

무인항공기의 제어기술개발 동향

글/강영신 kangys@kari.re.kr, 박범진, 유창선

한국항공우주연구원 스마트무인기 기술개발사업단 체계종합실

초 록

20세기에 탄생한 동력비행기는 인간의 이동능력을 비약적으로 향상시켰다. 인류의 미개척지였던 항공분야의 발전은 지속적인 기술개발을 통해 더 빨리, 더 멀리, 더 높이 향하기 위해서 계속 나아가고 있다. 이러한 와중에 최근에 괄목할 만한 성장을 이룬 컴퓨터와 소프트웨어 산업의 발전은 비행임무에 따라 위험성이 높거나, 사람이 하기 힘든 반복적이고 지루한 비행을 대신하기 위한 로봇 비행체 즉, 무인항공기의 개발을 가능하게 하였다.

무인항공기의 탄생 초기에는 조종사의 희생을 줄이기 위해 군사 분야에서 주로 사용되었으나, 산림감시나 해안정찰, 기상관측, 재난관측, 조난자 수색 등 민수분야의 임무로 점차 활동영역이 넓혀지고 있다.

현재 무인항공기에 탑재된 인공지능의 수준은 안정된 비행이 가능하도록 하는 자동조종(autopilot)과 주어진 비행경로를 추종하기 위한 항법유도(Navigation & Guidance)정도이며, 비행 중 발생하는 비상상황에 대처하기 위한 의사판단은 지상의 조종자에 의해 결정된다. 앞으로는 계획되지 않은 상황을 맞이했을 때 무인기 스스로 판단하여 경로를 변경하고, 동시에 여러 무인기들과 협력하여 임무를 수행함으로써 임무효율을 높이는 방향으로 인공지능의 수준이 향상될 것이다.

본 논문에서는 최근의 무인항공기 개발추세와 이들 무인기에 고려되고 있는 제어기에 대해 살펴보고, 향후 무인항공기에 적용될 자율비행 알고리즘과 제어기 시스템의 개발동향에 대해 고찰하였다.

주제어 : 무인항공기(UAV), 비행제어, 자동조종, 제어법칙, 자율비행, 설계동향

1. 서론

유인기의 경우는 탑승자의 인명사고를 예방하기 위해서 MIL-SPEC 또는 FAR규정에서 방대하고 까다로운 요구조건들이 제시되어있다.

무인기는 비행 중 사고가 발생하더라도 조종사의 인명손실이 유발되지 않는 장점이 있다. 이로 인해 유인 항공기에 비해 비교적 간단한 시스템을 채택할 수 있고, 개발기간과 비용을 줄이기 위해서 까다로운 요구조건들이 일반적으로 적용되지 않는다.

제어기의 설계에서도 마찬가지이다. 유인기의 경우 제어기와 관련된 요구조건들을 충족시키기 위해 PID(비례-적분-미분) 고전제어기법을 적용하는 것이 일반적인 경향이다. 최근에 개발된 T-50 이나 JSF에서도 동역학 역변환(Dynamic Inversion)방식을 채택한 PID 고전제어기법을 채택하여 제어기가 개발되었다. 일반적인 현대 제어기법들은 시간축에 대한 상태변수를 직접 제어하는 방식이므로, 주파수 영역에서 정의된 기존 비행특성규격을 적용시키기가 현실적으로 어렵기 때문이다.

따라서 무인기의 경우는 현대 제어기법을 적용하여 제어기를 설계할 수 있는 가능성과 기회가 증가하였다. 무인기의 최근의 개발 추세는 그동안 유인기의 제어기 설계규격을 적용하기 어려웠던 신경망 제어이론이 무인기에 점차적으로 확대 적용되고 있는 점이다. 신경망 제어기가 적용된 GPS(Global Positioning System) 유도탄이 배치 완료되었으며, Sky-tote 로 알려진 꼬리착륙(tail sitter) 무인기와 에도 적용되었다.

무인항공기의 제어는 기본적인 조종안정성 증강 장치와 조종사를 대신해 항공기의 항법유도를 할 수 있도록 점항법, 사전프로그램모드를 기본적으로 채택하고 있다. 또한 무인기에 자동이착륙기능이 요구되고 있으며, 자동 착륙시스템이 표준화되고 있는 추세이다.

현재까지의 무인기 개발은 독립적인 단일무인기를 운용하는데 초점이 맞추어져 있었다. 무인기에 채택된 센서의 한계와 비행성능의 한계로 인해 임무효율이 유인기에 비해 낮을 수밖에 없으며, 예상치 못한 비상상황의 발생시 임무를 대체하기 위한 다른 무인기가 임무지역에 도달하는데 비교적 많은 시간이 소요되어서 결정적인 정보를 놓치는 경우도 발생하였다.

따라서 유인기와 같은 편대비행 개념을 도입하여 동일 임무지역에 여러 대의 무인기가 공동으로 임무를 수행하기 위해 각 기체가 가진 정보를 공유하여 위험상황을 인식하고, 이러한 위험을 회피할 수 있는 연구가 진행되고 있다.

현재는 무인항공기의 시각센서로서 사용되는 카메라와 레이더등에 의해 획득된 정보에 대한 분석은 관제실의 내부조종사 또는 정보분석팀이 판단하는 수준이며, 무인기가 획득한 센서정보를 스스로 판단하여 비행경로를 변경하거나 임무수행여부를 결정하는 수준에 도달하기 위해서는 기술수준이 좀 더 발전해야 할 것으로 판단된다. 특히 통신두절과 같은 비상상황에서 스스로 판단하는 능력을 증대시키기 위해서는 센서의 정밀도 향상과 각 센서간의 융합기술이 필수적이다.

이미 유인항공기 분야에서의 기술개발이 타 산업 분야 발달에 큰 기여를 했던 바와 같이 무인항공기 분야의 기술발전이 로봇산업분야를 포함하여 통신, 무인수송, 유인 교통 시스템 등 다양한 분야의 발전에

도 기여할 것이다.

본 논문에서는 최근의 무인기 개발에 적용된 제어기에 대해 살펴보고, 개발중인 스마트 무인기의 제어기 대해 간략하게 서술하였으며, 향후 무인기 항공기의 제어기 발전방향에 대해 고찰하였다.

2. 무인기 제어기술 개발동향

2.1 무인기 개발동향

2.1.1 최신 무인기 개발

21세기의 새로운 시장으로서 로봇산업이 크게 부각되고 있으며, 이미 군용무인기가 실전에 투입되어 전쟁의 승패를 좌우하는 주요무기로 자리매김하고 있다.

그림 1에 도시된 중고도 무인기 프레데터는 실전에서 최초로 대전차미사일인 Hellfire를 발사하였으며, 중고도 전선 정찰 등의 다양한 임무를 수행가능하다. 무인기로서 검증된 성능으로 인해 최근에 미해군 광역 정찰기로 채택되었다.



자료 : www.checkpoint-online.ch

그림 1. Hellfire 미사일을 장착한 RQ-1 Predator

그림 2는 U-2 유인 정찰기를 대신하여 고고도에서 넓은 지역을 정찰할 수 있는 글로벌 호크기이다. 조종사가 탑승하지 않기 때문에 특정 임무지역에서 장시간 체공이 가능하며, 무인기로서는 최초로 전략무기로 평가받고 있다.

한편, 자주국방을 위한 전시작전권 회수와 관련하여 일본에는 판매된 글로벌 호크의 한국판매 승인에 대해 미국이 거부하고 있는 상황을 지켜보면서 기술자립에 대한 중요성을 다시 한 번 실감하게 된다. 물론 기술유출을 막기 위해서 글로벌 호크의 판매를 거

부하는 미국의 입장을 탓할 수만 없다. 결국 막대한 자금을 투자해서 필요한 기술과 무인기를 스스로 개발할 수밖에 없고, 앞으로는 이러한 기술장벽이 더욱 높아질 것이다.



자료 : www.fas.org/irp/program/collect/global_hawk.htm

그림 2. 고도도 무인기 글로벌 호크(Global Hawk)



자료 : www.airforce-technology.com/projects

그림 3. X-45 UCAV 무인전투기

앞서 기술한 프레데터나 글로벌 호크등 다양한 무인기를 운용한 경험이 있는 미공군은 지상목표물의 공격뿐만 아니라 유인기와 교전도 가능한 무인 전투기를 개발하고 있다. 그림 3은 본격적인 스텔스 무인 전투기 X-45이며, 2010년 쯤 배치예정이다.

2.1.2 수직이착륙 고속무인기 개발

앞 절에서 논한 무인기들은 군용으로 개발된 고정익 무인기들이다. 고정익기가 회전익기에 비해 비행성능이 우수하므로 무인기로서 실용화가 먼저 되었다.

고정익 무인기들은 이착륙을 위해 긴 활주로가 필요하다. 이를 개선하기위해서 이륙은 발사대를 이용하고, 착륙은 그물을 이용하기도 하지만, 복잡한 보

조 시스템이 구비되어야 하며, 그물 착륙시 높은 사고위험을 내포하고 있다.

따라서 회전익의 수직이착륙기능과 고정익의 고속비행성능을 동시에 갖는 신개념 비행체들의 개발이 진행되고 있다.

최근에 틸트로터 형상의 V-22 오스프리와 이를 축소 무인화한 이글아이(Eagle Eye)의 실용화 개발이 성공하였다(그림 4). 이러한 틸트로터 항공기의 개발성공에 힘입어 틸트로터의 단점을 개선하여 보다 큰 탑재량과 비행안전성을 갖춘 QTR(Quad-Tilt-Rotor) 개념기가 등장하였다(그림 5). QTR은 그동안 회전익기의 약점인 탑재량부족을 크게 해소하여 보다 편리한 항공수송시대를 열 것으로 기대된다. 머지않은 장래에 QTR 개념을 적용해서 UGV(Unmanned Ground Vehicle)를 수송할 수 있는 무인항공기가 개발될 것이다.



자료 : www.bellhelicopter.textron.com

그림 4. Bell Eagle Eye (TR-911)



자료 : <http://www.boeingmedia.com>

그림 5. Quad Tilt Rotor

틸트로터 이외에도 수직이착륙과 고속비행이 가능한 새로운 개념의 형상이 연구되고 있으며, 가장 대표적인 예는 꼬리착륙 항공기이다. 꼬리착륙 항공

기의 개념은 이미 1950년대에 컨베어 XF-Y1 와 록히드 XF-V1 등의 유인기를 통해 비행가능성이 입증되었다. 꼬리착륙 유인항공기는 착륙시 조종사가 고개를 뒤로 돌려 착륙지점으로 항공기를 조종해야 했기 때문에 조종사 인터페이스 문제로 인해 성공하지 못했다. 그러나 무인기는 조종사가 지상에 있으므로 문제가 되지 않는다.

현재까지 알려진 꼬리착륙 항공기의 단점은 다음과 같다. 첫째 이륙과 순항시 피치 자세가 90°로 변경되므로, 연료장치와 윤활시스템의 설계가 복잡해진다. 둘째 지상에서 균형을 잡기위해 꼬리부분이 커질 수밖에 없고, 지상에서 모든 하중을 꼬리부분이 지탱해야 하기 때문에 꼬리부분이 매우 무거워진다. 크고 무거운 꼬리는 순항비행시 항력의 증가에만 기여할 뿐이다.

꼬리착륙 항공기도 호버링을 위해 로터 시스템이 필요하지만, 틸트로터와 같은 전체로터를 기수방향으로 회전시키는 기어박스가 필요 없다. 이러한 상대적으로 덜 복잡한 로터 시스템으로 인해 무인기로서 많은 연구가 진행되고 있다.

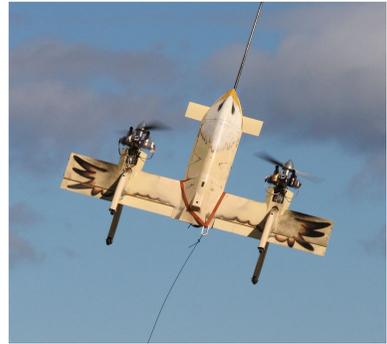
그림 6은 미국 공군과 Aerovironment사에서 개발 중인 Sky-Tote 무인기이며, 신경망 이론을 사용하여 제어기를 개발 중인 것으로 알려져 있다.

그림 7은 시드니대학에서 최근에 비행에 성공한 꼬리착륙 연구기이며, 호버링을 위해 로터의 사이클릭 조종대신 추력과 엘레본을 사용한다.



자료 : rotor&wing 2006. 6

그림 6. AeroVironment Sky-Tote 꼬리착륙무인기



자료 : University of Sydney (Dr R. Hugh Stone)

그림 7. 시드니 대학의 꼬리착륙 무인 연구기

꼬리착륙 무인기이외에도 보잉에서 개발하고 있는 CRW(Canard Rotor Wing)형상의 X-50은 로터시스템을 장착하지 않는 회전익기이다.(그림 8) 기존의 회전익 기는 터보샤프트엔진을 사용하지만, X-50은 터보팬엔진을 탑재하여 이착륙 시에는 연소가스를 날개 끝의 노즐에 분사하여 날개를 회전시키고, 순항비행 시에는 날개로 가는 연소가스를 차단하여 날개를 정지시키고, 배기가스를 후방으로 배출하여 추력을 얻는 신개념 항공기이다.



자료 : <http://www.designation-systems.net/dusrm/app4/x-50.html>

그림 8. 보잉 X-50 Dragonfly

X-50은 복잡한 로터시스템이 필요 없고, 연소가스로 날개를 회전시키므로 반-토크장치인 꼬리로터가 필요 없다. 이로 인해 가볍고, 간단한 회전익 시스템을 구현할 수 있기 때문에 양산비와 운용유지비를 크게 낮출 수 있을 것으로 기대되었다. 그러나 비행 시험 중 1호기와 2호기가 추락(1호기-2004.3.31, 2호기-2006.4.12)하였기 때문에 개발사업이 계속 진행될 수 있을지 의문이다.

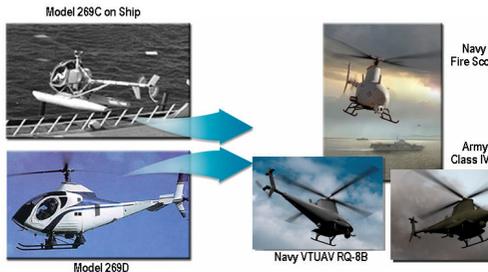
2.1.3 유인기의 무인화개발

최근 무인기 분야의 새로운 경향은 기존에 운용했던 유인기를 무인화하여 개발하는 것이다. 그 이유는 유인기가 이미 다양한 임무분야에서 성능과 안전성이 검증된 기체이기 때문이다. 대표적인 예는 미해군에서 채택한 파이어 스카웃(Fire Scout)이다. (그림 9)

무인기의 경우 사고율이 지나치게 높고 시스템의 안정화까지는 많은 시간과 비용이 소요된다. 최근에 미해군은 고속비행이 가능하지만 안전성이 검증되지 않은 이글아이 대신, 속도는 느리지만 안전성이 입증된 파이어 스카웃을 선정하였다. 파이어 스카웃은 2천만시간의 비행시간을 가진 상용 Schweizer Model 269D 유인 헬리콥터를 이용하여 무인화한 항공기이다.

파이어 스카웃은 또한 미육군의 미래전투체계의 Class IV 무인기의 3대 주요임무인 아래의 임무를 수행하기에 가장 적합한 기종으로 선정되었다.

- 1) 정찰, 감시 및 표적획득
- 2) 광대역 감시 (지속적인 감시)
- 3) 통신 중계



자료 : Northrop/Gruman 2005.

그림 9. 노스롭 그루먼사의 파이어 스카웃 무인기



자료 : www.boeingmedia.com 2006.09.

그림 10. 보잉사의 Unmanned Little Bird



자료 : www.fas.org 2001.

그림 11. 록히드 마틴사의 F-35 Lightning II

노스롭 그루먼사의 파이어 스카웃에 자극을 받은 보잉사는 가장 널리 사용되는 유인 헬기인 MD500을 무인화한 리틀버드를 개발하고 있으며, 비행시험을 통해 최종단계의 검증작업을 수행하고 있다. (그림 10)

유인 전투기 개발의 선두주자인 록히드 마틴사는 무인전투기 분야에서 상대적으로 앞선 노스롭 그루먼과 보잉의 선두그룹을 추월하기위해 유인 F-35 스텔스 전투기의 무인화 계획을 발표하기도 하였다. (그림 11)

유인항공기의 무인화는 기존의 인간 조종사의 역할을 인공지능에게 맡기는 개념이다. 따라서 조종사의 안전을 위해 필요했던 조종사 인터페이스, 사출좌석, 환경제어시스템, 산소공급 시스템등이 제거되기 때문에 동일한 유인기에 비해 더 많은 탑재공간과 무게절감이 가능하다.

또한 무인기로서 검증된 플랫폼의 사용으로 인해 안전과 성능면에서 경쟁력이 있으며, 무인기의 새로운 신규시장으로 떠오를 가능성이 높다고 판단된다. 무인화된 유인기는 유인기로서의 다양한 운용경험을 바탕으로 기존의 무인기에 비해 임무성공 확률을 높일 수 있을 것이다.

2.2 무인기 제어기 개발동향

2.2.1 무인기의 제어기 개발경향

무인기의 운용을 위한 가장 기본적인 제어기는 자동 조종(Autopilot)과 항법유도(Navigation & Guidance)이며, 현재 운용중인 대부분의 무인기들이 이러한 제어

기를 채택하고 있다.

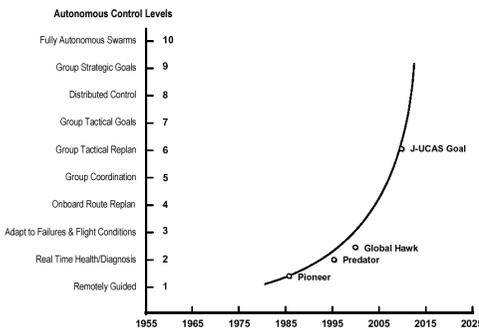
자동조종은 비행체의 동특성을 향상시키기 위해 적절한 댐핑과 주파수를 제공하는 조종안정성 증강 장치이다. 항법유도는 원거리 목표지점까지 주어진 경로를 따라 오차 없이 비행을 가능하게 하는 임무제 어기이다.

한편 유인 항공기에서는 자동조종(Autopilot)이 항법유도를 의미하므로, 유/무인기간의 용어표준화를 위해 자동조종은 조종안정성 증강(SCAS)으로 변경할 필요가 있다.

일반적으로 무인항공기에는 다음과 같은 수준의 자율비행기능이 필요하다.

- 1) Autopilot (자동조종)
- 2) Navigation & Guidance (항법유도)
- 3) Path Planing (실시간 경로계획)
- 4) Decision Making (임무여부결정)

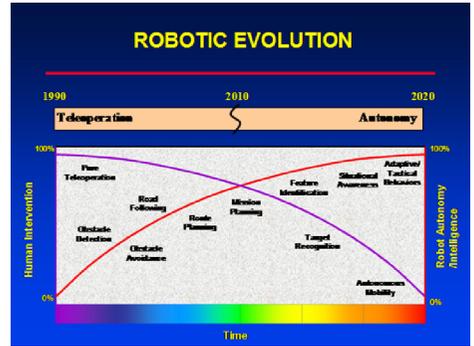
미국방성에서 발간된 무인기 시스템 로드맵에서는 무인기의 자율비행 수준을 그림 12와 같이 정의하였다.[1] 5단계는 자율편대비행이 요구되며, 로드맵 상으로는 2010년에 구현이 가능할 것으로 예상된다.



자료 : UAS Roadmap 2005-2030

그림 12. Autonomous capability level

만약 10단계인 완전자율 군집비행(Fully Autonomous Swarms)능력을 갖추게 되면, 그림 13에서와 같이 지상조종자의 개입이 없이 비상상황이나 위협상황에 대해 스스로 판단할 수 있게 된다. 또한 손실된 무인기의 임무를 편대내의 다른 무인기가 분담하여 임무를 완수하는 수준으로 발전하게 될 것이다.



자료 : UAS Roadmap 2005-2030

그림 13. Robotic Evolution

2.2.2 무인기의 제어기 설계요구조건

고정의 유인기에 대한 제어기의 설계를 위해서는 MIL-F-8785 또는 MIL-STD-1797A를 기반으로 엄밀하게 규정된 설계요구조건을 모든 비행영역에 대해 만족시켜야 한다. 사용자(미군)가 정의한 엄밀한 기술 규격이었던 MIL-F-8785규격은 고성능항공기와 기술적으로 진보된 전기식 비행제어(FBW: Fly By Wire) 항공기에 적용하기 위해서 MIL-STD-1797A로 보완 개편되었다. 한편 유인 회전익 항공기의 경우는 ADS-33E 규격으로 통합되었다.

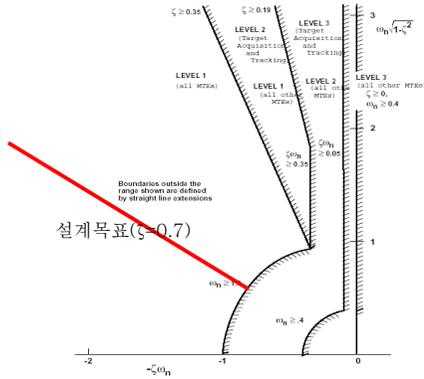
최근에는 사용자의 까다로운 요구규격이 신기술 적용에 제약이 될 수 있기 때문에 사용자가 세부적인 규격을 제시하지 않는다. 다만, 개발자가 제시한 규격을 사용자가 검토 후 수용하고, 개발자는 제시한 규격을 만족시키는 제어기를 개발하는 방향으로 발전하고 있다. 이러한 개발구도의 변화는 다수의 개발자로 부터 경쟁을 통해 최적의 비행체를 개발해내는 미국의 시스템 덕분에 가능한 일이다. 하지만 일반적으로 단일 항공기 개발업체조차 보유하기 어려운 소규모시장의 국가에서는 어쩔 수 없이 사용자가 세부적인 규격을 제시할 수밖에 없다.

무인기의 경우는 아직 명확한 규격이 마련되어 있지 않으며, 개발자가 적절한 비행특성 규격을 제시하고 이를 만족시킬 수 있는 제어기를 개발해야 한다. 다만 무인기도 유인기와 비슷한 임무를 하는 비행체이므로 유인기의 설계요구조건을 응용하여 설계요구를 도출하는 것은 가능하다. 따라서 가장 기본적인 비행특성인 운동축의 댐핑과 주파수에 대해 유인기

의 규격을 적용할 수 있다.

스마트무인기의 경우 고정익과 회전익 형상의 비행이 동시에 가능한 복합형상항공기이며, 고정익과 회전익 형상으로 구분하여 주요 비행특성 규격을 정의하고 있다. 고정익 형상의 경우는 MIL-STD-1797A를 기준으로 설정하였으며, 회전익 형상의 경우는 ADS-33E를 기준으로 비행특성 규격을 설정하였다. 무인기의 경우는 일반적으로 유인기에 비해 성능이 부족하므로 성과 관련된 규격은 기체의 특성에 맞춰서 완화되어야 한다.

스마트무인기에 적용된 비행특성 규격을 회전익과 고정익모드에 대해 각각 그림 14과 15에 도시하였다. 이러한 비행특성 규격을 만족시키기 위해 고전제어기(PID)를 기본 제어기로 채택하였다.



자료 : 참고문헌[2]
그림 14. 회전익형상의 설계규격 (ADS-33E)

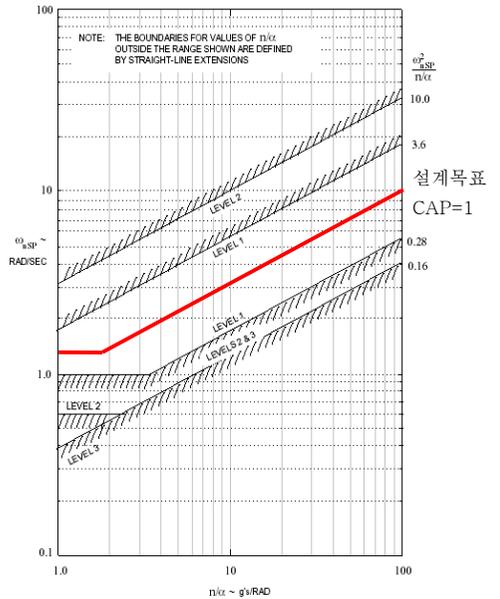
무인기의 경우 사용자가 별도의 비행특성규격을 제시하지 않는다면, 현대 제어이론을 이용하여 제어기 설계가 가능하다.

실제로 고전제어기법을 적용하기 어려운 신개념형상의 무인기를 개발할 경우, 사용자가 구체적인 비행특성 규격이 없이 비행이 잘 되도록만 제어기를 설계할 것을 요구하기도 한다. 이런 경우 설계된 제어기의 성능을 세부적인 비행시험으로 검증할 필요는 없으며, 비행을 잘 하는 것을 보여주지만 하면 된다.

적용제어기법인 신경망 제어기의 경우 비행시험에 따라 이득이 가변적으로 변화하기 때문에 규격서에 제시된 일반적인 비행특성규격(예를 들면 댐핑과 주파수)을 충족시키는지 여부를 판단하기 어

럽다. 따라서 신경망 제어기나 기타 현대제어이론을 적용한 무인기의 비행특성규격을 정립이 필요하며, 시간응답에 대해 과도응답(overshoot), 상승시간(rise time), 정상상태오차(steady state error) 등으로 규격을 정할 수 있을 것으로 판단된다.

앞으로 무인기의 제어기설계에 대한 요구조건은 세세한 비행특성 규격의 제시보다는 “임무를 보다 효과적으로 수행할 수 있는 비행이 가능”하도록 하는 다소 모호한 상위수준의 설계요구조건만 부여될 것으로 판단된다. 제어기 그 자체뿐만 아니라 제어기 설계방법에서도 자율적인 제어기 개발이 가능한 시대로 접어들고 있다.



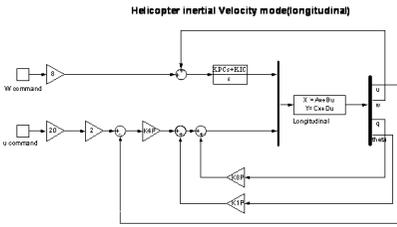
자료 : 참고문헌[2]
그림 15. 고정익형상의 설계규격 (MIL-STD-1797A)

2.2.3 자동조종(Autopilot)의 기술개발동향

주어진 요구조건을 만족시킬 수 있는 다양한 제어기 설계방법이 존재하지만 설계모델이 대상항공기와 오차가 있는 경우 강건성을 입증하기 어렵다. 또한 비행시험을 통해 예측하지 못한 문제가 발생하는 경우 설계자가 다중입출력 시스템의 각 입력과 출력에 대한 명확한 특성을 알고 있지 못하면 문제의 해결이 매우 어렵다. 따라서 항공기의 비행특성을 해석적으

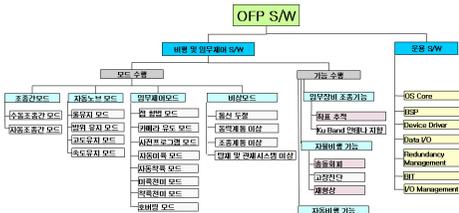
로 파악하기 쉬운 고전제어기법(PID제어)을 채택하는 것이 보편적이다. 일반적으로 PID제어기를 설계할 때 적절한 이득여유와 위상여유를 갖도록 설계하면 모델링 오차에 대한 충분한 강건성을 갖도록 설계할 수 있는 장점도 있다.

이러한 이유로 대부분의 항공기에 고전제어기법을 사용하여 제어기가 설계되었다. 스마트무인기도 고전제어기법을 사용해서 그림 16과 제어기를 설계하고 있다. 회전익모드는 자세명령과 관성속도명령을 이용하고, 천이모드는 최적 천이 경로선을 따르도록 설계되었다. 고정익모드에서는 가속도 명령을 사용한다. 고전제어기가 포함된 전체 비행운용프로그램(OPF)의 구조는 그림 17과 같이 구성된다.



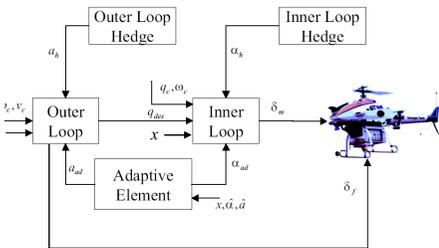
자료 : 참고문헌 [3]

그림 16. 스마트무인기의 PID제어기설계



자료 : 참고문헌 [4]

그림 17. 스마트무인기의 제어 OPF 구성도

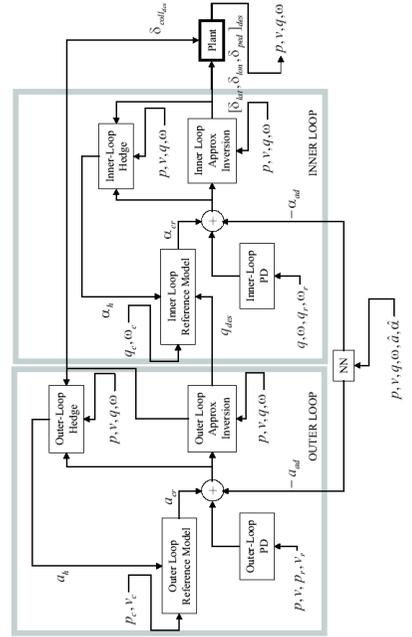


자료 : 참고문헌 [5]

그림 18. GIT의 신경망 제어기구조

스마트무인기가 채택한 틸트로터 형상의 특이성으로 인해 회전익 비행체와 고정익비행체를 포함하는 고전제어기의 개발은 복잡하고 어려울 수밖에 없으며, 이로 인해 선진형상항공기를 적절하게 제어하기 위한 방안으로 위탁과제를 통해 신경망 제어기의 설계를 동시에 진행하고 있다.

신경망 제어기의 경우 주로 자동조종(autopilot)제어기에 적용되어 왔으나, 최근 GIT(Georgia Institute of Technology)에서 항법유도를 위한 외부루프에도 적용하여 그림 18과 같이 야마하 헬기를 개조한 GTmax 헬리콥터로 비행시험을 수행하였다. 스마트무인기에 대해서도 이와 유사한 신경망 제어기를 설계하였으며, 그림 19에 제어기의 상세구조를 도시하였다.



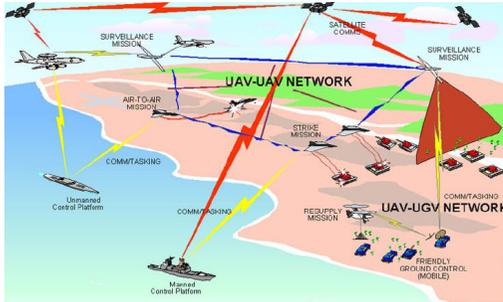
자료 : 참고문헌 [5]

그림 19. GIT의 신경망 제어기 세부구조

2.2.4 무인기의 자율 협력 제어 (Autonomous Cooperative Control) 기술

무인기의 완전한 자율협력비행에 대한 예를 그림 20에 도시하였다. 일부편대는 정찰임무를 수행하고 뒤따르는 편대는 정찰정보를 이용해서 공격임무를

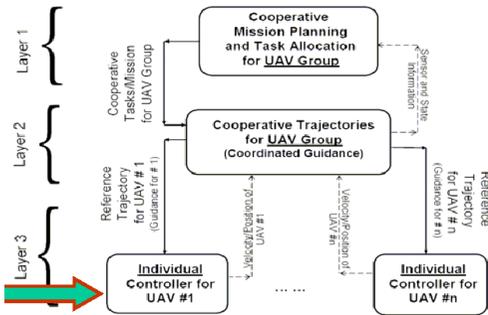
수행한다. 또한 위협이 존재할 경우 일부 편대는 공중이나 지상의 위협제거임무를 수행한다.



자료 : University of Cranfield, UK. (Dr. White)
그림 20. Network of Autonomous Sensor Platforms

각 무인기들 간에는 통신망을 이용해 자신의 정보를 타 무인기들에게 전달하고, 타 무인기들로부터 받은 정보를 해석하여 편대내의 무인기와 연계하여 스스로 경로를 변경하고 상황에 맞는 임무를 수행하게 된다.

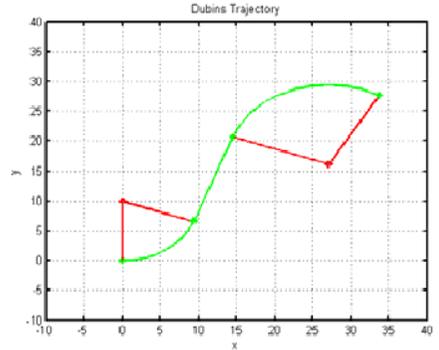
그림 20에서는 무인항공기 뿐만 아니라, 전체 임무 통제를 위한 유인통제기, UGV(Unmanned Ground Vehicle)가 연합하여 전투망을 형성하도록 구성된다. 이러한 다수의 UAV에 의한 임무를 원활하게 수행하기 위해서 각각의 무인기에 대한 임무단계를 그림 21과 같이 나눌 수 있다.



자료 : University of Cranfield, UK. (Dr. White)
그림 21. 다수 UAV의 협력임무단계

가장 낮은 3단계에서 각각의 무인기는 자신이 갖고 있는 사전비행경로를 따라 적절한 제어를 통해 비행하는 기능을 갖는다. 또한 자신의 속도와 위치 정보를 다른 무인기들에게 전송하여 무인기 상호간의 비행정보를 공유한다.

중간 단계인 2단계에서는 다른 무인기들과 경로상의 충돌위험이나 중복된 비행경로가 있는지를 점검하여 중복되지 않는 경로를 재설정한다. 또한 주변의 위협이 감지되면 가장 안전한 비행경로를 재설정한다.

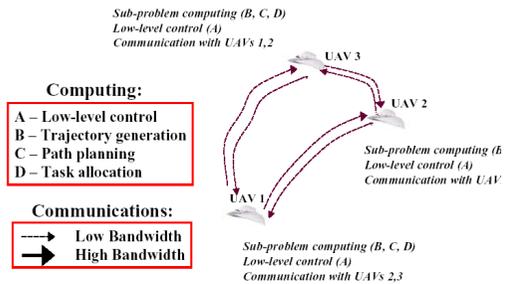


자료 : University of Cranfield, UK. (Dr. White)
그림 22. 레이더 피탐방지 경로선

만약 주변에 레이더 사이트와 그 레이더와의 전송출력이 감지되면 그림 22와 같이 레이더사이트를 우회하여 레이더 피탐 확률을 줄일 수 있는 비행경로를 재설정한다.

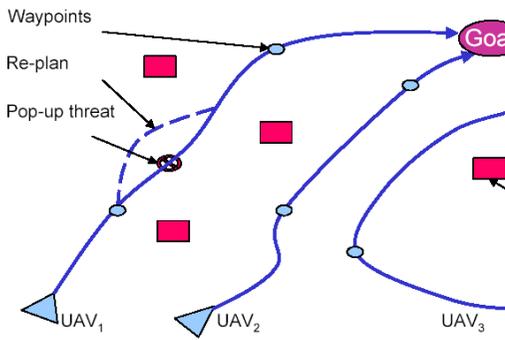
가장 높은 1단계에서는 협력비행을 수행하는 무인기 상호간 단위임무(Task)를 주변상황에 따라 재할당하고 비행경로와 임무를 실시간으로 계획하면서 비행한다.

Decentralized Cooperative Control



자료 : University of Cranfield, UK. (Dr. White)
그림 23. 분산형 협력 제어

최상위단계의 자율비행을 위해 그림23과 같이 분산된 협력 제어가 필요하다. 각각의 무인기는 A의 낮은 단계 제어를 개별적으로 수행하고, B, C, D의 정보를 공유하여 각각 이를 수정하고 수정된 정보를 다른 무인기들에게 알려준다.



자료 : University of Cranfield, UK. (Dr. White)

그림 24. 협력 무인기의 운용시나리오

다수의 무인기가 주어진 목표(Goal)에 도달하기 위해 상호간에 비행경로(way points)를 설정하고 주어진 경로상에 예상하지 못한 위협이 있을 경우 경로를 변경하여 최종 목표에 도달하는 시나리오를 그림 24에 도시하였다.

그림 24와 같은 편대 운용이 가능하기 위해서 무인기간의 정보를 공유할 수 있는 표준화된 통신체계와 데이터링크의 구성이 필요하며, 통신방해와 두절에 대한 대비책이 마련되어야 한다. 또한 아군기와 적기를 판별할 수 있는 신뢰도가 높은 표준 피아식별장치를 갖추어야 한다.

이러한 시스템의 구축은 다 로봇산업분야와 유인교통시스템에도 응용될 수 있다.

2.2.5 충돌회피 기술개발동향

무인기의 보편적인 운용을 위해서는 유인기 공역에서 유인기와 동시에 비행할 수 있는 환경제공이 필요하다. 일반적으로 무인기의 경우 안전상의 이유로 유인기 공역에서는 비행이 불가능하다. 무인기가 유인기 공역을 비행하기 위해 충돌회피 기술이 요구되고 있다. 충돌회피 장비는 비행체 탐지 방법에 따라 크게 협력(Cooperative)센서와 비협력(Non-Cooperative)센서로 나눌 수 있다.

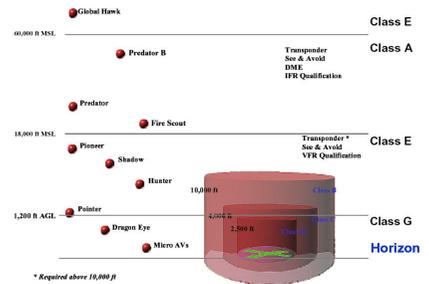
협력센서는 TCAS(Traffic Alert and Collision avoidance System), ADS-B(Autonomous Dependant Surveillance-Broadcast)와 같이 상대방과 신호를 주고 받으면서 상대의 위치를 파악하는 방법이다. 비협력 센서는 레이더, 광학센서와 같이 스

로 상대방을 찾아내는 방법이다.

협력센서는 비행체의 위치정보 뿐만 아니라 많은 비행정보를 공유할 수 있는 장점이 있는 반면에 쌍방이 모두 센서를 탑재하고 있어야 하는 것이 단점이다.

TCAS 시스템은 현재 대부분의 여객기에 장착되어 운용중이다. TCAS가 장착된 항공기끼리 상대방의 비행정보를 질의/응답형식으로 파악하여 충돌회피경로를 조종사에게 지시가 가능하다. 그러면 조종사는 육안으로 충돌위험 항공기를 확인하고 TCAS의 충돌회피경로를 따라 조종을 하게 된다.

TCAS보다 발전된 ADS-B시스템은 충돌회피 기능뿐만 아니라 다중의 데이터 통신을 통해 주위에 운용 중인 비행체의 비행정보를 공유할 수 있다. 이를 통해 실시간 항공교통 통제와 비행안전을 향상시킬 수 있어 앞으로 항공교통 통제기술의 표준으로 자리잡을 것으로 기대된다. 유인기 뿐만 아니라, 무인기 분야에서도 ADS-B를 이용한 충돌회피 연구개발이 진행되고 있다.



자료 : UAS Roadmap 2005-2030

그림 25. Airspace classes of National Airspace

이와는 달리 비협력 센서는 협력센서를 탑재하지 않은 비행체를 탐지할 수 있는 장점이 있으며, 기후 조건에 취약한 광학센서보다는 전천후인 레이더가 선호되지만, 가격이 비싼 단점이 있다.

그림 25에 공항주변의 공역에 대한 구분과 무인기들의 운용고도를 도시하였다. Class E이상의 고도에서는 무인기가 트랜스폰더(TCAS)를 장착하고 시계비행규칙(VFR : Visual Flight Rules)을 가지도록 규정하고 있다. 그러나 대부분의 무인기들은 상승률과 속도등 비행능력이 유인기에 비해 부족하고, 지상의 통제소에서 유인기를 확인하여 회피기동을 하므로 충돌위험이 있을 경우 적시에 운용하기가 어렵다.

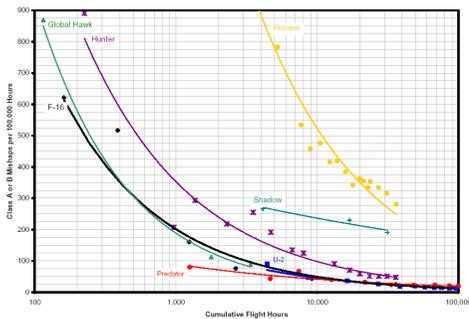
그래서 탑재컴퓨터를 통해 자동적으로 회피기동을 수행하는 방법이 연구되고 있다. 특히 개별 무인기가 충돌회피 기능을 갖는다고 하더라도 상대항공기와 협력하여 상호간 일관된 회피기동을 하지 않으면, 적절한 충돌회피는 어렵다. 따라서 ADS-B를 사용한 충돌회피의 표준화 연구가 진행되고 있다.

2.3 무인기 제어시스템 개발동향

2.3.1 무인기 운용에서의 문제점

무인기의 경우 값싸고, 정밀도가 낮은 탑재시스템을 채택하기 때문에 엄격한 규격에 의해 제작된 유인기에 비해 고장율이 높은 것은 당연하다.

그림 26은 유인기와 무인기의 비행시간당 누적사고율을 나타낸 선도이다. 초기단계의 무인기인 파이오니어 (Pioneer), 헌터(Hunter), 그리고 샤도우(Shadow)는 유인기에 비해 사고율이 아주 높은 편이었으며, 최근에 개발된 글로벌 호크나 프레데터는 유인기와 비슷한 사고율로 낮아졌음을 확인할 수 있다. 가장 많은 무인기 운용경험을 가진 이스라엘과 미국의 무인기 시스템의 손실원인을 그림 27에 나타내었다.



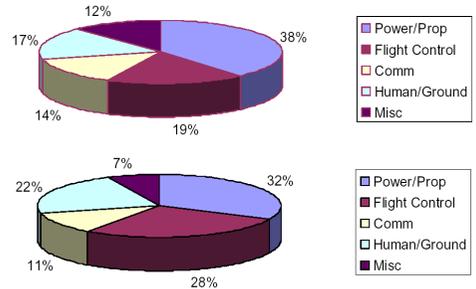
자료 : UAS Roadmap 2005-2030

그림 26. Mishap Rate Comparison

그림 27에서 무인기 사고의 주원인은 추진기관이며, 두 번째는 비행제어 계통임을 알 수 있다. 통신에 의한 손실은 운용자나 조종자의 실수에 의한 손실보다 더 낮다.

무인항공기의 손실확률을 줄이기 위해서 신뢰성 높은 엔진의 선정이 필요하며, 또한 엔진에 맞는 운용조건의 수립이 필수적이다. 앞서 논의했던 유인

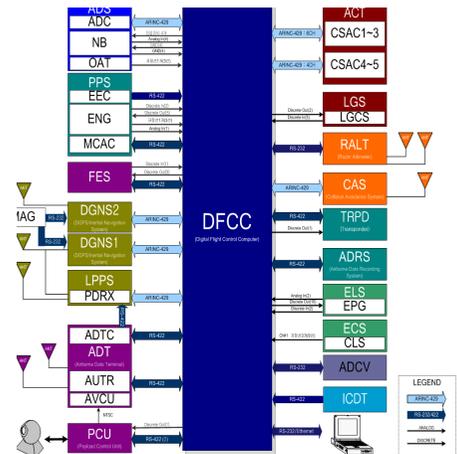
기의 무인기화는 무인기의 손실확률을 크게 줄일 수 있을 것으로 쉽게 예측할 수 있다.



자료 : UAS Roadmap 2005-2030

그림 27. 미국(위)과 이스라엘 군용 무인기의 사고원인

무인기 손실의 두 번째 원인인 비행제어계통의 신뢰성을 향상시키기 위한 방안은 다중화 제어시스템의 개발이다. 다중화 비행제어 시스템은 임의의 단일채널 고장발생시 정상적으로 작동하는 타 채널로 제어경로를 변경하여(재형상 제어) 정상적으로 비행할 수 있다. 스마트무인기에도 신뢰성 확보를 위해 2중화된 비행제어 시스템을 채택하고 있으며, 그림 28과 같은 구성도를 가진다.



자료 : 참고문헌[4]

그림 28. 스마트무인기의 2중화 시스템

그림 28의 다중화 시스템을 구성하기 위해서는 각각의 단일 시스템에 대해 고장확률을 알아야 하고, 고장확률이 높은 시스템에 대해 다중화 설계를 하여야 한다. 고장확률이 낮은 시스템은 다중화 수

준을 낮추어서 전체적인 시스템의 고장확률이 균등하도록 설계해야한다.

비행제어계통의 손실을 줄이기 위한 다른 방편으로 신뢰성 높은 공통 제어시스템을 개발하는 방안이 연구되고 있다. 일반적으로 항공기는 각각의 형상에 따라 비행특성이 달라지므로 항공기 마다 서로 다른 제어기를 가진다. 새롭게 개발되는 항공기는 완전히 새로운 제어시스템을 채택하고 있으며, 신뢰도에 대한 검증을 다시 수행해야 하고, 개발비용도 증가할 수밖에 없다.

고정익기의 경우 비행특성은 다르더라도 피치, 롤, 요축으로 항공기의 운동이 구분되어있고, 실제로 설계된 고전제어기의 구조가 유사하다. 따라서 각각의 항공기의 제어기 구조를 통일하고 이득 값만 조절하면 공통 제어기의 개발이 가능하다. 최근에 공통의 비행제어 하드웨어 시스템과 비행운용 프로그램(OFP)를 사용해서 서로 다른 형상의 항공기에 대해 동일한 제어기를 구성하도록 하는 프로젝트가 록히드 마틴사를 중심으로 진행 중이다.

3. 결 론

본 논문에서는 최근의 무인항공기 개발추세와 이들 무인기에 고려되고 있는 제어기에 대해 살펴보았으며, 향후 무인항공기의 제어기에 적용될 자율비행 알고리즘과 제어 시스템의 개발동향에 대해 고찰하였다.

무인기의 개발은 이제 막 시작단계이기 때문에 선진국과의 기술격차가 크지 않으며, 오히려 산업기반이 취약했던 이스라엘의 경우 가장 먼저 무인기개발에 나서 미국보다 앞서서 무인기의 실용화와 운용에 성공한 바 있다. 요즘은 막대한 자금력을 가진 미국에서 서서히 추월당하여 주도권이 넘어가 있는 상황이다.

무인기는 현재까지 군용목적으로 거의 대부분 사용되고 있지만, 산림감시나 해안정찰, 기상관측, 재난관측, 조난자 수색 등 민간분야의 수요도 크게 증가할 것으로 예상되고 있다. 국내에서는 저고도 무인기인 군단급 무인기가 이미 실전 배치를 완료하였으며, 중고도 무인기의 개발이 추진되고 있다. 또한 민수용으로 스마트무인기와 같은 신개념 무인기의 개

발이 진행 중에 있다.

스마트무인기의 경우 개발된 제어기의 성능을 사전에 검증하기위해서 40%축소기 모델에 대한 비행시험을 수행할 예정이며, 제어기가 탑재되지 않은 항공기 자체의 비행가능성을 검증하기위해서 단순한 RC 시스템을 장착하여 비행시험을 순조롭게 진행하고 있다.

앞으로 무인기들은 점차 현재의 유인기를 대신해 나갈 것이다. 조종사의 인명손실을 줄일 수 있는 군용기로서 뿐만 아니라, 여기서 발전된 자율비행기술을 통해 유인 교통시스템에서의 자동화 수준을 크게 향상시킬 것이다. 따라서 그리 멀지않은 장래에는 조종사가 없는 무인 여객기와 운전자를 대신해서 사람들을 운송할 수 있는 무인 자동차가 개발될 것이다.

이러한 기술들이 가능하기 위해서는 신뢰성 높은 무인 제어시스템 뿐만 아니라, 무인기 상호간의 통신과 데이터 링크의 광대역 표준화가 필요하며, 무인기의 판단 능력을 높일 수 있는 정밀한 센서의 개발이 필요하다.

이러한 분야의 기술발전들로 인해 무인기산업은 타 산업분야의 기술발전을 촉진시키는 매개체가 될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. "Unmanned Aircraft Systems (UAS) Roadmap", 2005-2030. Office of Secretary of Defence. 2005.08.
2. 강영신, "임무 및 비행제어 상세설계요구서", SUDC-ED-B1-05-008-R0. 스마트무인기 사업단. 2006.
3. 박범진, 이장호, 최형식, 강영신, 유창선, "비행제어 CDR-비행제어상세설계 보고서", SUDC-ED-B1-04-060-R0. 스마트무인기 사업단. 2006.
4. 유창선, "OFP SW설계규격서", SUDC-DS-B1-03-006-R1, 스마트 무인기 사업단. 2006.
5. Eric N. Johnson and Suresh K. Kannan, "Adaptive Trajectory Control for Autonomous Helicopters", AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics, 28, May 2005.
6. 박준현, "항공전자장비 개발규격서", SUDC-DS-D2-03-001-R1. 스마트무인기 사업단. 2006.
7. Antonios Tsourdos and Brian White, "UAV Guidance, Navigation and Cooperative Control Architectures

세미나자료”, 스마트무인기사업단, 2006.10.

8. H.Stone & K.C. Wong, “UAV Research at the School of Aeromech Engineering at the University of Sydney 세미나 자료”, 스마트무인기사업단, 2006.10.