

자율비행기술 동향

성기정*, 김응태**, 김성필***

Development Trend of the Autonomous Flight Control Technology

Kie-Jeong Seong*, Eung-Tai Kim**, Seong-Pil Kim***

ABSTRACT

This paper describes the current research trend and future development direction of autonomous flight of the aircraft. The autonomous flight means that aircraft control system recognize and cope with the emergency situation confronted during the flight by itself.

Current research for autonomous flight technology is mainly performed for the application to unmanned air vehicle. Considering advent of future air traffic management system and increasing demand of the unmanned air vehicle application, however, autonomous flight technology required to be combined with future air traffic management system. In this paper, the current air traffic management system and anticipating change in future air traffic management system was investigated and research activities of autonomous flight technology was described as well as future prospect.

초 록

본 논문에서는 자율비행(Autonomous Flight)의 연구동향 및 향후 발전방향에 대하여 기술하였다. 자율비행은 항공기의 예기치 않은 임의 상황발생에 대해서도 항공기가 스스로 인지하고, 판단한 후 대처하는 것을 의미한다. 현재의 자율비행기술은 무인기를 위주로 개발되고 있으나, 차세대 항공교통관제 시스템 도입과 무인기의 활용성 증대 요구에 따라 자율비행기능이 항공교통관제시스템과 결합되어야 한다. 그러므로 현 항공교통관제 시스템의 주요 개요와 향후 변경될 차세대 항공교통관제 시스템의 주요 사항들을 살펴보고, 자율비행기술 개발 현황을 기술하였으며 향후 발전방향을 전망하였다.

Key Words : Aeronautics (항공), Autonomous Flight (자율비행), Collision Avoidance(충돌회피)

* 성기정, 한국항공우주연구원 항공사업단 항공미래기술연구실 첨단비행제어팀
kjseong@kari.re.kr

** 김응태, 한국항공우주연구원 항공사업단 항공미래기술연구실 첨단비행제어팀
eungkim@kari.re.kr

*** 김성필, 한국항공우주연구원 항공사업단 항공미래기술연구실 첨단비행제어팀
spkim@kari.re.kr

1. 서론

자율비행(Autonomous Flight)은 항공기의 예기치 않은 임의 상황발생에 대해서도 항공기가 스스로 인지하고, 판단한 후 대처하는 것을 의미한다. 자율비행기능으로는 실시간 비행계획 수립 및 변경, 충돌회피, 자동 이착륙, 고장시 대체조종을 위한 재형상제어, 고장 예측 및 진단, 임무계획 수립 등을 포함한다.

기존의 자동비행(Autopilot)의 경우 미리 입력한 경로에 따라 비행을 하거나, 조종사의 조작에 의해 주어진 조건의 비행 상태를 유지하는 기능으로, 공중충돌 이라든지 항공기 고장, 기상조건 변화 등에 능동적으로 대처할 수 없는 기술을 의미하는 것이지만 자율비행의 기초단계로 구분된다.

현재의 자율비행기술은 무인기를 위주로 개발되고 있으나, 차세대 항공교통관제 시스템 도입과 무인기의 활용성 증대 요구에 따라 자율비행기능이 항공교통관제 시스템과 결합되어야 한다. 그러므로 현 항공교통관제 시스템의 주요 개요와 향후 변경될 차세대 항공교통관제 시스템의 주요 사항들을 설명한 후 자율비행기술 개발 현황을 파악한 후 향후 발전방향에 대하여 설명하였다.

2. 항공교통관제시스템

현재까지 항공교통수요는 꾸준히 증가하여 현재의 항공교통관제소(ATC ; Air Traffic Control)의 처리 능력은 포화상태에 당면하고 있다. 미국의 경우 2025년에는 현재의 2~3배로 항공교통수요가 증가할 것으로 예상되고 있으며, 유럽의 경우도 2.5배로 증가할 것으로 예측되고 있다.

국내의 항공교통량 증가율은 연평균 10%로서 세계 평균 성장률(연평균 5%)의 2배에 달하는 급성장 추이를 보이고 있으며, 매 7.5년마다 2배로 증가하고 있어 2025년에는 현재의 4배 이상의 항공교통량을 처리해야 할 것으로 전망되고 있다.

이러한 항공교통관제능력을 제한하는 가장 큰 요인은 항공기 운항자체가 지상의 관제센터의 지시에만 의존하는 현재 관제시스템의 한계 때문이다. 현재의 ATC는

고정된 항로체계에 한해서 항공기가 비행을 하고, 이 항로에 대하여 항공기간의 충돌위험 인지 후 조치 및 항공기 운항안내를 관제사의 무전을 통한 지시에만 의존하고 있다. 이러한 경직된 항공운항이 항공기 운용의 유연성을 제한하고, 특히 일정 공역에 대한 운항능력이 지상에서 관제하는 관제사의 업무량에 따라 좌우되는 한계성을 갖고 있다.

국제민간항공기구(ICAO)는 이러한 기존 항행운항시설의 문제점을 해결하기 위하여 1991년에 첨단 디지털 기술을 적용한 신개념 시스템인 차세대 항행시스템을 정립하고, 2015년경까지 가맹국에 구축을 권고하고 있다. 이러한 차세대 항행시스템은 발전된 전자기기를 이용하여 항공기 관제에 필요한 모든 정보를 항공기에 제공하여 지상관제소의 권한과 책임을 운항하는 항공기로 분담시키고 지상관제 업무를 경감시켜 ATC 처리능력을 확대하고, 안전성을 강화시키는 개념이다. 이러한 차세대 항행시스템 구현의 핵심기술 중의 하나로 자율비행능력을 필요로 한다.

2.1 현재 항공교통관제

항공교통관제 업무의 목적은 항공기간의 충돌 방지, 항공기와 장애물간의 충돌방지, 항공교통의 촉진 및 질서 유지를 위하여 행하는 것이다. 관제사의 업무는 다양하지만 최우선 임무는 항공기 분리와 경보 업무이다. 항공기의 관제는 다음과 같이 3가지로 구분된다.

- 비행장 관제 : 공항에서 이륙 후 일정 위치까지, 일정 위치로부터 공항에 착륙할 때까지 공항관제탑이 관리(인천공항의 경우 거리 9km, 높이 0.9km)
- 접근관제 : 공항으로부터 일정범위내(인천공항의 경우 거리 108km, 높이 6.6km)까지 접근관제소에서 관리
- 항로관제 : 접근관제구역을 벗어난 후 항공교통관제소가 관리

항공기의 항로의 경우 일반적으로 폭 10마일(약 18km), 최저높이 8,000ft(약 2.4km)로 구성되어 있다. 이러한 동일 항로에 대하여 여러 항공기가 운항하는 일이 자주 발생하므로, 상호 안전을 위하여 그림 1과 같이 수직

으로 비행고도 29,000ft 이하에서는 1,000ft로, 비행고도 29,000ft 이상에서는 2,000ft로 항공기간 수직분리를 적용하고 있으며, 수평으로는 레이더로부터 40mile 이내에서는 3mile, 40mile 이상에서는 5mile의 수평분리를 적용하고 있다.



그림 1. ATM(Air Traffic Management) 수직관리 영역 구분

또한 교통량 처리능력 확대를 위하여 수직분리 간격을 반으로 줄이는 RVSM(Reduced Vertical Separation Minimum)이 확대되고 있으며, 우리나라의 경우도 2005년 9월 30일부터 이를 시행하였다.

이러한 항로가 고정되는 것은 계기비행이 VOR(Very High Frequency Omnidirectional Range)을 사용하기 때문이며, VOR은 지상에 설치된 VOR 안테나에서 발생시키는 두 개의 교류신호 사이에 형성되는 위상차를 이용하여 항공기 방향을 파악하는 방식으로 항공기가 VOR을 통과하면 다음 지나야 하는 VOR을 향해 비행하는 방식이다. 즉 지상에 설치된 등대들을 순서대로 지나가는 방식과 같다.

2.2 차세대 항공교통관제 시스템

ICAO는 현재의 항공교통관제시스템으로는 급격히 증가하는 항공수요를 처리할 수 없다고 판단하여, 위성을 기반으로 항공기의 정보를 모든 항공기와 관제탑간에 긴밀히 주고받아 공유하고, 이를 바탕으로 항공기의 자율성을 분담하여 현행의 교통관제 시스템의 한계성을 탈피하고자 차세대 항공교통관제시스템인 CNS/ATM(Communication, Navigation, Surveillance / Air Traffic Management)을 계획하고, 2015년까지 적용할 것을 권고하고 있다.

미국에서는 이에 대한 연구 프로젝트로 NexGen

(Next Generation Air Transportation System)을 진행하고 있으며, 2025년까지 약 700억불(약 80조원)이 투입될 계획이다.

가. CNS/ATM

그림 2와 같이 현재의 항공교통관제가 지상의 관제소에 의해서 관리되고, 항로 운항이 VOR을 통과해야 하는 문제를, CNS/ATM은 그림 3과 같이 위성을 이용하여 항공기간의 위치, 기상 정보 등 관제정보를 항공기들에게 제공하고, 이를 통하여 항공기가 자율적으로 충돌을 회피하면서 유연한 비행을 할 수 있도록 하고 지상관제의 통제 업무를 최소로 감소시키는 개념이다.

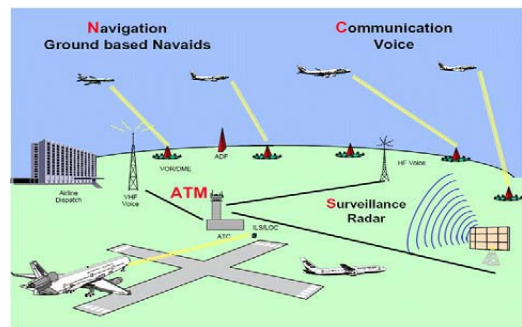


그림 2. 현 ATM 개념도

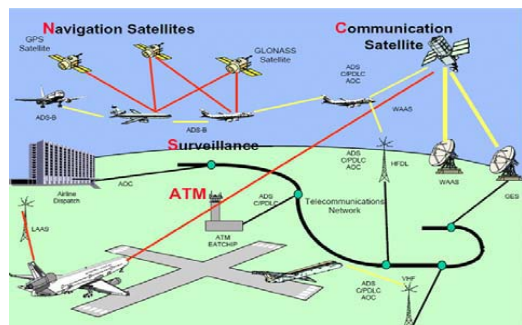


그림 3. CNS/ATM 개념도

나. NexGen

NexGen의 목표는 2025년에 현재의 3배 항공수요를 소화할 수 있는 관제시스템을 개발하는 것으로, 이동시간을 현재의 30%로 감소시키고, 정시도착률을 95%로 향상시키는 것을 목표로 하고 있으며, 무인기, VLJ(Very Light Jet)등 다양한 형태의 항공기의 운용도 수용하는 것도 포함하고 있다.

운용개념은 항공기 궤적기반의 운영, 분산결정, 상황

공유인지로 구분된다.

항공기 궤적기반 운영은 그림 4와 같이 현재의 항공기 위치, 속도, 방향에 기반을 둔 관제가 아닌 항공기의 비행계획과 항공기 위치 불확실성이 감안된 시간을 함수로 한 항공기 관제를 의미하며, 4D Trajectory Based Operations이라고 한다.

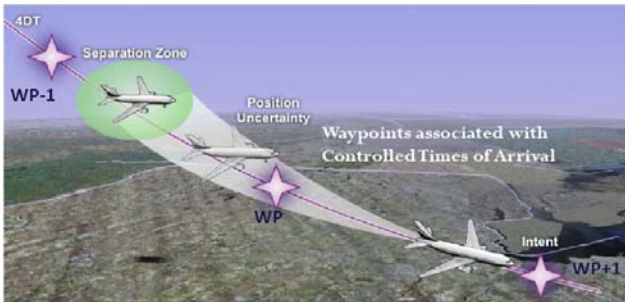


그림 4. 4D Trajectory 기반 운영도

분산결정운영은 그림5와 같은 개념으로 자동차 도로와 같이 한 방향으로 많은 수의 항공기를 운항할 수 있도록 항로를 설정하고 이 영역에 출입하는 항공기가 자율적으로 안전하게 통과할 수 있는 기능을 갖추는 운항시스템으로, Flow Corridor Tube라고 한다.

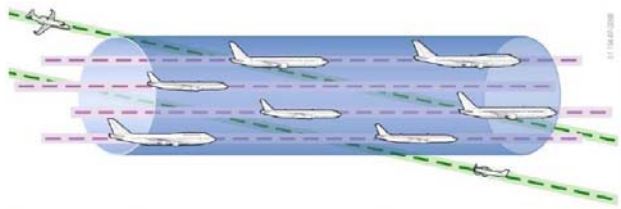


그림 5 Flow Corridor Tube 개념도

상기 개념의 확장으로 NASA에서는 자동차 도로와 같이 속도별로 여러 차선을 운영하고 진출입 구간을 설정하여 자동차 고속도로와 같이 운영하는 Dynamic Multi-Track 항로 개념을 그림 6과 같이 연구하고 있다.

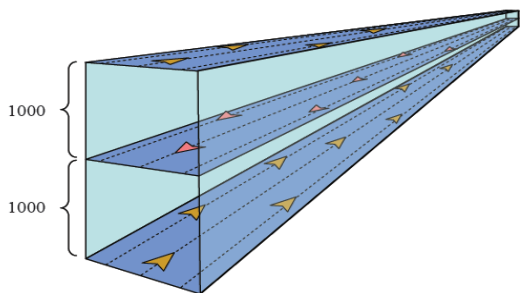


그림 6. Dynamic Multi-Track Airway 개념도

또한 대도시 공항근처에서의 고밀도 관제를 위한 연구, 분산결정, 악기상 회피를 위한 유연한 비행계획 변경, 연료 최적화 연구도 진행되고 있다.

다. Free Flight

이와 같이 차세대 항공관제시스템은 그림 7에서 비교한 것과 같이 기존의 지상에 고정 설치된 VOR을 기준으로 비행하던 경직된 항로를 기준으로 비행을 하지 않아도 되므로, 항로를 좀 더 자유롭게 구성할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 비행개념을 자유비행이라고 하며, 이는 항공기가 자기 마음대로 비행한다는 것이 아니라 기존의 항로를 좀 더 다양하게 설정한다는 개념이다.

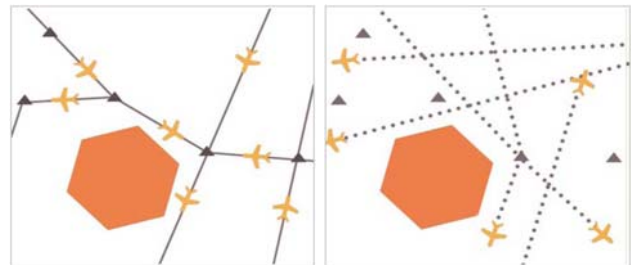
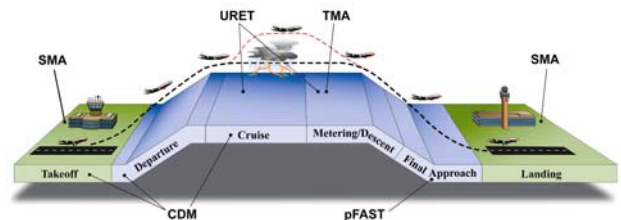


그림 7. 기존의 VOR 기반 항로와 자유비행 항로 개념비교

미국의 경우 단계별로 자유비행 구축계획을 수립하여 그림8과 같이 교통관리조언(TMA : Traffic Management Advisor) 시스템, 최종접근시의 수동분리도구(pFAST : Passive Final Approach Spacing Tool), 공역사용자 요구사항 평가도구(URET : User Request Evaluation Tool), 협업의사결정(CDM : Collaborative Decision Making) 도입, 관제사-파일럿 데이터 통신(CPDLC), 지상이동조언(SMA : Surface Movement Advisor) 시스템을 개발하고 있다.



SMA : Surface Movement Advisor
 CDM : Collaborative Decision Making
 TMA : Traffic Management Advisor
 pFAST : Passive Final Approach Spacing

그림 8. 자유비행 운항절차

유럽의 경우 2000년부터 2005년까지 EC의 지원과 ENAV (이태리), AENA (스페인), DSNA (프랑스), HCAA (그리스), MATS (몰타), NERLU (영국), NLR (네델란드), SCAA-LFV (스웨덴), EUROCONTROL 등 여러 유럽국가기관들이 참여한 “지중해지역 자유 비행프로그램 (MFF Programme)”라는 국제협동사업을 통하여 혁신적 항공교통관리기술에 대한 유럽의 합의를 이끌어낸 바 있다.

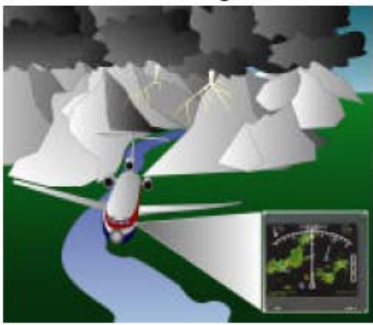


그림 10. 레이더 미 감시지역 운항

라. Safe Flight 21 (SF21)

미 정부와 기업이 공동으로 진행한 연구프로젝트로 항공기의 안전운항과 효율 증대를 위하여 화물항공사 협회에서 진행한 Ohio Valley 프로그램과 알래스카 지역 소형항공기의 운항 안전과 효율을 증대시키기 위한 Capstone 프로그램 2개로 진행되었다. 이 프로그램은 1998년도 RTCA(Radio Technical Commission for Aeronautics)에서 Flight 2000/Halaska 프로젝트를 대체하기 위하여 시작되었다.

SF21의 목적은 단기간에 새로운 CNS (Communication, Navigation, Surveillance)기술과 절차를 과급하기 위한 것으로 이러한 새로운 기술을 적용하는데 있어서의 위험을 줄이기 위하여 시범운용과 이를 통한 검증을 수행하였다.

SF21의 내용은 4분야에 있어서 9개운항절차를 개선 하는 것으로,

1) Air-to-Air(그림 9)

- 항공기간 분리표준 개선
- 저시정 접근 개선
- See and Avoid 기능 강화
- 공중 항로 운항 개선

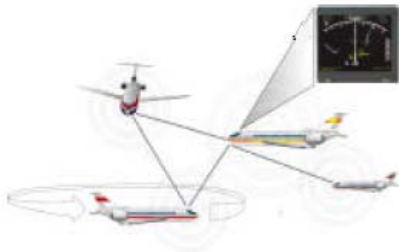


그림 9. 항로에서의 비행정보교환 개념

2) Air-to-Ground(그림 10)

- 레이더 미 감시지역에서의 대체 감시기능 확보
- 지형에 대한 관제유도 비행에 대한 적절한 감소

3) Ground-to-Ground(그림 11)

- 유도로에서의 이동항법 개선
- 지상 이동체에 대한 관제관리 강화



그림 11. 공항내 지상운용 정보교환

4) Ground-to-Air(그림 12)

- 기상 및 필요 데이터 조종석에 제공

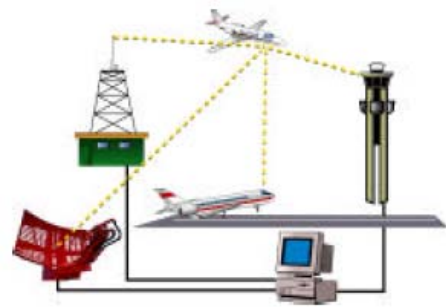


그림 12. 지상으로 항공기로의 비행정보

로 진행되었다.

마. Capstone Program

Capstone Program은 항공관련 기업체와 미연방항공 공청(FAA : Federal Aviation Administration) 알래스카 지부가 알래스카지역의 항공 안전과 효율을 증대시키기 위해 진행한 과제로 1999년에 시작되어 2006년

에 완료하였다. 이 프로그램 진행을 위하여 FAA는 항공기와 지상에 필요한 항공전자장비를 지원하였다.

소형항공기를 이용하여 악기상, 비 레이더 탐지지역, 지형내 관제비행 조건에서의 사고율 감소, 비 레이더 탐지지역에서의 대체 감시기능 확보, 통합 조종석 서비스에 대한 연구를 진행하였다.

바. Ohio Valley Program

UPS와 FedEx가 참여하여, 1차적으로 화물기를 이용한 See-and-Avoid 기능 강화, 2차적으로는 충돌탐지, 3단계로 충돌해결로 나누어 단계별로 수행하였다.

3. 자율비행

3.1 유인기의 자율비행

2장에서 설명한 항공교통관제시스템의 기술변화 추이를 살펴보면 항공기의 공중충돌 방지 및 회피기능 등 항공기의 자율비행기능을 필수적으로 요구하고 있다.

현재 유인기의 충돌회피 및 자동이착륙을 살펴보면, 충돌회피를 위한 TCAS(Traffic Collision Avoidance System)과, 자동이착륙을 위한 ILS(Instrument Landing System) 기능이 사용되고 있다.

TCAS는 지상의 지원없이 항공기 상호 정보교환을 통하여 근접하는 항공기에 대한 정보를 제공하고, 경보해주는 장치이다. 이 TCAS는 3가지 등급으로 구별되는데 TCAS-I은 충돌상황 정보만 제공하는 기능이 있고, TCAS-II의 경우는 이러한 상황과 수직 회피조언을(상승/하강) 하는 기능이 있으며, 현재 개발 중인 TCAS-III에는 수평과 수직 회피조언을 할 수 있는 기능이 추가된다.

1993년 12월까지의 31인석 이상의 민항기에는 TCAS-II를 의무적으로 장착하도록 하고 있으며, 1996년부터는 10인석 이상의 민간항공기에 탑재운용토록 확대 적용하고 있다.

TCAS는 충돌위험을 수동적으로 경보해 주는 기능만을 보유하고 있어, 조종사의 조작 없이는 회피가 불가능한 시스템이다. ICAO에서는 TCAS 지시를 관제사 지시보다

우선적으로 규정하고 있으나, 실제 조종사들은 TCAS의 신뢰성에 대한 확신을 가지지 못해 TCAS 지시보다는 관제사의 지시에 따라 충돌위험이 증대하는 경우도 있으며, 이러한 자율권에 대한 신뢰도 문제는 자율비행 기술 개발 시 계속 대두되고 있다.

TCAS의 또 하나의 단점은 충돌인지 거리가 짧은 것이다. 이 시스템은 시간적 거리를 기준으로 주의구역(Caution Area)과 경계구역(Warning Area)으로 구분해 경보해 준다. 주의구역의 경우 약 20~48초 후 다른 항공기와 충돌위험이 있는 지역을 의미하며, 경계구역은 15 ~35초 후 충돌위험이 있는 지역을 의미한다. 즉 TCAS의 경우 1분 이내의 단시간내 충돌위험만 인지하는 것으로 위와 같은 차세대 항행시스템에서는 사용할 수 없다.

차세대 항행시스템에서는 이러한 충돌회피기능을 5분 비행거리까지 확보하는 것을 요구하고 있으며, 이를 위해 차세대 항행시스템인 CNS/ATM 기술을 이용한 ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast)가 개발 시험되고 있다.

ADS-B는 항공기가 GPS로부터 파악한 자신의 위치 및 방향 등 정보를 주기적으로 방송하고, 이를 주변 항공기 및 지상관제소에서 송수신하여 상호 위치파악 및 충돌경보를 통해 회피할 수 있도록 하는 시스템이다.

FAA는 1992년부터 ADS-B의 기술적 평가를 계획하고 수행하기 시작했으며, 1998년부터 ADS-B 및 이와 관련한 방송 서비스 기술에 대한 운용상의 시험 및 평가를 실시하고 있다. Capstone 계획은 Alaska를 위한 운용상의 실험 프로그램으로서, ADS-B기술을 구현하기 위해서 Bethel 및 Yukon-Kuskokwim Delta에서 적용하기 시작하였고, Alaska 전체 주를 포함하게 될 Phase III를 위한 연구와 계획을 수립하는 중이다.

현재 유인기의 충돌회피 연구는 항로관제영역에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 미국의 경우 그림 13과 같이 항공기를 중심으로 반경 5mile, 상하 1000ft 영역을 항공기보호구역으로 정의하고, 이에 대한 충돌회피 연구를 수행하고 있다.

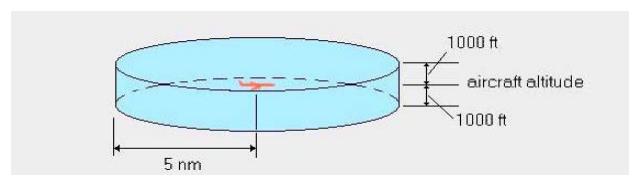


그림 13. 충돌회피 비행보호구역 정의

충돌을 예측하는 기법으로는 상태기반예측기법(State-based Conflict Detection)과 비행계획기반예측기법(Intent-based Conflict Detection), 이 두 가지 기법을 혼합한 기법으로 3가지가 사용되고 있다.

상태기반예측기법은 항공기의 현 위치와 방향을 기반으로 계속 비행한다고 가정하고 충돌을 계산하는 방식이며, 비행계획기반예측기법은 항공기에 계획된 상호 비행계획을 기반으로 예측하는 기법이다.

충돌을 회피하는 방법으로 상태기반예측기법의 경우 그림 14와 같이 항공기 진행방향 또는 속도를 충돌이 안 일어날 때까지 변경시키는 방식이며, 비행계획기반예측기법의 경우는 그림 15와 같이 비행계획을 미리 수정하는 방식이다.

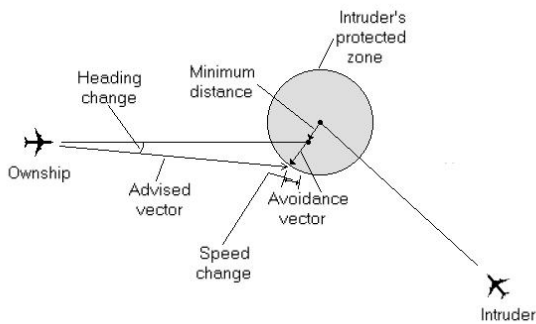


그림 14. 상태기반 충돌회피 기법

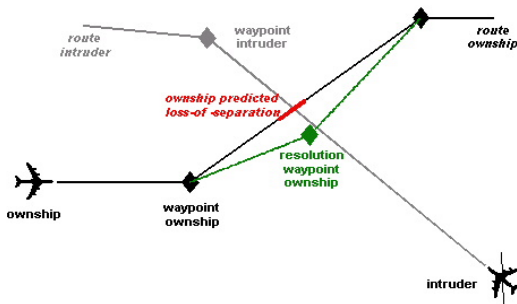


그림 15. 비행계획기반 충돌회피 기법

또한 이러한 충돌회피 시 우선권 부여를 하지 않으면 상호 회피기동이 충돌위험을 더욱 악화시킬 수 있는 문제가 있다. 그러므로 회피기동을 해야 하는 항공기를 선정하는 우선순위 부여에 대한 연구가 현재 진행되고 있다. 현재로는 2대의 항공기에 대한 상호 충돌 감지 및 회피에 대한 연구가 주로 이루어지고 있으며, 다수 항공기에 대한 충돌회피 연구도 착수되고 있다.

그러나 실제 항공기 운항에서 필요한 비상상태의 항공기 우선권이나, 항공기 성능, 잔류 연료량 등을 고려한 우선권부여에 대한 고려는 미흡한 상태이다.

현재 민항기에 사용되는 자동이착륙기능은 ILS (Instrument Landing System)을 사용하고 있다. ILS 시스템은 착륙하는 공항 지상에 설치된 수평방향 편차를 알려주는 방위각 시설(Localizer)와 수직방향 편차를 알려주는 활공각 장비(Glide Path)와 착륙지점까지의 거리를 알려주는 Marker Beacon을 이용하여 항공기가 자율적으로 활주로에 착륙할 수 있도록 하여 주는 장치이다. ILS는 등급에 따라, 시정 800m이상에서 착륙이 가능한 CAT I, 시정 350m이상에서 착륙이 가능한 CAT II, 시정 200m 이상에서도 착륙이 가능한 CAT III-A, B와 시정이 완전히 차단된 상태에서도 착륙이 가능한 CAT III-C로 구분된다.

현재 국내의 인천공항의 경우 CAT III-B 시설이 설치되어 있으며, 김포공항의 경우 CAT-II이며 CAT III-C가 설치된 공항은 아직 전세계에 존재하지 않는다. 이러한 ILS 시스템은 공항과 항공기에 각기 필요한 장비와 시설이 갖추어져야 하므로, 대형공항과 대형여객기 위주로 활용되고 있는 실정이다.

차세대 항공교통관제시스템인 CNS/ATM이 사용되어, 충분한 신뢰도와 정확도를 제공한다면 이러한 ILS (Instrument Landing System) 시스템을 대체할 수 있을 것으로 전망된다.

AFRL (Air Force Research Laboratory)에서는 AACAS (Automatic Air Collision Avoidance)를 발표하고, 2000년부터 개념연구를 수행하여 2001년에는 알고리즘 개발을, 2003년에는 비행데모기술을 개발하였으며, AGCAS (Automatic Ground Collision Avoidance)를 기반으로 개발 및 테스트를 거치는 단계에 와 있다.

3.2 무인기의 자율비행

최초의 무인기 운용 개념인 단순히 사람이 탑승하지 않는다는 것을 벗어나 현재의 무인기는 자율 비행 (Flight Autonomy)기능을 요구하고 있다. 무인기의 자율비행 수준은 비행단계와 각 단계에서 자율비행 정도에 따라 여러 가지 분류가 있을 수 있으나, 궁극적

으로 지상통제나 사람에 의하여 전혀 지원받지 않는 완전 자율 비행단계 (Fully Autonomous Flight)를 지향하고 발전되고 있다. 임무 및 운용환경에 따른 무인기의 자율비행 수준을 고려하면 기체뿐 아니라, 지상국, 통신 시스템, 비상관리 체계 등 여러 분야의 기술 개발이 선행 또는 병행되어야 한다. 이를 위한 구체적인 기술 분야는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 통신체계 구축: 무인기와 지상 제어 및 감시 센터간의 유연한 통신망의 확보
- 정밀 자동착륙: 제어 알고리즘, 성능평가 지표
- 다목적 임무수행 제어 기술: H/W 및 S/W의 다중화, 자각 및 적응제어
- 테스트 베드 구축: 각종 제어 알고리즘의 확인
- 지능형 비행제어 기술: 비행제어 성능의 예측 판단
- 지능형/적응형 제어 기술의 확인 및 검증
- 분산 및 정보 중심 제어 기술
- 지능형 자율 비행제어 기술: 알고리즘 개발
- 유·무인기 공유 기술의 파악
- 함상 자동착륙 기술
- 각종 제어 소프트웨어 알고리즘: 실시간 적응제어, 고장탐지 및 재형상, 편대비행
- 충돌회피의 자동화
- 분산 시스템 제어 기술

미국의 경우 무인기 자율비행제어 수준을 그림 16과 같이 10단계로 구분하고 있다. 1단계는 무선조종비행기와 같이 지상의 조종사가 조종하여 무인기를 운용하는 기술수준이며, 2단계는 실시간으로 항공기 상태를 진단하는 단계이다. 3단계는 항공기 고장과 비행조건에 능동적으로 실시간 대처하는 기능을 구현하는 수준이며, 4단계는 주변상황이나 임무변화에 대처해 항공기 자체적으로 경로를 재구성하는 단계이다. 5단계는 편대비행 기술이며, 6단계는 편대운용 시 전술적인 임무재구성하는 기능시현단계를 의미한다. 7단계는 편대비행을 통해 전술적 목적에 능동적으로 대처하는 기술을 의미하며, 7단계는 항공기간 분산연산을 통한 지상관제 없이 이러한 기능들을 구현하는 단계이다. 9단계는 전술적 단계를 넘은 전략적 그룹운영 수준이며, 최종적인 10 단계는 자율비행에 의한 군집비행을 실현하는 것으로 구성되어 있다.

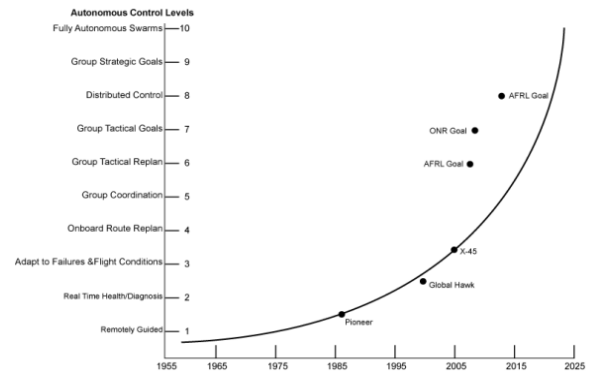


그림 16. 무인기 자율비행 기술등급

미국의 경우 여러 대의 무인항공기가 완전히 자율비행으로 편대활동을 자율적으로 수행하는 10단계 수준에 비해, 현재는 4단계와 5단계의 중간 수준에 머무르고 있다고 판단되며, 2015년 이전에 8단계 수준에 도달할 것으로 예측하고 있다. 즉, 선진국은 이미 개개의 무인기 임무분석 및 비행단계 제어시스템 설계기술 개발이 완료되고 있으며, 다수 무인기 간의 군집 자율비행 제어시스템 설계기술을 개발하고 있는 단계이다.

무인항공기 자율비행 기술개발로, 자동비행뿐만 아니라 고장대처, 충돌회피, 경로생성 등 조종사의 의사결정 능력까지 비행제어시스템으로 구현하는 것을 목표로 미국 국방성 (DARPA)은 Software Enabled Control 과제를 수행하여, 그림 17과 같이 X-45A 무인항공기를 대상으로 보잉 주관 하에 실시한 자율비행 제어 비행시험을 통해 검증한 바 있다.



그림 17 X-45 무인기 전투기

NASA에서 2006년부터 시행 중인 ALHAT (Autonomous Precision Landing Hazard Avoidance Technology) 프로젝트는 새롭고 진보적인 착륙과 착륙 안내, 항법과 제어 (GNC : Guidance, Navigation and Control) 하드웨어와 소프트웨어 기술들의 개발을 목표로 연구가 진행 중에 있다. Johnson Space Center(JSC)는 항법 및 유도

알고리즘, 항공전자와 HILS 시험을 담당하고, Langley Research Center는 POST 2 (Program to Optimized Simulated Trajectories) 소프트웨어를 이용하여 6 자유도 시뮬레이션과 TRN(Terrain Relative Navigation)와 HAD (Hazard Detection and Avoidance)센서들, 고도계, 속도측정센서들의 개발 및 테스트를 담당하고 있다. JPL (Jet Propulsion Laboratory)는 센서, 알고리즘 그리고 센서시스템을 테스트하기 위한 소프트웨어 알고리즘을 개발하며, Draper Laboratories (CSDL)는 자동 알고리즘과 제어 알고리즘 개발 그리고 GNC 통합을 맡고 있다.

또한 NASA Ames 연구센터와 Dryden 비행 연구 센터는 장애물을 자동으로 회피할 수 있는 능력을 제공해주는 새로운 비행제어 소프트웨어를 개발한 후 비행 시험에 착수하였다. Boid 알고리즘이라고 불리는 이 도구는 새나 물고기의 개별 행동을 3개의 그룹으로 분류하여 모든 개체가 동일한 방향을 유지하려고 하는 행동, 서로 근접하여 이동하는 행동, 충돌회피로 분류하는 것으로, UAV들이 일정한 거리를 유지하면서 비행하고, 비행경로에 있는 장애물을 피해갈 수 있는 정도의 기술 수준이지만 향후 UAV가 무리지어 항공탐색을 수행하고 화재진압과 같은 임무를 협동으로 참여할 수 있게 해주는 기술수준으로 발전시키는 것을 목표로 하고 있다.

미 국방부에서는 2009년까지 ISR(Intelligence Surveillance Reconnaissance) 기술을 적용하는 ERMP (Extended Range Multi-Purpose) UAV 프로젝트를 수행하여, 두 대 이상의 항공기가 편대로 비행할 때, 충돌 예방이나 항법상의 제어부담 경감, 공격 및 방어력의 증가 등을 목적으로 하는 편대 비행 (Formation Flight) 방법에 대한 개발을 수행하고 있다. NASA Dryden Flight Research Center는 후방에서 순항하는 AFF(Autonomous Formation Flight)를 NASA의 항공우주기술의 전략적 계획의 일환으로 삼아 항공기의 연료소모를 10% 절감하는 것을 목표로 보잉과 캘리포니아 대학 등이 산·학 공동으로 연구를 수행하고 있다.

프랑스에서는 ReSSAC (Cooperating Autonomous Search and Rescue System)프로젝트를 통하여 기 수행된 무인기 연구결과를 기반으로 지능적인 판단 기능과 무인기와 지상관제 간의 임무관리 방식 등에 관한 연구가 진행 중이다.

무인기의 운용은 기존의 항공교통관제 시스템에 결합되어야 한다. 이를 위해서는 그림 18과 같이 무인기 자체에 See-Understand-Decide-Act(간략히 See and Avoid) 기능이 확보되어야 한다.

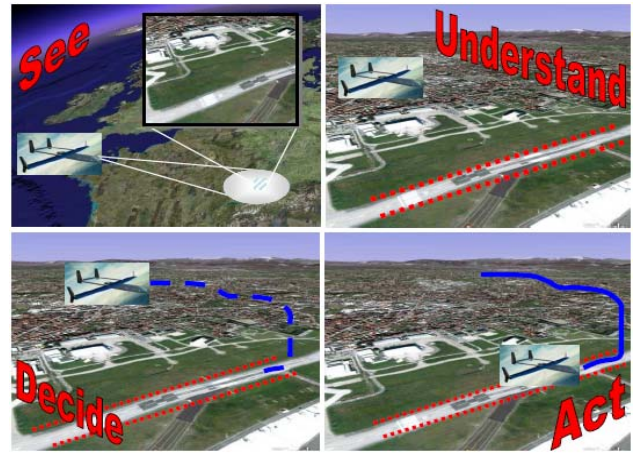


그림 18. 무인기 See and Avoid

이러한 연구의 일종으로 이탈리아 CIRA 연구소에 서는 그림 19에서 보여지는 것과 같이 레이더와 EO/IR 카메라를 통합한 센서를 소형항공기에 장착하여 무인기에 활용할 See and Avoid 기술을 개발하고 있다.



그림 19. CIRA의 충돌회피 시험

NASA에서도 무인기 충돌회피 기술 개발을 위한 비행 시험을 그림 20과 같이 레이더가 장착된 프로테우스 항공기를 이용하여 비행시험을 수행한 바 있다.



그림 20. Proteus 충돌회피시험기

또한 영상을 이용한 자동 착륙기술도 NASA를 비롯한 여러 대학에서 무인헬기를 이용하여 개발하고 있다.

국내에서도 DGPS를 이용한 무인기 자동 이착륙 기술은 서울대에서 개발한 바가 있으며, 현재는 영상 기반 고정익 무인기 자동이착륙 기술을 서울대에서, 무인 헬리콥터를 이용한 영상기반 자동이착륙 기술은 KAIST에서 진행하고 있다. 그림 21은 영상기반 헬리콥터 자동 착륙기술 개략도이다.

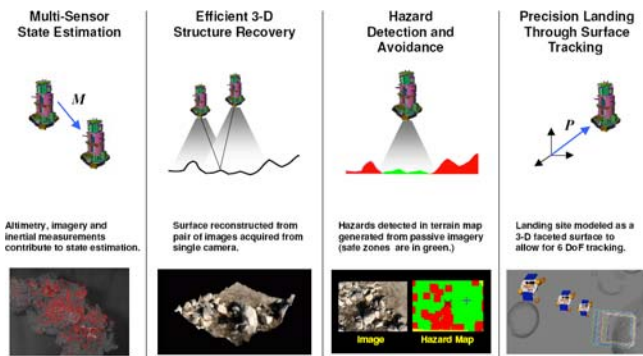


그림 21. 영상을 이용한 자동 착륙기술

4. 향후 전망

무인기가 활용되는 영역을 점점 확대될 것이 확실시 되고 있다. 그러나 현재 무인기는 군 위주로 활용되고 있으며, 공역진입에 대한 제한관계로 민간 활용은 거의 이루어지지 않고 있다.

공역을 관리하는 유인기의 항공교통관제시스템이 항공교통량의 급격한 증가를 해결하기 위하여 차세대 항공교통관제시스템으로 변화하고 있다. 이러한 차세대 항공교통관제 시스템에서는 항공기의 자율기능을 요구하고 있으며, 무인기의 관제공역내 운용에 대한 부분도 같이 고려하고 있다.

이러한 항공발전 추세는 모든 항공기의 자율비행 기능을 확대 적용하는 방향으로 발전할 것으로 전망되므로 이에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다.

무인기 충돌회피 기능으로는 ADS-B를 이용한 방법, Radar를 이용한 방법, 영상장비를 이용한 방법 등 다양한 연구가 이루어지고 있는데, ADS-B 방식의 경우 CNS/ATM 관제시스템에 가장 적합하지만, ADS-B 장비를 장착하지 않은 항공기의 진입, ADS-B 장비를

장착하였지만 장비가 정상작동하지 않는 경우 전체 시스템에 대한 확신을 갖지 못하는 단점이 있다. Radar 방식의 경우 유인기에서는 장착공간상 큰 문제가 되지 않을 수도 있으나, 소형 무인기의 경우 크기와 무게가 커서 실질적으로 탑재가 쉽지 않다.

자율비행에 있어서 항공기가 알아서 대처하는 문제는 운영자에게는 불안의 요인이 될 수 있다. 운영자가 예측하지 못한 상태에서 또는 예측한 것과 다르게 반응을 하는 경우 운영자는 장비활용을 기피할 것이다. 이러한 문제와 같이 항공기에 자율권을 어느 정도까지 부여하고, 사람과의 융합을 잘 시키는가 하는 문제도 매우 중요한 연구 분야이다.

이와 같은 문제는 무인기 운영에서도 같은 점이 있는데, 관제공역 운영을 위해서는 See and Avoid 기능을 필수적으로 요구하고 있으며 기타 관제사와의 음성통신 또는 데이터 통신 기능도 필수적으로 요구하고 있다.

현재 충돌회피의 경우는 충돌회피 알고리즘개발 부분의 연구가 대부분으로, 실제 적용하기 위해서는 이러한 영상기반 항법기술과 융합되어야 할 것이다.

항공기를 운영하기 위해서는 항공교통관제시스템과의 기술연계가 불가피하며, 이러한 항공교통관제시스템의 변화와 관련기술 개발 동향을 지속적으로 파악하는 것이 중요하다.

참고문헌

1. 한국교통연구원, “차세대 항행시스템 기술현황 종합 연구” 보고서, 2008
2. 한재현, “차세대 자율비행 기반 인프라 구축전략 수립” 한국교통연구원 보고서, 2007
3. Mario S.V. Valenti Clari, Rob C.J. Ruigrok, Bart W.M. Heesbeen, Jaap Groenweg “Research Flight Simulation of Future Autonomous Aircraft Operations”, 2002 Winter Simulation Conference
4. Thomas Prevot, Paul Lee, Nancy Smith, Everett Palmer, “ATC Technologies for Controller-Managed and Autonomous Flight Operations”, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, August, 2005
5. David J. Wing, Jeremey C. Smith, Mark G. Ballin, “Analysis of a Dynamic Multi-Track Airway Concept

- for Air Traffic Management”, Langley Research Center, NASA/TP-2008-215323, 2008
6. Jean Marc Alliot, Nicolas Durand, Geraud Granger, “A Free Flight Autonomous and Coordinated Embarked Solver”
 7. Mark E. Campbell, Jin-woo Lee, Eelco Scholte, David Rathbun, “Simulation and Flight Test of Autonomous Aircraft Estimation, Planning, and Control Algorithms”, *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 30, No. 6, November -December 2007
 8. Chiold D. Epp, Thomas B. Smith, P.E. “The Autonomous Precision Landing and Hazard Detection and Avoidance Technology(ALHAT)”, 2002 Winter Simulation Conference,
 9. S. Vetrella, L. Verde, U. Ciniglio, F. Corraro, “Unmanned Systems Autonomy Trends”, AFCEA Rome, Sept 2007
 10. Jum Montgomery, “Autonomous Vision Guided Safe and Precise Landing”, NASA, Automated Reasoning PI Workshop, Sep, 2002