



무미의 무인비행기(Tailless Uninhabited Aerial Vehicle) 개발기술의 최근 경향

하철근*, 윤석준**

*울산대학교 수송시스템공학부, **세종대학교 기계항공우주공학부

1. 서 론

20세기 초반 인간이 처음으로 동력비행을 성공한 이래 항공기술은 눈부신 발전을 거듭하여 왔다. 오늘날에 이르러 초음속을 나르는 비행기는 물론 우주왕복선 같은 비행체를 설계할 수 있게 되었다. 한편, 사람이 타지 않는 무인 비행기(Uninhabited Aerial Vehicle)를 개발하고자 하는 본격적인 시도는 1960년대부터 시작되었다. 이는 항공체 설계기술의 발전은 물론 기계공학, 전기전자 및 컴퓨터공학 등 주변기술의 발전에 힘입어 바 크다. 본래 무인 비행기의 주요 임무는 사람이 하기 어렵고(danger) 힘들고(dirty) 지루한(dull) 작업을 수행하게 하는 것이다. 군사 목적으로 개발된 무인 비행체는 정찰감시 및 근접지원, 적의 항공망 제압, 공중 급유, 정확한 공격임무 등을 수행하며 민간용은 농약살포, 산불 및 교통감시, 해안 및 국경정찰, 항공촬영, 광물자원 탐사 등에 활용된다. 군사용 무인 비행기는 중동전, 월남전, 걸프전 그리고 최근에 있었던 보스니아와 코소보 분쟁과 같은 실전에서 그 유용성이 확인되어 무인 전투비행기(UCAV: Uninhabited Combat Aerial Vehicle)의 개념으로 지속적인 발전을 하고 있다. 민간용 무인 비행기의 경우는 일본에서 농약 살포용 무인비행기 개발에 성공하였으나 상업적 성공은 아직 확인되지 않고 있다. 하지만 적은 자본으로 고부가가치를 창출할 수 있고 그 효용성에 비쳐볼 때 잠재적인 시장가치는 매우 크다고 생각된다.

한편, 다양한 임무와 활용목적에 따라 여러 형태의 무인 비행기가 개발되고 있다. 이에 대해 여러 가지 분류방법이 있지만 그 형상에 따라 고정익형과 회전익형, 그리고 복합형으로 분류할 수 있으며 임무를 수행하는 고도에 따라 저고도형, 중고도형, 고고도형으로 분류하기도 한다. 그런데 고정익형을 다시 세분하여 꼬리날개가 있는 형과 없는 형으로 분류할 수 있다.

Predator, Outrider나 Atlas와 같이 꼬리날개가 있는 형은 일반적인 유인 비행기(Manned Aerial Vehicle)와 그 형상이 유사하다. 하지만 Northrop-Grumman사의 B2 유인 비행기와 달리, 무인 비행기로서 꼬리날개가 없는 형은 현재까지 실험기를 포함하여 그렇게 많지 않다. 최근에 X-36과 같은 무인 비행기는 유인 비행기의 축소모델로 개발되어 무미의 비행체 설계를 위한 기술개발에 활용되고 있다. 현재까지 꼬리날개가 있는 전형적인 무인 비행기들은 비교적 많이 알려져 있으나 그렇지 않는 형은 별로 많이 소개되지 않았다. 그래서 본 특집에서는 꼬리날개가 없는 형의 비행기에 대해 중점적으로 다루고자 한다.

본 연구에서는 현재 개발되고 있는 무미의 무인 비행기에 대한 개발기술의 최근 경향을 알아보하고자 한다. 우선 대표적인 무미의 비행기가 어떤 것들이 있는지 알아보고 그들이 갖는 비행역학적 특성을 알아본다. 그리고 이러한 무미의 비행기 개발을 위한 최근 경향과, 특히 이러한 비행체에 적용되고 있는 최근 비행체 어기술에 대해 알아보하고자 한다.

2. 본 론

2.1 다양한 무미의 비행기의 종류

지금까지 설계된 비행기들 중에서 미익이 없는 형상은 여러 경우에서 찾아볼 수 있다. 역사적으로 1920년대에서 1945년까지 무미의 비행기들이 많이 설계되었는데 그때 얻어진 경험들이 오늘날까지 이어지고 있다. 우선 오늘날의 행글라이더를 보면 미익이 없다. 물론 그림 1과 같이 초창기에는 Wright brothers나 Lilienthal 등에 의해 성능을 향상시킬 목적으로 미익을 갖는 행글라이더를 설계되기도 했다. 하지만 그 이후에는 그림 2와 같은 "Rogallo" 행글라이더가 출현하였다. 보다 현대적인 행글라이더는 그림 3에서와 같이

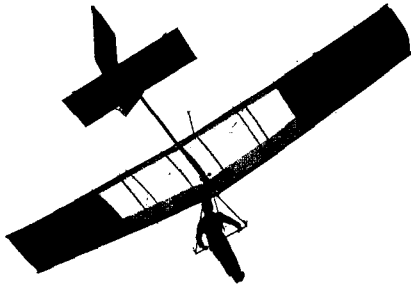


그림 1. 꼬리가 있는 행글라이더.

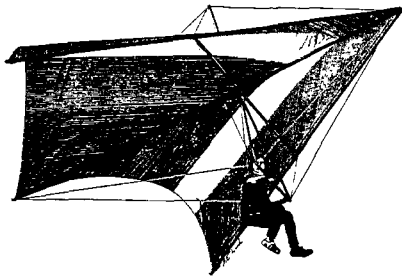


그림 2. "Rogallo" 행글라이더.

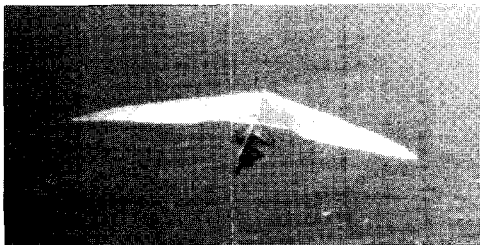


그림 3. 현대적인 무미익 행글라이더.

구조적인 보강과 큰 Aspect Ratio를 갖는 날개를 채택함으로써 가능하게 되었다. 그 다음은 아주 오래 전에 출현한 Sailplane이다. 그림 4와 같이 1921년경에 Frintz Wenk가 "Weltensegler"라는 무미익 Sailplane을 만든 이후 최근의 현대적인 무미익 Sailplane으로 그림 5와 같은 것을 볼 수 있다. 그리고 1950년대 후반부터 1960년 초반까지 그림 6과 같은 "Aerobile"이라는 경비행기가 운항되었다. 하지만 1930년대부터 1950년대 초반까지 경제성이 없다는 이유로 이렇다 할 Sailplane이나 무미익 고익 경비행기는 거의 설계되지 못하였다. 그 외에도 기술적인 한계로 승객과 화물을 날개안에 모두 배치해야 하는 문제를 해결할 수 없었다. 하지만 최근에는 군사적인 목적으로 무미익 비행기를 만들기 시작하였다. 그림 7에서 보인 Northrop사가 설계한 스텔스 폭격기인 B2는 성공적인 무미익 비행기이다. 지금까지 살펴본 무미익 비행기는 대부분 사람이 직접

타고서 조종하는 것이었다. 따라서 역사적으로 무미익 무인 비행기의 등장은 아주 최근의 일이다.

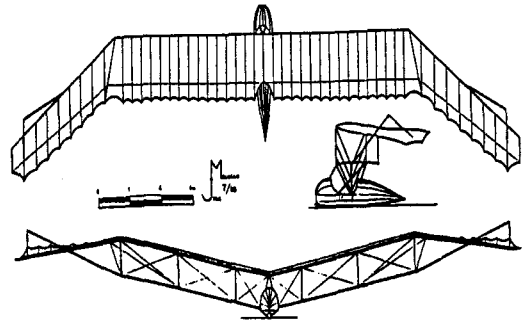


그림 4. "Weltensegler" 무미익 행글라이더.

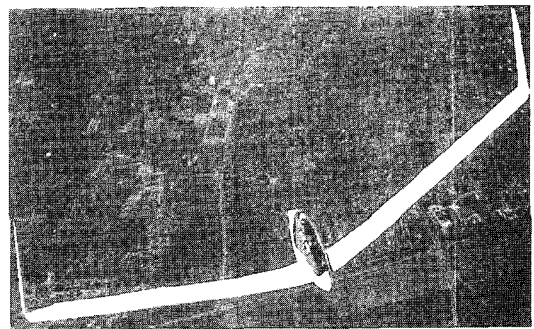


그림 5. SB-13 Arcus 무미익 Sailplane.

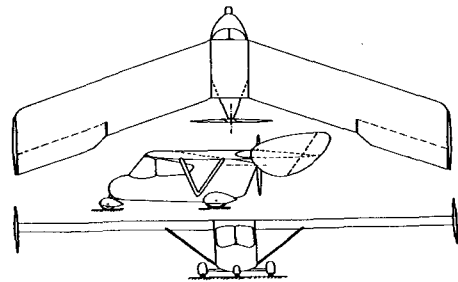


그림 6. "Aerobile" 무미익 고익 비행기.

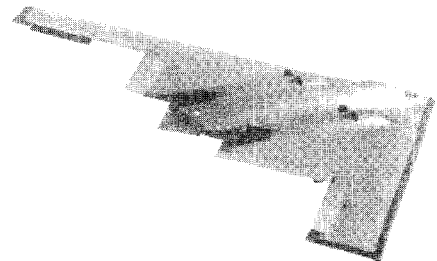


그림 7. Northrop B2 무미익 비행기.

보스니아와 코소보 전쟁과 같은 국지전에서 그 효용 가치를 인정받은 무인 비행기가 이제 본격적으로 설계되기 시작하였다. 그리고 전기전자 및 컴퓨터 기술의 발전으로 자동화 기술이 급속도로 발전하게 되자 전형적인 형상의 비행기 설계에서 벗어나 보다 비관례적인 무미익 무인 비행기가 설계되기 시작하였다.

그들의 형상은 비교적 제한적이다. 미국의 Aero Environment사가 제작한 Pathfinder(그림 8), Helios(그림 9), 그리고 Centurion(그림 10) 등은 태양열 발전으로 동력을 얻으며 장시간 체공이 가능하고 Lockheed-Martin사의 Darkstar(그림 11)는 turbofan을 사용하여 장시간 고고도 체공이 가능하다.

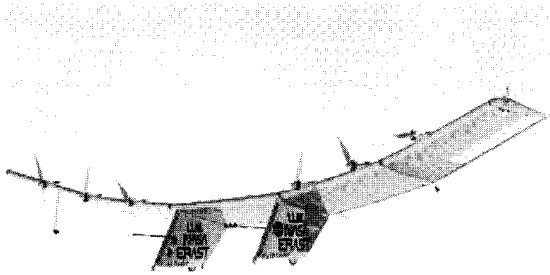


그림 8. Pathfinder.

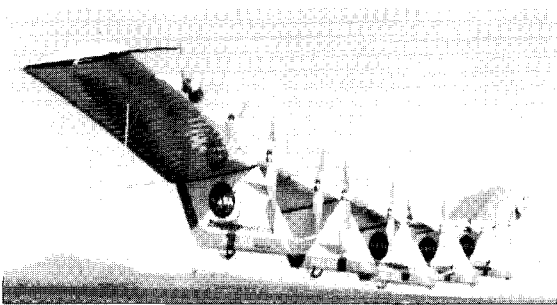


그림 9. Helios.

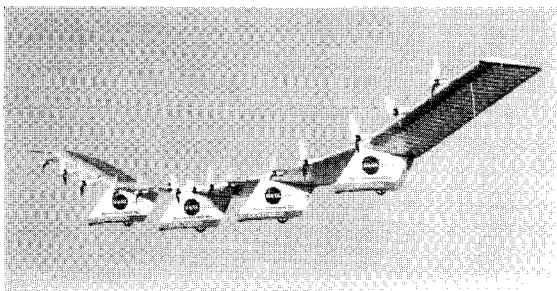


그림 10. Centurion.

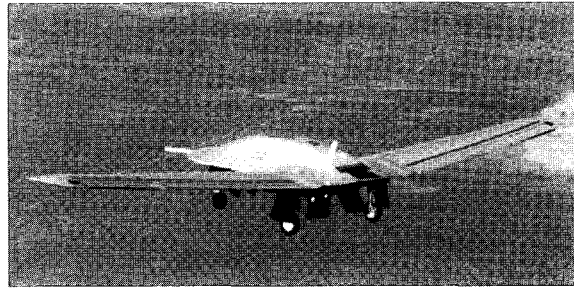


그림 11. Darkstar.

그리고 그림 12는 Centurion을 이용한 지상통신 중계기로서의 네트워크 구성을 보여주고 있으며 그림 13에는 군사적 목적을 위한 Darkstar의 운용 개념을 보여주고 있다. 무미익 형상은 항력과 하중을 줄일 수 있으며 스텔스 기능을 갖는 것 등 잇점 때문에 전투개념을 갖는 무미익 무인 비행기(UCAV:Uninhabited Combat Aerial Vehicle)가 개발되고 있다. 그림 14는 무미익 유인 비행기를 축소모델로 개발한 무인 비행기인 X-36 UCAV를 보여주고 있으며 그림 15와 그림 16은 X-39 UCAV 및 X-45A UCAV를 각각 보여주고 있다. 그 외에도 미 해군에서 장래에 개발될 수 있는 개념도로서의 YH-X UCAV(그림 17)도 있다.

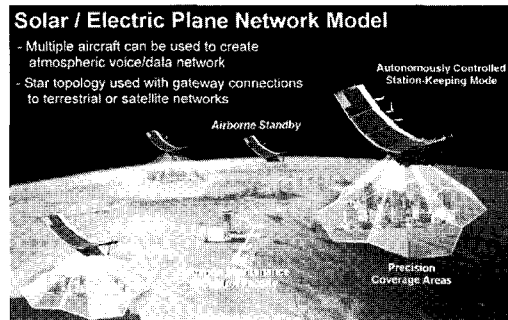


그림 12. Centurion의 운용 개념도.

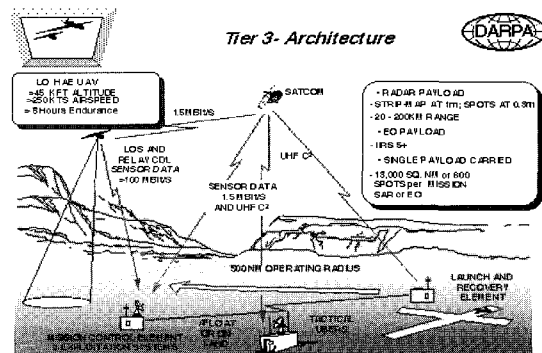


그림 13. Darkstar의 운용 개념도.

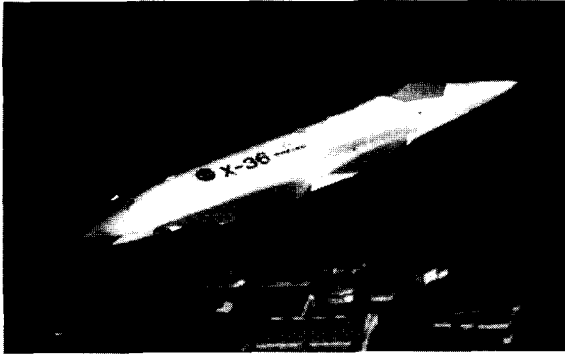


그림 14. X-36 UCAV.

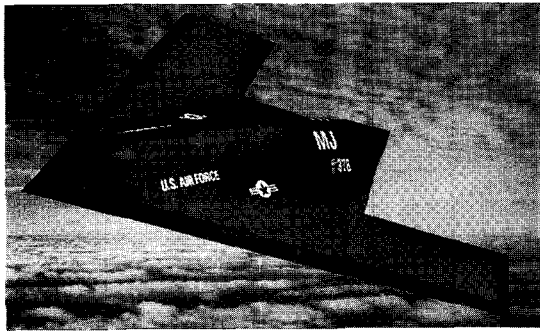


그림 15. X-39 UCAV.

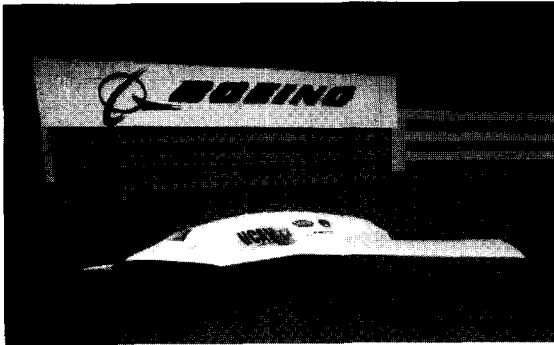


그림 16. X-45A UCAV.

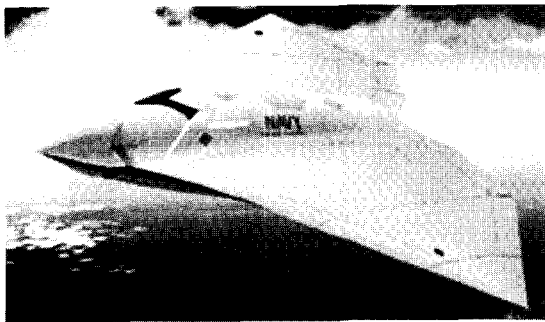


그림 17. YH-X UCAV.

2.2 무미익 무인 비행기 개발 현황

앞에서 살펴본 바와 같이 무미익 비행기에 대한 관심과 연구개발은 아주 오래 전부터 시작되었다. 그 때 만하더라도 사람이 탈 수 있는 무미익 비행기의 개발이 대부분이었다. 하지만 최근에 와서 무미익 무인 비행기의 개발에 관심이 고조되고 있으며 특히 무미익 UCAV라는 개념을 갖는 군사적 목적으로 연구 개발이 진행되고 있다. 그 몇 가지 사례를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 무미익 비행기로서 NASA Dryden Flight Research Center에서 개발되어 1990년에 첫 비행을 시작한 X-31은 유인 비행기이지만 무미익 무인 비행기에 적용가능한 기술을 검증하는데 사용하였다. 무미익 비행특성을 구현하기 위해 X-31은 옆미끄럼각 센서와 러더 제어면을 사용하여 인위적으로 방향안정성(Directional Stability)을 제거하였다. 이에 대해 Thrust Vectoring 기법을 채택하여 안정성 및 고안각 기동선회를 시험하였다. 본 비행에서 총 러더 효과(Rudder Effectiveness)의 70%까지 제거하고 시험한 결과 무미익 비행기에 있어서 엔진과 비행제어 시스템의 상호 보완이 매우 중요하며 Thrust Vectoring이 새로운 대안으로 부각되었고 50%까지 러더효과를 제거하더라도 비행성에는 별로 영향을 받지 않았다. 그리고 McDonnell Douglas' Phantom Works의 St. Louise Division에서 제작한 X-36(그림 14)은 Turbofan 엔진을 장착한 무미익 UCAV이다. 원래 Phantom Works는 보잉사의 군수 및 민수용 항공우주관련 분야, 미국방성, NASA 등에서 미래에 소요제기가 있을 첨단기술을 개발하고 이를 신속하게 제공할 목적으로 구성되었다. 이러한 노력의 결과로 나오는 혁신적인 기술을 적용한 것이 무미익 X-36이다. 이는 10-ft의 Wing Span, 18-ft 동체길이, 3-ft 높이와 1270-lbs 중량을 갖고 있고 700-lbs 추력을 내는 Williams Research F112 Turbofan 엔진을 장착하고 있다. 이는 1989년에 McDonnell Douglas가 NASA에 무미익 비행기 연구를 위해 제안하였으며 1994년에 NASA Ames Research Center와 50/50 Cost-sharing Arrangement에서 2대를 생산하기로 하고 McDonnell Douglas가 제조에 착수하였다. 이는 실기의 28% 축소모델의 UAV이며 제어장치는 Canards, Leading/Trailing Edge Flaps, 그리고 롤(Roll) 운동과 요(Yaw) 운동을 위해 Split Ailerons와 Thrust Vectoring이 있다. NASA Dryden Flight Research Center 주관 아래 현재까지 총 31번 시험비행을 마쳤으며 최대속도 206-knots, 고도 20,000-ft 그리고 40도 이상의 받음각에서 시험하였다. 처음에는 Head-Up Display 기능을 구현한 지상통제 Cockpit에 비행시험 조종사가 원격제어를 통하여 비행시험을 수



행하였으며 고가의 자동비행 제어시스템은 필요하지 않았다. 원격 통제실에는 기존의 전투기 Cockpit과는 달리 Displacement Sticks, Rudder Pedals, Throttle Quadrant, 여러 개의 계기판의 Pushbutton Switches가 있다. 비행시험 결과 대부분의 UAV 개발과 관련하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, UAV 시스템은 가능한 한 단순해야 한다. 하지만 성능의 치명적인 저하는 일어나지 않아야 한다. 둘째, 손상(Damage) 또는 고장(Failure)으로 인한 손실 등 위험성에 대한 철저한 분석과 대책이 마련되어야 한다. 이런 요구조건 때문에 현재의 UAV는 값비싼 장비를 탑재해야만 한다. 셋째, UAV와 관련된 하드웨어와 소프트웨어는 개발과정에서 언제든지 변경할 수 있어야 한다. 넷째, UAV 개발 과정에는 시험비행 조종사나 실무적인 엔지니어의 경험이 반영될 수 있는 프로그램이 포함되어야 한다. 이러한 경험을 바탕으로 Boeing사, NASA Dryden, 그리고 Air Force Research Laboratory(AFRL)로 구성된 RESTORE 프로그램을 수행하였다. 원래 RESTORE는 AFRL이 형상 재구성 비행제어(Reconfigurable Flight Control) 알고리즘을 개발하기 위한 프로그램이다. 이는 기존의 방법과는 달리, 매 순간마다 변하는 비행기의 동특성을 계속적으로 적용시켜 미지의 손상이나 작동기의 고장을 보상하는 방법이다. 이러한 개념은 Lockheed Martin Tactical Aircraft Systems 그리고 Boeing Phantom Works와 1996년에 계약을 맺고 계속 발전시켰다. 이를 X-36 무미익 무인 비행기에 적용하여 1998년까지 여러 차례 제한적인 시험비행을 수행하였다. 그리고 1999년 여름에는 전 영역을 망라한 RESTORE 기술에 대한 시뮬레이션 평가를 마쳤다. 뒤 이어 2001년에는 Self-Adaptive Flight Experiment (SAFE) 프로그램을 통하여 완전한 RESTORE 기술을 초음속 비행에 적용하고자 계획하고 있다. 그리고 Boeing사는 RESTORE 제어시스템 구조를 DARPA/AFRL/Boeing UCAV 프로그램의 기본적인 비행제어 시스템으로 채택하고 2001년에 이를 비행시연할 계획을 갖고 있다. 또 하나의 UCAV에 대한 프로그램은 2008년에 완성을 목표로 DARPA/Boeing사가 함께 추진하고 있는 무미익 X-45 UCAV(그림 17)이다. 이러한 해군용 UCAV가 수행해야 할 임무는 적의 항공망을 제압하고 정확한 공격을 수행하는 것이다. 이는 Active Radar를 포함한 Onboard Sensor를 갖고 있어 자동비행이 가능할 것이고 최근 몇 년 사이에 급격히 발전한 컴퓨터 기술의 발전으로 갑작스런 위협의 출현에 대해 지능적으로 대처할 수 있을 것이다. 그리고 설계기술의 발전으로 작고 Afterburning 기능이 없는 엔진을 채택하고 덜 고급스런 재료를 활용할 수 있으

며 Cockpit을 제거하여 스탬스 기능을 갖도록 할 수 있을 것이다. 우선 지난 4월에는 엔진 시험을 수행하였고 올해 말에는 무미익 비행기의 공기역학적인 성능을 평가하고 ARC-210 Radio를 사용하여 비행 가능영역을 확장하고 비행시험 Datalink가 제대로 기능하는지에 대해 첫 비행시험을 시작할 것이다. 2002년에는 비행시험에서 돌발적인 상황에 지능적으로 대응하여 생존성과 임무 완성도를 평가할 것이다. 무미익 X-45 UCAV는 앞서 출현한 무미익 X-36 UCAV의 특징과 유사하다. 가령, 날개형상이 그렇고 Trailing-Edge 제어면과 요추 Vectoring Nozzle이 또한 그러하다. 하지만 전자는 후자보다 크며 Pilot에 의한 원격제어를 하는 것이 아니라 자동조종 비행을 수행할 수 있다. 그리고 무미익 X-45 UCAV는 전 기체의 90%정도를 복합재로 제작한다. 이 UCAV는 두 대를 제작하는데 둘째 기체는 UAV의 운용개념을 평가하는데 활용할 것이다. 두 기체 모두 Northrop Grumman사의 전자감시추적정(ESM) 장비와 인공위성과의 Datalinks 장비를 탑재하고 점차 복합적인 임무 평가를 수행할 것이다. 최종적으로 한 명의 운용자에 의해 두 대의 무미익 X-45 UCAV가 서로 협력하여 주어진 임무를 잘 완수하는지를 시험 평가하고자 한다. 결국 이 무미익 X-45 UCAV 프로그램은 정확한 명령 수행, 완벽한 통신 수단 확보 그리고 돌발적인 상황에 지능적으로 대응하고 자동비행 기능을 수행하게 하는 기술을 얻는 것이다. 이는 UAV가 추구할 수 있는 최상의 수준으로서, 적의 공격으로 UCAV와 통제소 사이에 통신이 두절된다고 해도 완벽하게 임무를 수행하고 스탬스와 지능적 대응으로 무사히 귀환할 수 있는 기술을 갖는 무미익 UCAV를 설계할 수 있는 기술을 확보하고자 하는 것이다. 그리고 ESM 센서를 사용하여 목표물의 위치뿐만 아니라 두 UCAV 상호간의 상대거리를 정확히 측정하여 협동적인 임무를 수행하게 하는 것이다. 한편, DARPA/Boeing사는 X-45A와 형상적 특징은 비슷하지만 전기체에 복합재를 적용한 무미익 X-45B를 설계하여 2003년부터 비행시험에 들어갈 것이다. 이는 보다 높은 수준의 자동비행 기능을 가지며 통제소와의 통신수단에 보다 덜 의존적인 능력을 갖게 할 것이다. 그리고 이 프로그램의 Phase II는 2002년에 시작하여 해군용 UCAV-N에 적합한 기술을 확보할 것이다. 이는 함상으로의 안전한 착륙 기능이 무엇보다도 요구되는 능력이다. 이는 현재 개발중인 Shipboard GPS는 UAV를 40cm이내의 정확도로 함상위에 유도할 수 있어 이를 채택한다면 안전한 자동착륙을 매우 정확히 수행할 수 있을 것이다. 그리고 해군용 UCAV-N에서 또 하나의 중요한 요구는 일반 함제기와는 달리 정찰

목적으로 상시 운용과 회수가 가능해야 하고 내구성이 뛰어나야 한다. Northrop-Grumman사에서는 UCAV-N 보다 다소 작은 해군용인 Pegasus UCAV를 개발하고 있다. 이는 스텔스 기능이 가장 우수한 V-자형 흡입구를 Trailing Edge에 설계하였다. 그리고 피치와 롤 운동을 제어하기 위한 한 쌍의 Elevon과 요 운동을 제어하기 위한 두 세트의 Inlay Flaps을 가지고 있으며 이는 함상에 신뢰성이 높고 정확한 착륙을 할 수 있게 한다. 이 무미익 Pegasus UCAV는 총중량이 3,290-Kg이며, Pratt & Whitney Canada JT15D Engine을 장착하고 있고 T-38과 유사한 함상용 Landing Gear와 Arrested Hook를 갖고 있다. 이는 올해 말경 함상 접근, 안착 및 Arrested Landing 같은 여러 임무에 대한 평가를 실시할 것이다.

다음으로 민간용 무미익 무인 비행기로서 Pathfinder (그림 8)가 있는데 이는 AeroEnvironment사에서 설계한 것으로 태양열 발전으로 날으는 초경량 무인 비행기이다. 이는 고고도 장기체공을 임무로 하는데 1995년에는 고도 50,500-ft에 이르렀다. 1996년에는 1차의 비행시험에 성공했으며 1997년에는 환경관련 시험을 수행하였다. 이 무미익 무인 비행기 설계에서 중요한 기술은 태양전지 및 전기모터 기술, 비행 운용기술, 구조 및 대기 환경 관련 임무 수행기술 등이다. 주요 제한으로는 이륙 중량은 약 510-lbs, Wing Span은 99-ft, 길이 11-ft 그리고 속도는 22.8-miles/hour이다. 그리고 앞에서 보여준 고고도 체공형은 대체로 가로세로비가 아주 크며 전기모터 엔진을 장착하는 등 특징이 아주 비슷하다.

2.3 무미익 무인 비행기에 적용되고 있는 비행제어 기술

다음은 최근에 개발되고 있는 무미익 무인 비행기에 적용되고 있는 기술은 어떤 것이며 특히 그와 관련된 비행제어 기술을 소개하고자 한다.

1997년 10월부터 미국 Dayton Ohio에 있는 Wright Laboratory의 지원을 받아 Future Aircraft Technology Enhancements(FATE) 프로그램이 진행되었다. 이는 궁극적으로 UCAV를 포함한 차세대 전투기에 적용될 최첨단의 기술을 개발하고자 하는 것이다. 이 프로그램에서는 UCAV를 포함한 고정익 비행기에 적용될 수 있는 기술에 대한 광범위한 조사를 토대로 그림 18과 같은 정량적 평가 절차를 거쳐 차세대 기술을 도출하였다.

그 결과로 제시된 5가지 차세대 기술은 다음과 같다.

- (1) Compact Inlet
- (2) Conformal Fluidic Nozzle
- (3) Tailless Technologies
- (4) Continuous Aerodynamic Control Surface
- (5) Lambda Wing

따라서 무미익 비행기 관련기술은 매우 중요한 차세대 첨단기술이 될 것임에 틀림없다. 그리고 이와 같은 기술들에 대한 성숙도를 평가한 결과를 그림 19에 보였다. 표에서 TRL=6은 Technology Readiness Level (TRL)이 최상위 수준에 도달함을 의미한다.

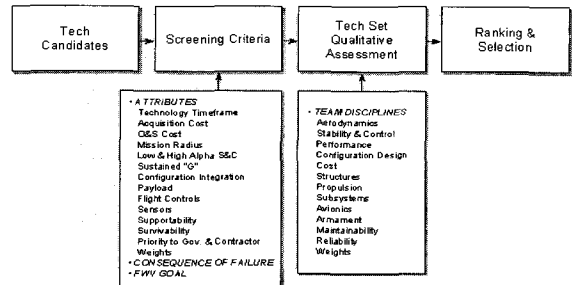


그림 18. FATE의 정량적 평가 절차.

표 1. FATE에 의한 기술 성숙도 평가.

Technology	Current TRL	TRL=6 Date
Compact Inlet System	6	1997
Fixed Aperture Fluidic Thrust Vectoring	4	2001
Tailless Design	6	1997
Innovative Controls	4	1999
Integrated/Adaptive Flight Controls	4	2000
Continuous Aero Control Surface	5	1999
Advanced Wing Planform	6	1997

여기서 알 수 있는 사실은 무미익 비행기 설계기술은 이미 최상의 성숙도에 도달했으나 비행제어 기술은 아직 미성숙 단계에서 성숙 단계로 진행되고 있다. 1995년까지만 해도 무미익 비행기의 방향제어는 Spoilers나 Drag Rudders를 사용하였다. 이것은 가능한 한 제어면의 분리를 만들어 조종성이 용이했으나 큰 힌지모멘트를 요구하여 고양각 비행은 제한적이었다. 하지만 Digital Processors의 발전으로 제어면의 분리가 가능한 적응제어 기술을 채택할 수 있다. 이러한 결과는 All-Moving Wing Tip이나 Spoiler-Slot-Deflector같은 보다 효율적인 공기역학적 제어가 가능하다. 또한 제어면의 중량을 줄이고 유압장치의 파워를 45%까지 줄일 수 있으며 고양각 기동에 대한 비행성을 향상시킬 수 있다. 따라서 이는 비행제어 시스템을 단순화할 수 있고 신뢰성을 향상할 수 있어 무미익 UCAV에서 요구하는 조건을 만족하게 된다. 그림 19에는 무미익의 경우, 순항 속도(M=0.9)에서 50%의 Drag Reduction 효과가 있음을 알 수 있다.

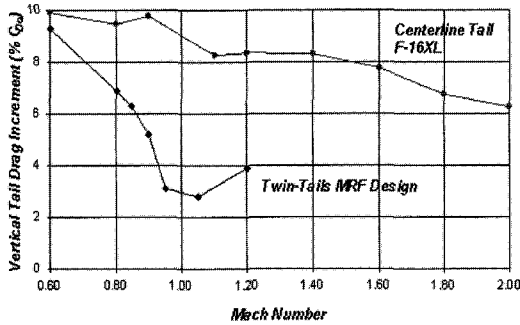


그림 19. Min. Drag에 대한 미익의 영향.

그리고 그림 20에는 차세대 무미익 UCAV을 위해 제안된 All-Moving Wing Tip이나 Spoiler-Slot-Deflectors를 중량에 대한 제어력 비로 나타내었다. 이것으로 알 수 있는 것은 무미익 비행기에 채택되고 있는 Clamshell 제어면은 낮은 동압조건에서 중량에 대한 제어력 비가 높지만 높은 힌지모멘트가 요구됨으로 고속비행에는 불리하다. 하지만 All-Moving Wing Tip이나 Spoiler-Slot-Deflectors는 고속에서 작은 힌지모멘트를 요구하며 Clamshell 보다 중량에 대한 제어력 비가 높다. 그리고 횡방향 제어면으로서 X-36 UCAV에서 채택하고 있는 Thrust Vectoring은 낮은 동압에서 어느 제어면보다 우수하지만 높은 동압에서는 제어면으로서의 효율이 급격히 감소한다. 특히 All-Moving Wing Tip은 전 비행영역에 대해 중량에 대한 제어력 비가 우수하여 무미익 UCAV에 아주 적합하다.

다음은 차세대 비행제어 기술로서 앞에서 제시한 Integrated/Adaptive Flight Control에 대한 연구사례를 소개하고자 한다. AFRL의 Advanced Development Program인 RESTORE는 1996년에 Boeing사와 Lockheed Martin사가 공동으로 시작하였으며 그 결과를 무미익 X-36 UCAV에 적용하여 성공적인 결과를 보이고 있다. 이 RESTORE 기술의 핵심은 형상 재구성 비행제어 알고리즘인데 실시간으로 변화하는 비행 동특성을

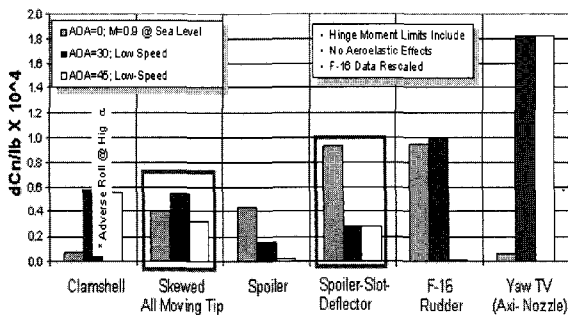


그림 20. 방향제어면의 중량에 대한 제어력 비.

연속적으로 모니터링함으로써 비행기의 손상이나 작동기 고장등을 검출하여 이를 실시간으로 보상하는 것이다. 이 기술의 독특함이란 실시간 제어알고리즘 적용, 실시간 시스템 추정, 실시간 제어면 할당, 그리고 명령제한 기능이다. 이 RESTORE는 세 모듈로 구성되어 있다. 첫째 모듈은 Dynamic Inversion을 적용하여 만족스런 비행성을 갖도록 한다. 여기에는 신경회로망을 적용하여 모델 불확실성, 작동기 고장, 또는 비행기 손상 등으로 인해 발생하는 Inversion Error를 보상한다. 둘째 모듈은 제어 알고리즘에서 나오는 결과를 제어면에 적절히 할당하는 기능을 갖고 있다. 그리하여 최상의 스텔스 임무를 완수하고 기동으로 인한 기체부하를 완화할 수 있다. 셋째 모듈은 실시간으로 시스템의 공기역학적 매개변수를 추정하는 기능이다. 이러한 RESTORE 제어법칙을 무미익 X-36 UCAV에 적용하였으며 이를 그림 21에 나타내었다.

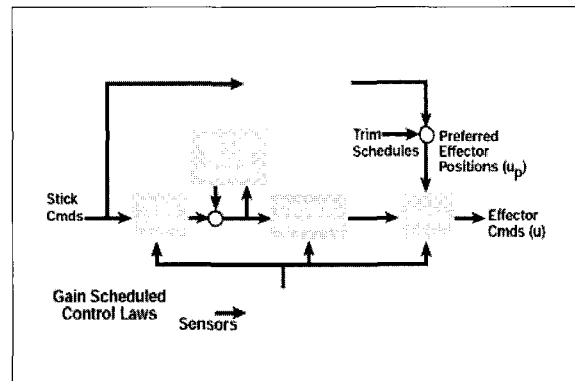


그림 21. 보잉사의 RESTORE 비행제어 법칙.

이러한 RESTORE 제어법칙을 비행시험하기 위해 무미익 X-36 UCAV를 채택한 이유는 Split Flaps과 잉여 제어면이 제공되고 요 기동을 위한 Thrust Vectoring이 가능하며 제어면의 가상적 고장과 같은 상황을 재현할 수 있어 형상 재구성 능력을 시험 평가하기에 적합하다.

그리고 RESTORE 제어법칙을 채택한 무미익 X-36 UCAV가 고장이 있는 상태로 과도한 기동을 할때 X-36 UCAV에 적용된 기존의 제어법칙의 결과와 비교하여 그림 22에 나타내었다. 결과에서 알 수 있듯이 Left Split Flaps이 100% 최대 변위에서 고장이 발생한 경우 RESTORE 제어법칙은 급격한 기동에도 Departure Resistance 성능이 현저히 향상되었음을 알 수 있다. 그리고 NASA Dryden 비행시험에서는 날개의 Trailing-Edge 제어면 고장이 있는 경우에 대해 평가하였으며 그 결과는 HILS 시험결과와 잘 일치하

였다. 결론적으로 RESTORE 제어기술은 비교적 단순한 제어 시스템을 제공하고 작동기 고장이나 전장에서 기체손상에 대해 실시간으로 형상 재구성이 가능하다. 그리고 모듈화된 제어구조 때문에 신기술 접목이 용이하며 특정 비행기에만 적용되는 것이 아니라 범용적인 제어구조를 가지고 있어 상업용 UAV와 같은 기체로 기술 이전이 쉽다.

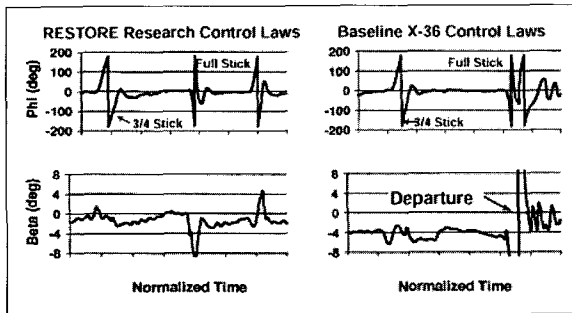


그림 22. X-36 UCAV에서 RESTORE 제어법칙 비행시험.

이외에도 Caltech에서는 장차 Supermaneuverable Tailless Flying Wing에 적용하기 위한 새로운 개념의 제어시스템을 연구하고 있다. 이 시스템은 MEMS 기술을 활용한 분산미세센서(Distributed Micro-sensors), 미세작동기(Microactuators) 및 미세전자소자(Micro-electronics)를 채택하고 있다. 이를 활용하여 공기역학적 기동을 할 수 있는 새로운 무미익 무인비행기를 설계하는 기술을 연구하고 있다. 현재까지 진행된 결과를 예시하면 우선 Vortex Control 기술인데 이는 밀리메타 스케일의 작동기를 사용하여 날개의 앞전을 따라 공기흐름의 박리점을 제어하는 것이다. 이는 그림 23에서 보인 바와 같이 미소 교란과 함께 비대칭 와류를 발생시켜 아주 큰 Control Torques을 만들 수 있다. 또한 이러한 박리점은 공기 속도와 받음각에 따라 최적의 위치가 변하므로 실시간으로 박리점과 작동기 위치를 찾아야 한다.

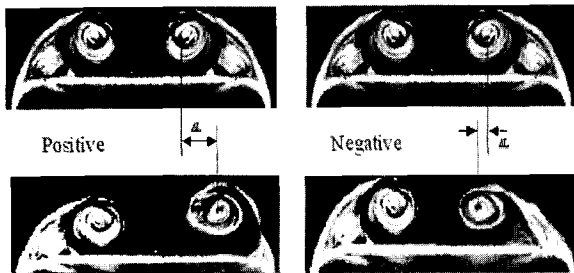


그림 23. 앞전에 위치한 미세작동기로 부터의 와류 운동.

이러한 문제를 해결하고자 그림 24와 같이 MEMS 기술로 Shear Stress Sensor Skins와 Micro-Balloon Actuators를 개발하였다.

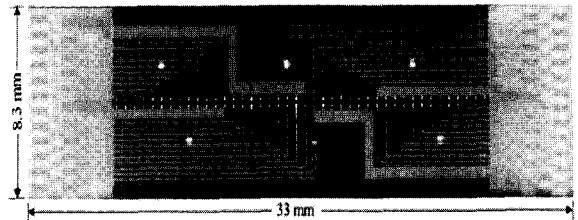


그림 24. MEMS 기술에 의한 Shear Stress Sensor Skins.

3. 결 론

지금까지 무미익 비행기의 발달사를 개략적으로 살펴보고 현재 개발되고 있는 무미익 무인 비행기에 대한 개발기술의 최근 경향을 살펴보았다. 우선 대표적인 무미익 비행기는 형상적 특징 때문에 UCAV라는 개념으로 주로 군사적 목적으로 개발되고 있다. 그 중에서 대표적인 UCAV는 무미익 X-36 UCAV이다. 그리고 무미익 UCAV는 비행체 설계뿐 아니라 비행제어 시스템도 새로운 기술을 요구하고 있다. 무미익 비행기가 갖는 방향 불안정성을 극복하기 위해 All-Moving Wing Tip이나 Spoiler-Slot-Deflectors, 그리고 Thrust Vectoring을 채택하고 있다. 그리고 새로운 개념의 비행제어 시스템 설계기술도 연구되고 있는데 그 중에서 특히 RESTORE 기술은 무미익 UAV에 적합한 기술로 생각된다. 이 기술이 갖는 많은 장점중에서 특히 범용성과 이식성이 뛰어나다는 점이다. 그리고 MEMS 기술의 발전은 비행기의 제어 개념을 근본적으로 바꾸어 놓을지도 모른다. 현재의 이러한 추세로 볼 때 무미익 UAV의 실용성은 RESTORE 기술과 같은 실시간 적응적 지능제어 기술의 개발과 MEMS 기술을 UAV 설계에 접목하는 기술 개발에 달려 있다고 본다.

후 기

본 논문은 국방과학연구소의 기초연구과제 연구비 지원에 의하여 연구되었음. (ADD-00-2-2)

참고문헌

- [1] "First Flight for Tailless Aircraft," Aerospace Technology Innovation, Vol. 5, No.4, July-August 1997



- [2] Tailless Aircraft in Theory and Practice, Karl Nickel, AIAA Publisher, 1994
- [3] "Stealthy UAVs Snag Rumsfeld's Attention," Aviation Week and Space Technology, July 4, 2001
- [4] "Long-Range UAV Exports Face Arms Control Hurdles," Aviation Week and Space Technology, June 11, 2001
- [5] Airforce Research Laboratory, <http://www.afrl.af.mil>
- [6] "Micro Balloon Actuators for Aerodynamic Control," C. Grosjean, G.B. Lee, W. Hong, Y-C. Tai, C.M. Ho, IEEE Workshop on MEMS, Germany, Jan. 25-29, 1998, pp.166-171
- [7] "Tailless Fighter Agility Research Aircraft : X-36," <http://www.abs.net>
- [8] "Uninhabited Aerial Vehicle : Pathfinder," <http://www.edwards.af.mil>
- [9] Caltech Center for Neuromorphic Systems Engineering, <http://erc.caltech.edu/research>
- [10] "UCAVs Spread Their Wings," <http://freerepublic.com>
- [11] "FATE I Phase I, Final Report Briefing," <http://www.fas.org>
- [12] "First Flight Test Demonstration of Neural Network Software," <http://www.afrlhorizons.com>
- [13] "Experiment on Quasi-Tailless Flight of an X-31A Airplane," <http://www.nasatech.com>

하 철 근

1984년 서울대 항공공학과 졸업. 1986년 동대학원 석사. 1993년 미국 워싱턴대 항공우주공학과 박사. 1988-1993. 연구조교, 1993. 3-1993. 8 Post-Doc. 1993-현재 울산대학교 수송시스템공학부 부교수. 1995년 태우중공업 무인비행체 비행제어시스템 연구 수행, 2000년-2002년 무인비행기 고정밀 자동착륙 접근유도 알고리즘 개발 과제 수행, 2001년-2002년 강건 적응적 DMI 기법연구 수행. 관심분야는 강건 디지털제어 이론 및 적용, 적응적 지능제어, 무인기(UV)의 자동항법 및 유도제어.

윤 석 준

1982, 1984, 1990 서울대학교 학사, 석사, 미시간대 박사; 1990.10-1998.2 대한항공 항공기술연구원 수석연구원, 시뮬레이터 그룹장, 현재 American Aeronautics and Astronautics, International Training Equipment Conference, 한국시뮬레이션학회, 제어·자동화·시스템공학회 등의 기술위원, 사업이사, 편집위원; 국내 주요 시뮬레이터 개발 주도, 세종대학교 항공우주공학과 부교수; 관심분야는 모델링 및 실시간 시뮬레이션, 자동제어 응용, 무인항공기 등.