 현재까지 개발된 무인 항공기 시스템은 서로 다른 체계로 개발되었기 때문에 서로의 정보를 실시간으로 공유하기에는 상대방 시스템의 일부 혹은 전부를 갖추어야 하는 문제가 발생하게 되었다. TCS는 서론에서 언급한 것과 같이 미군이 자국에서 개발한 여러 기종의 무인 항공기 및 유인 항공기를 통합 운용하고, 획득한 정보를 공용화하기 위해 개발한 시스템이다. 지금까지는 타무인 항공기 시스템 사용자와 최종 정보 사용자들은 각 무인 항공기 시스템에서 획득한 데이터를 공유하기 위해 각 무인 항공기 시스템의 일부 혹은 전부를 갖추어야 하는데, 이는 매우 비효율적인 시스템 이용 방법이다. 이를 보완하기 위해 새로운 개념으로 등장하게 된 TCS는 기존 무인 비행기 시스템과 타 무인기 시스템, 최종 정보 사용자들 사이에 데이터 공용이 가능하도록 데이터 변환 및 가공·처리를 할 수 있는 모듈화된 공통 매개체를 두는 방식이다. 각 무인기 시스템 사용자 및 최종 정보 사용자들은 모듈화된 매개체를 이용하여 추가적인 시스템 구축 없이도 데이터를 공용할 수 있고, 자신의 시스템에 이 모듈을 추가하여 타 무인 항공기 시스템에서 획득한 정보를 직접 공용할 수도 있게 되어 시스템 이용 및 정보 이용에 있어 공통성 및 상호 운용성(C&I : Commonality & Interoperability)을 확보할 수 있다. 이 밖에도 TCS는 open system으로 구성하여 개발 비용과 Integration에 소요되는 비용의 절감효과를 가져올 수 있고, 모듈화된 지상관제장비(GCS : Ground Control System)의 하드웨어, 소프트웨어로 구성되기 때문에 다른 시스템으로의 응용이 가능하고, 개발에 따른 위험 요소를 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 기존의 C4I 체계와 연동하여, 추가적인 시스템 개발 없이도 신속하게 데이터를 최종 정보 사용자에게 전파할 수도 있는 이점도 가지고 있다. 스마트무인기 통신/관제시스템은 해외 완제품 도입형태의 개발에서 탈피하여 국내 기술기반을 바탕으로 한 국내 무인기 통신·관제시스템 개발규격을 선도하고, 향후 해외시장 진출을 목표로 하고 있다.