



미래의 항공기 구조물



문희장*



안준*



최흥섭*

1. 서론

Wright 형제의 항공기 발명(1903, 그림 1)은 이제 막을 내린 20세기에 있었던 인류의 가장 위대한 발명 중의 하나라는 데에 누구도 이의를 제기할 수 없을 것이다. 그리스 신화의 Icarus, 중세의 다빈치(그림 2)와 같이 고대로부터 현대에 이르기까지 하늘을 새처럼 자유로이 나는 것은 모든 인류의 꿈이었다. 이 꿈의 실현에는 많은 선구자들이 치룬 희생이 있었다. Wright 형제의 항공기 설계 과정에 결정적인 도움이 되었던 Lilienthal(그림 3)의 글라이더 비행 자료는, 목숨을 걸고 2500회 이상의 비행시험을 감행한 결과였으며, 결국 비행중 주익 Spar가 파손되면서 추락하여 사망한(1896) Lilienthal의 묘비에는 '진보에는 희생이 따른다'는 유언이 남아있다.

지난 20세기를 돌아보면, 귀중한 희생을 치르고 발전한 항공기가 대규모 살상병기로 돌변하여 인류의 푸른 꿈을 악몽으로 물들이기도 하였다. 그러나, '시민의 세기'라고 정의되는 20세기의 항공기는, 희생을 감수한 선각적 시민의 노력으로 시작되어 일반시민 각각에 내재된 '하늘의 꿈'을 안

전하고 경제적으로도 부담이 되지 않는 수준에서 쉽게 이를 수 있도록 발전해 왔으며, 21세기에도 이러한 발전은 더욱 가속화될 전망이다. 주변을 돌아보면, 항공여행이 보편화되어 전국이 1일 생활권으로 좁혀졌으며, 모형항공기, 행글라이더, 패러글라이딩, 초경량 항공기 등을 통하여 항공기를 쉽게 직접 접할 수 있게 되었다. 이제 21세기에는 세계가 1일 생활권으로 가까워지고, 푸른 하늘을 넘어선 끝없는 우주 공간이 보다 많은 인류에게 무한한 꿈을 펼 수 있는 무대로 다가올 것이다. 아래의 글에서 항공기의 발전상과 개발전망을 차례로 다루면서 미래의 항공기가 어떤 모습으로



그림 1 Wright Flyer의 비행(1903)

* (주)대한항공, 한국항공기술연구원(hschoi@hotmail.com)



그림 2 다빈치의 헬리콥터 개념(1480)

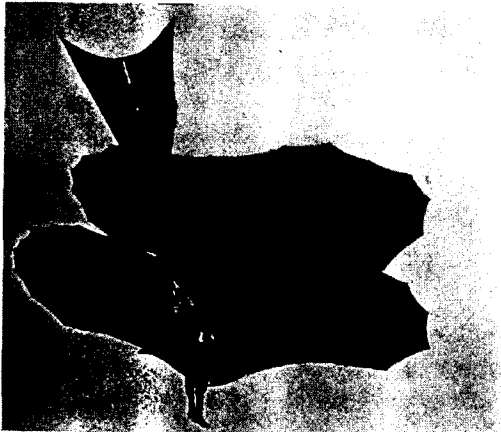


그림 3 Otto Lilienthal 의 글라이더 비행

발전하며 인류의 꿈이 어떻게 실현될 것인가를 독자들과 나누어 보고자 한다.

2. 항공기 변천사

1903년, 인류가 품어온 하늘의 꿈을 실현시켰던 Wright 형제의 항공기는, 창조적인 엔지니어가 빚어낸 걸작이었다. 체계적인 교육을 받지는 못하였지만, Wright 형제는 자전거 공장을 운영하면서 습득한 현실적인 경량구조에 대한 감각을 항공기에 그대로 적용하였다. 직접 설계, 제작한 풍동에서의 실험을 통해 날개를 설계하고, 글라이더와 연의 비행시험을 통해 안정성을 가진 항공기

형상을 고안하였다. 이들이 고안한 철/목재 프레임, 섬유피복 구조는 현재에 이르기까지 사용되고 있다.

초기의 항공기는 안정성과 조종술의 부족, 고장이 잦은 엔진, 짧은 항속거리 등으로 그 사용범위가 극히 제한되어 있었다. 이 당시 조종사는 엔진으로부터 새어 나오는 윤활유와 불완전 연소에 따른 심한 매연으로부터 자신을 보호하기 위하여 머플러와 Goggle을 착용하여야만 했는데, 이는 현대에 이르기까지 조종사의 상징적인 복장으로 이어지고 있다. 초기에 걸음마를 계속하던 항공 기술은, 1차 세계대전을 거치면서 안정성, 조종법, 항법, 항공기 구조, 재료, 엔진 등 모든 분야에 걸쳐 비약적인 발전을 이루게 되었고, 무장 항공기가 등장하여 살상병기로서의 가능성을 보여주었다. Junkers가 개발한 J-1(1915)은 알루미늄 합금을 사용한 최초의 전금속제 semi-monocoque 항공기였으며, 곧이어 개발된 F-13(1919, 그림 4) stressed skin을 사용한 최초의 전금속제 monocoque 항공기였다. 금속제 항공기의 개발에 따라 우천시에도 비행이 가능해지면서, 개인적인 취미 또는 군사적인 용도를 벗어난 상업적인 목적에도 항공기가 활용되기 시작하였다. Luft-Hansa (1919, 그림 4), US Mail Service(1918) 등이 항공 운송 서비스를 시작하므로써 20년대 항공 기술 발전을 민간부문이 주도하게 되는 원동력이 되었다.

뒤이어 1920년대의 대공황 중에서도, 1927년



그림 4 최초의 전금속 monocoque구조 여객기 F-13

Lindbergh(1927, 그림 5)는 대서양 횡단에 성공함으로써 장거리 비행의 막을 열게 되었다. 이무렵, 선진 각국에서는 1차 대전에서 경험한 항공기의 군사적 효용성에 주목하고, 군사적인 활용에 대한 적극적인 연구를 시작하여, 항공모함, 공중



그림 5 Lindbergh가 대서양 횡단에 성공한 Spirit of St. Louis

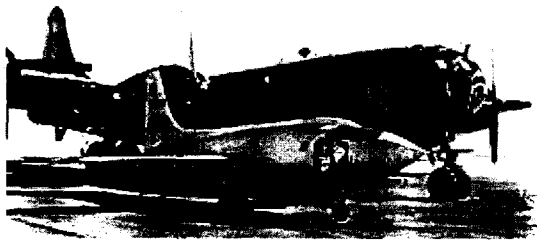


그림 6 B-29 폭격기와 최초의 초음속 항공기 Bell X-1

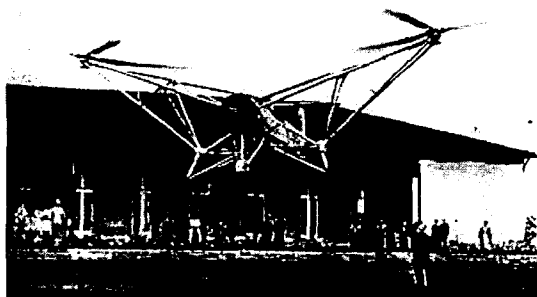


그림 7 최초의 실용 헬리콥터 FW61(1936)

급유, 야간 계기비행 등의 개념이 실용화되면서 항공기의 운용 범위가 대폭 확대되었다. 운용범위와 수행임무가 확대됨에 따라, 정찰기/수송기/폭격기/전투기 등 전문적인 군용 항공기가 본격적으로 개발되었다. 경제공황을 극복한 1920-1930년대에는, 민간 항공기의 속도 및 항속거리 경쟁과 함께 민간 여객 운송 수요가 창출되면서 항공사의 폭발적인 설립과 Junkers 52(1921), Ford Tri-Motor(1929), DC-3(1935) 등의 여객기/수송기의 개발이 잇달았다. 이들 중대형 항공기는 뒤이은 2차 세계대전에서 B-29(1943, 그림 6)와 같은 대규모 살상병기로서의 위력을 유감없이 과시하였다. 또한, 중세의 다빈치(1480) 이래로 인류가 집착해 온 헬리콥터의 최대 문제였던 안정성 및 조종성을 해결한 Focke-Wulf 61(1936, 그림 7) 등의 실용 헬리콥터가 등장하였다.

1차 세계대전을 거치며 발전한 항공공학과 생산/제작 기법은 더욱 성숙되었고 이에 따라 성능과 신뢰성이 대폭 향상된 군용 항공기가 2차 세계대전을 전후하여 등장하였다. 대량 생산과, 제작 비용, 정비성, 보수의 용이성, 생존성 등을 고려한 Me-109(monocoque 금속구조, 35,000대 이상 생산), Mosquito(monocoque 목재 구조) 등 창의적인 항공기가 등장하게 되었으며 전쟁중 뛰어난 성능을 과시하였다. 30년대에 본격화된 항공기의 속도 경쟁은, 2차 세계대전 중 최고시속 700km/H에 이르는 프로펠러 전투기의 등장으로 이어졌고, 이보다 빠른 비행속도에 알맞은 제트 엔진이 Whittle(1939), von Ohein(1939) 등에 의해 개발되고 제트 엔진과 후퇴익을 장착한 Me-262(1942, 그림 8)가 등장함으로써 속도 경쟁에 새로운 장을 열게 되었으나, 전쟁의 결과에는 별 영향을 주지 못하였다. 또한 이 시기에 태동한 초음속 비행이론과 로켓 이론, 자동제어이론 등은 60년대 이후 본격화된 우주개발시대를 예고하였다. 2차 세계대전 말기, 대량살상 기술의 집약체인 핵폭탄, 생화학 무기와 운반체 역할을 할 수 있는 V-2로켓 등이 개발됨에 따라, 이후 인류는 스스로 창조한 과학기술을 두려움의 대상으로 삼아야 하는 역설적인 운명을 피할 수 없게 되었다.

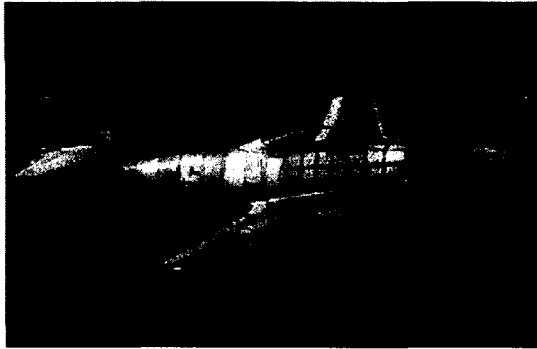


그림 8 후퇴익과 제트엔진을 갖춘 Me-262

2차 세계대전 이후 1960년대 초반까지 냉전 대립구조 속에서 선진 각국은 2차 대전중 경험한 항공기의 전략적인 중요성을 바탕으로 군용 항공기 개발에 국가적인 노력을 경주하였다. Bell X-1(1947, 그림 6)은 로켓엔진을 사용하여 최초로 음속을 돌파하였고, 한국전쟁 중에는 F-86(1947), MIG-15(1947) 등 새로 개발된 제트 전투기들이 공중전을 벌이게 되었다. 또한, 2차 세계 대전중 성숙한 대형 항공기 설계/제작 기술을 바탕으로 Comet(1952), DC-8(1958), B-707(1957) 등 제트 엔진을 장착한 고속 장거리 여객기가 개발되면서 일반 시민이 24시간 내에 지구 어느 곳에든지 여행할 수 있는 길이 열리게 되었다. 1957년에는, 구 소련이 대륙간탄도탄(ICBM)의 발사체를 이용하여 인류 최초의 인공위성인 Sputnik을 지구궤도에 진입시킴으로써 우주개발 시대의 서막을 열게 되었다. 이에 대응하여 미국은 60년대가 끝나기 전에 인류를 달에 보낼 것을 국가적인 목표로 제시하였고, 1969년 마침내 Apollo 11호 승무원 Armstrong이 달표면에 인류의 발자국을 남김으로써(그림 9) 그 약속을 지켰다.

60년대에는, 새로운 항공기 구조 재료와 제작방법에 큰 진전을 보였다. 고공정찰기인 SR-71(1964)은 음속의 3배 이상의 속도에서 aerodynamic heating을 견딜 수 있도록 Titanium 합금을 사용한 내열구조를 갖추었으며, 현재까지 가장 빠른 실용 항공기로 남아있다. 보다 가볍고 피로강도가 높은 탄소섬유, 아라미드섬유(상품명 케블라) 등의 복합재료와 제작공정이 개발되어 항공기 구조



그림 9 Apollo 11의 달착륙

재료로서의 새로운 적용가능성을 보여주었다. 60년대 말에는, 2차대전 중 연구되었던 가변익 항공기가 F-111(1967) 등으로 실용화되었으며 편향노즐을 사용한 수직이착륙 항공기 Harrier(1969)가 개발되었다. 또한, 한국 전쟁과 인도차이나 전쟁에서 군사적인 가치를 인정 받은 헬리콥터가 터보샤프트 엔진의 개발과 함께 베트남 전쟁을 거치면서 본격적으로 연구되었다. 수직이착륙과 호버링(Hovering)이 가능한 헬리콥터의 특성상, 인원을 작전지역에 운반하고 근접 공중 지원을 하기에 가장 적합하므로, 정찰/작전지휘/공격/수송 등 지상군 지원임무에 맞는 기종들이 개발되었다. 이 과정에서 안전성과 신뢰성이 크게 향상된 헬리콥터는, 70년대에 들어 환자수송/구조/산불진화/관광 등 민간 용도에까지 본격적으로 활용되었다.

70년대 초반에 들어서, 연료효율이 높은 High Bypass Ratio 터보팬 엔진을 장착한 B-747(1970), DC-10(1971), A-300(1974) 등의 대형 wide body 여객기가 등장하면서 보다 저렴하고 쾌적한 항공여행이 보편화되었다. 초음속 여객기 Tu-144(1970), Concorde(1976)가 취항함으로써 비행시간을 절반으로 줄이게 되었으나, 과도한 운용비용 및 소음 문제로 제한적인 운용에 그치게 되었다. 또한, 동서간의 화해 분위기에 힘입어 우주개발에 있어서도 Skylab, Soyuz 우주정거장의 도킹 실험(1975) 등

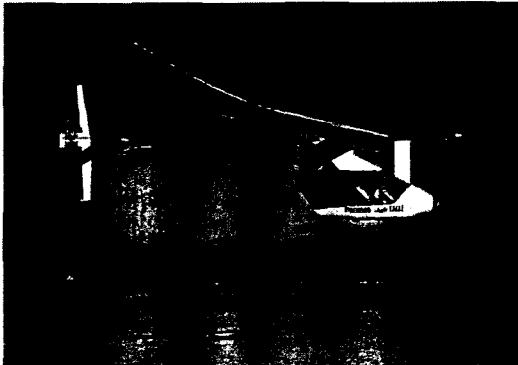


그림 10 인력 비행기 Daedalus

협력관계가 시도되었다. 이 시기, 발전하는 컴퓨터가 항공우주 전 분야에 활용되기 시작하였고, 중동전을 통해 축적된 경험을 바탕으로 속도보다는 기동성과 missile 등의 유도무기를 통제하는 능력이 중시된 전투기 등이 개발되었다.

80년대에는, 고기능 복합재료(advanced composite materials)가 항공기 구조에 적용되기 시작하였고, 복합재료를 사용하여 초경량구조를 갖춘 Daedalus(1987, 그림 10)는 다빈치의 꿈이었던 인력만으로 장거리 비행이 가능함을 마침내 입증하였다. 또한, 악화되는 환경문제에 대해 세계의 관심이 집중되면서 민간 항공기에 대한 배기가스 공해 기준이 설정되었다. 우주부문에서는 60-70년대에 개발된 유인 우주선 및 무인탐사선, 인공위성 등의 기술이 성숙되면서 막대한 우주개발 비용을 절감하기 위한 방편으로 재사용이 가능한 Space Shuttle(1981)이 개발되어 저지구 궤도에 진입하고 임무수행 후 귀환하는데 성공하였다. 군사 부문에서는, 컴퓨터를 사용한 항공기 설계 기술, 항공기 simulation 기술, 레이더에 탐지되지 않는 stealth 항공기 F-117(1982), 복합재료를 최대한 활용한 전진익 항공기 X-29 (1984, 그림 11) 등이 개발되었다.

90년대에는, 공산권의 붕괴에 따른 냉전종식의 영향으로 항공우주 분야 전반에 걸친 원가절감 노력이 경주되었다. 개발비용을 줄이기 위하여 민간 여객기는 국제공동개발 형태를 취하고 있으며, 생산원가를 절감하기 위한 기업의 합병 등으로 세계적인 협력 관계가 형성되었다. 민간 부문에 있어서는 여객기의 대형화, 엔진의 연료효율 향

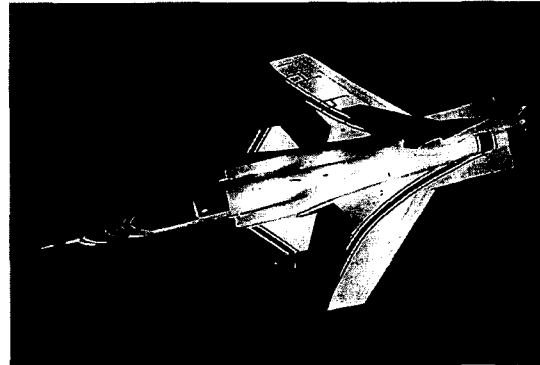


그림 11 전진익 항공기 X-29

상, 배기가스 및 소음 절감, 신뢰성 향상, 운용비용 절감 등이 개발 추세이다. 군사부문에 있어서는, 80년대에 입증된 stealth기능, 기동성 향상을 위한 추력편향기(X-31, 1992) 등이 주된 개발 추세이다. 우주 부문에서는, 민간 위성통신 수요에 따라 저지구궤도(LEO) 위성의 개발 및 활용이 활성화되었으며, 위성을 이용한 GPS, TV 방송, 휴대전화 등이 실용화되었다. 이와 같은 민간, 군사 부문의 추세는 2000년대 초반에도 계속될 것으로 전망되며, 간단히 살펴본 항공기의 발전사와 우리의 현실을 가늠하기위해서 그림 12에 국내의 항공산업의 개발동향을 표시하였다.

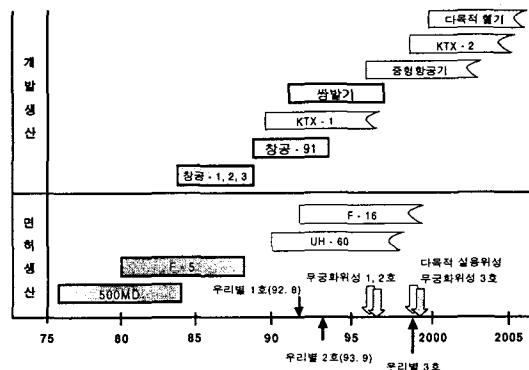


그림 12 대한민국 항공산업 변천도표

3. 21세기 미래의 항공기

21세기 하늘의 주역이 될 새로운 형태의 항공기를 예상한다면 과학기술의 진보, 형상 및 용도

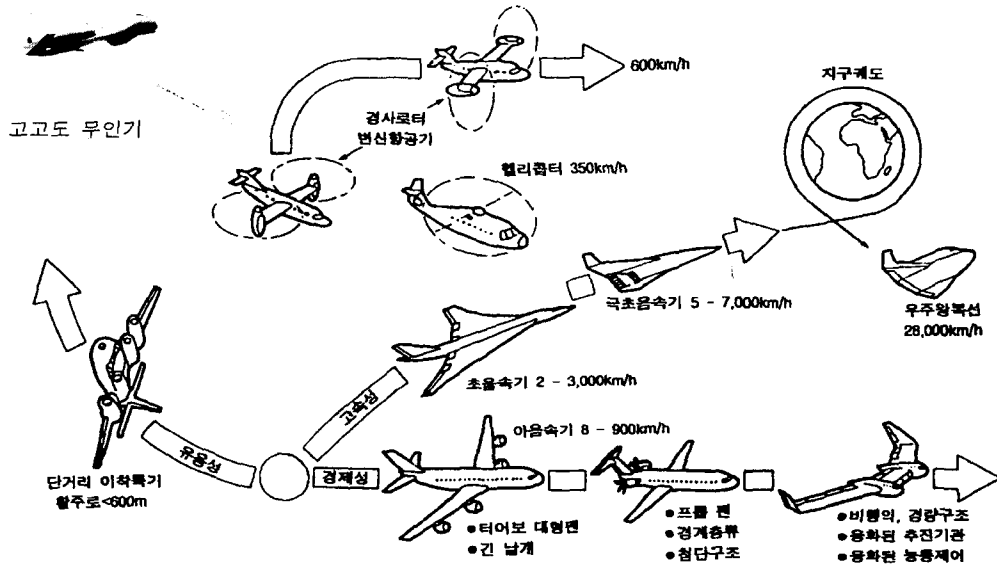


그림 13 Future Aircraft Concepts

의 변화에 따라 몇 가지 유형으로 분류하여 볼 수 있다. 즉 회전익 항공기, 커뮤터기 및 일반 중 소형 항공기가 포함되는 단거리 운항 항공기류, 첨단 아음속 여객기류, 고속 민용 수송기와 고성능 군용 항공기가 속하는 초음속 여객기, 통신 및 지상 관측용으로 쓰일 수 있는 고고도·장시간-체공 항공기, 근거리 정찰 및 첩보용으로 사용되는 초 소형 항공기와 세계를 business시간대로 묶어줄 극음속 재사용 우주 비행체 등이 조만 간에 우리 앞에 나타나게 될 것으로 보고 있다 (그림 13 참조). 최근 미 공군 과학기술 자문 위원회는 예상되는 미래 군사임무를 달성하기 위한 일곱 가지 비행체의 개념을 밝힌 바 있다. 새로운 비행체의 개념은 장거리 비행이 가능한 항공기, 무인 항공기, 특수임무수행에 적합하도록 장시간 체공이 가능한 항공기, 모듈형 항공기, 극음속 비행체, 그리고 미래형 공격 비행체이다. 이러한 새로운 기술이 적용된 비행체를 개발하려는 노력의 일환으로 미국 내에서는 이미 여러 개의 기술개발 프로그램이 완료되었다. 현재 미 항공우주국(NASA)과 미 국방성(Department of Defense, DOD)의 지원을 받는 3개의 핵심 프로그램은 첨단 아음속기술(Advanced Subsonic Technology, AST) 프로그램,

고속비행연구(High Speed Research, HSR) 프로그램, 그리고 통합공격전투기(Joint Strike Fighter, JSF) 프로그램등이 있으며 이밖에 다른 기술 프로그램으로는 국가항공 우주기(National Aerospace Plane, NASP), 통합고성능 터빈엔진기술(Integrated High Performance Turbine Engine Technology, IHPTET), 그리고 첨단고온 엔진재료 기술(advanced High-Temperature Engine Materials Technology Program, HITEMP) 등의 프로그램이 있다. 본 고에서는 미래의 항공기 개념 설정에 도움이 되도록 단거리 운항항공기(short-haul aircraft), 첨단 아음속 항공기(advanced subsonic aircraft), 고고도 장기체공 항공기(high-altitude and long-endurance air vehicles), 극소형 항공기(Micro Aero Vehicle, MAV), 초음속 항공여객기(supersonic civil aircraft), 차세대 전투기, 재사용 우주 비행체(reusable launch vehicles)에 대하여 간단히 살펴보도록 한다.

3.1 단거리 운항항공기

미래의 단거리 운항 항공기에는 회전익 항공기, 커뮤터기, 그리고 일반범용 중 소형 항공기가 포함

되며, 현재 미국의 회전익 항공기의 개발활동은 민용과 군용을 겸용한 Tiltrotor 항공기(그림 14) 개념에 초점을 두고 있고 특히 군용 Tiltrotor 비행체에는 항속거리 186마일 영역에서 임무수행이 가능한 단거리 무인 비행체의 범주까지 포함시키고 있다. 그리고 민용 Tiltrotor 항공기는 약 100~600마일 항속범위의 단거리 여객 운송에 활용할 목적으로 개발되고 있으며 이를 실현시키기 위해서 미국의 경우 국가적인 기반 기술구조에서부터 전국에 걸친 운송체계에 이르기까지 기술협력 지원이 필요한 것으로 분석되고 있다.

Tiltrotor 항공기 기술 개발의 주요한 초점은 진동과 소음의 제어에 있다. 이에 수반된 필요 기술들로서, 능동 rotor 제어, 회전 플러터(flutter) 감소기술, 저비용/경량화 복합재료 동체구조 관련 기술, 충돌시 구조의 견고성 확보기술, 생산성 향상과 운영비 감소화, 엔진고장시 비상 작동계통, 위성기지를 이용한 항법 및 통신 그리고 통제계통의 관련 기술이 함께 요구되고 있다. 이들 항공기는 고정익기와 비교할 때 운항속도 면에서는 고정익기와 같은 장점을 갖고 있는 동시에 지점 간 운송이 용이한 헬리콥터와 같은 수직이착륙이 가능하므로 미래의 매우 편리한 운송수단으로 부상하고 있으며 공항에서 목적지까지의 2차 이동 시간이 줄어드는 장점도 매력적이다.

반면에 헬리콥터와 비교하면 긴 운항거리, 빠른 운항속도, 저렴한 운용비용 등을 장점으로 들 수 있으나 반면에 단점으로는 신개념 기술로서 안전성이 결여된 감이 있고 소음 및 진동과 대기오염 문제가 대두될 수 있어 이 분야의 기술확보가 선행적으로 요구되고 있으며 제작비가 높다는 점등을 고려할 수 있다.

커뮤터기 개발동향으로는 회전익보다 주로 고정익 항공기에 초점을 맞추어 승객을 70~125명까지 운송할 수 있는 제트 항공기가 주로 고려 대상이 되고 있다. 미국에서는 미 항공우주국(NASA), 미 연방항공국(FAA), 그리고 산업계와 학계가 참여하는 연합회를 구성하여 첨단여객기 개발실험(AGATE)프로그램을 이미 수립하였는데, 이 계획에서는 기존의 경량급 항공기설계와 제작기술에서 보다 새로운 기술향상을 도모하는 방향으로 추진

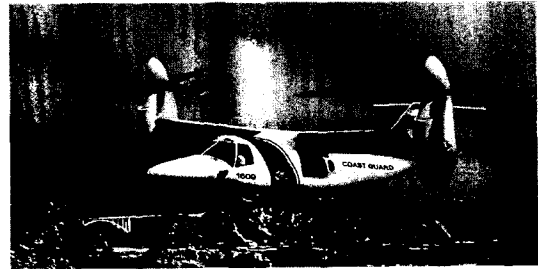


그림 14 Tiltrotor 항공기

되고 있다. 여기서 고려하고 있는 신기술은 기존의 왕복동 엔진을 성능 개량한 저렴한 추진기관으로 대체시키고 실제제작 통합기술, 그리고 보다 안전하면서도 조종하기에 편리한 조종석 설계기술이 필수 선행기술로서 대두되고 있다.

3.2 첨단 아음속 항공기

20세기 초 최초의 동력비행이 가능해진 이래 1, 2차 세계대전을 계기로 엄청난 발전을 거듭한 아음속 항공기는 20세기말 현재, 전체 중량이 390톤에 달하고 탑승승객 400명을 14,000km 떨어진 거리까지 이동 시킬 수 있는 B747-400 대형항공기로 발전하였다. 최근에는 ETOPS(Extended Twin Operation) 180min를 만족함으로써 2개의 엔진만으로 B747-400의 항속거리와 수송능력에 견줄만한 B777이 등장하기에 이른다. 21세기 초에도 더욱 경제적이면서 수송량이 증가된 초대형 항공기들이 선보일 예정이며 이미 개발이 끝난 10,000파운드급 대형 터보팬 엔진들의 장착으로 인해 10년 안에 초대형 항공여객기의 출현이 예상되고



그림 15 A3XX civil aircraft

있다. 짧은 시일 내 시장에 진입할 대형항공기로는 기존 항공기 형상을 유지하는 Airbus의 복층 A3XX(그림 15) 항공기와 미래 군용수송기인 FLA(Future Large Aircraft)를 들 수 있겠다.

여객 운송량에 대한 21세기 전망으로 Airbus사는 아시아 지역 여객수용의 급신장으로 전체중량 570톤, 600석 정도의 복층 초대형 A3XX 기가 필요할 것으로 분석하고 있다. 경제적으로나 기술적으로 개발이 가능한 이들 항공기들은 대형화된 기체로 말미암아 전세계 공항 및 탑승구의 적합성여부, 사고 발생시 복층 구조에 따른 제한된 승객 탈출시간과 같은 새로운 문제점들을 제기하고 있다. 아울러 대부분의 항공기 구조물에 적용되는 소음문제와 환경문제 또한 강화된 국제 규제들로 인해 해결해야 될 과제로 대두되고 있다. 그러나 향후 10년간 아시아 운송시장의 급팽창 전망에 힘입어 창출될 여객 수요의 증가와 B-777용 추진 시스템들인 PW4098, GE90과 RR Trent800 등의 첨단 엔진들이 이미 개발되어 있어 초대형 수송기의 개발은 조만간 실현될 전망이다.

이외에도 공력설계기술의 발전에 힘입어 날개-동체 일체형 항공기인 BWB(Blended Wing-Body, 그림 16)의 출현 또한 기대되고 있다. 공력기술의 향상으로 개념설계 단계에 있는 BWB 항공기는 600명 이상의 수용능력을 보유하는 동시에 새로운 소재 및 엔진 기술을 요구하지 않고도 무게, 연료소모율, 그리고 운영비용을 감축할 수 있어 기존 항공기 형상을 획기적으로 바꾸는 계기가 될 수도 있다는 데에 의미가 있다. 또한 BWB의 높은 수용능력으로 현재 포화 상태인 대다수 대

형공항의 혼잡을 완화할 수 있다. 수용능력 외에 BWB의 가장 큰 장점은 항공기 표면적의 감소, 고양력 장치의 제거로 인한 효율 향상이며 기존 항공기에 비해 최적화된 형상으로 탑재하중의 증가를 기대할 수 있다.

기존 항공기와는 달리 지표면상(또는 해수면 위)을 상대적으로 작은 양력으로 순항할 수 있는 날개 지면효과 비행체인 WIG(Wing-In Ground) 기의 가능성 또한 기대된다. WIG기(그림 17)는 지표면에 근접하여 비행시 공기역학적 특성의 변화를 이용한 신개념의 비행물체로써 민수 및 군수, 대형 및 소형에 모두 응용되고, 수송목적 외에 특수임무에 활용될 수 있는 수륙양용 민-군 다목적기로 볼 수 있다.

운송수단의 새로운 장이 열릴 수 있는 WIG기는 지표면에 가깝게 순항함으로써 얻을 수 있는 공기 역학적인 특성을 이용한 항공기와 선박의 특성을 결합한 수송기기이다. 수면 위 10~40ft 고도에서 300~400knot로 비행할 수 있으며 민수 용으로는 물론 군용 임무에 탁월한 기능을 부여 받을 수 있어 미국과 러시아를 주축으로 WIG기의 연구가 진행 중에 있다. WIG기가 개발될 경우 여러 용도의 임무에 적합하다는 장점을 지니고 있으나 기술적으로는 많은 기초적 문제점들이 미 해결된 상태이다. 정지상태로부터 이륙 그리고 순항시까지 가속에 필요한 추력이 과다하여 결과적으로 추력대 무게비를 만족하기 위해서는 큰 엔진이 요구되는 것이 가장 큰 문제점으로 대두되고 있으며 너무 낮은 고도에 따른 양항비의 민감도, 불규칙한 수면으로 인한 공력효과 저하 등이



그림 16 BWB prototype aircraft

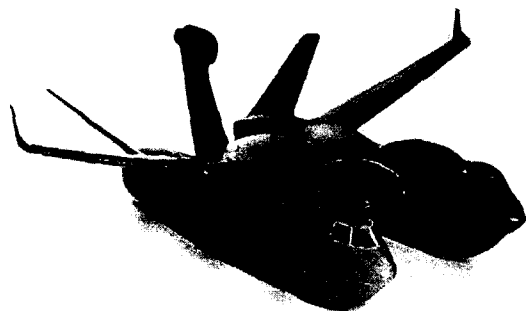


그림 17 Wig Aircraft

WIG기의 비행특성에 큰 영향을 미치게 되며 수면과 근접한 비행으로 인한 기체 재료의 부식 문제 또한 간과할 수 없을 것이다.

21세기에도 동체와 날개의 구분이 확실한 기존 형상이 유지된 항공기들이 주종을 이루겠으나 지면효과를 이용한 WIG기나 날개와 동체가 일체화된 BWB와 같은 혁신적 형상의 항공기들이 새로운 수송기의 개념으로 바뀔 수도 있다는 것을 배제할 수 없을 것이다. 날로 증가하고 있는 기존 항공기 구조물에 대한 신소재 및 복합재료의 응용과 새로운 개념의 항공기(WIG, BWB) 출현을 가능케 할 수 있는 공력기술의 향상간의 tradeoff 성공여부에 따라 21세기 항공기 구조물의 주도권이 결정될 것으로 보인다.

3.3 고고도 장기체공 항공기

21세기에는 통신방송위성의 역할을 헬리오스(Helios)라고 불리는 거대한 날개를 가진 비행체가 대신할지도 모른다. NASA의 '항공기와 센서기술의 환경연구(Environmental Research Aircraft and Sensor Technology, ERAST)' 라는 기술개발과제에 따라 1999년 10월13일 헬리오스 비행체(실제로는 그림 18의 Pathfinder이고 향후 통신방송위성역할을 하는 비행체는 Helios임)가 처음 하늘에 올라갔다. 1998년 11월에 시험 비행한 '센튜리온' 비행체에 이어 두 번째로서 NASA가 17년간 추진해온 노력이 새로이 결실을 얻을 것인지에 많은 과학 기술자들이 주목하고 있다. 헬리오스는 태양전지 판으로 이루어진 반짝이는 날개를 갖고 있는데 날개를 활짝 펼칠 때 길이가 76.8m로 웬만한 여객기의 2배가 넘는다. 15~21km 상공을 시속 27~34km의 속도로 날면서 지상을 관측하거나 주요 도시에 통신 및 방송서비스를 할 수 있다. 비행체의 무게는 727kg이고 탑재중량은 100kg으로 연료가 필요 없고 조종사도 없이 지상관제소에서 원격조종으로 움직이며 낮 동안 태양으로부터 받은 에너지를 이용해 자체 엔진으로 프로펠러를 움직인다. 한번 이륙하면 6개월동안 상공에 머물면서 마치 인공위성처럼 지구를 따라 돈다. 제트기류나 대기권 위에서 비행하기 때문에 날씨

의 영향을 받지않는다. 과학자들은 오랫동안 인공위성보다 효율적인 비행체의 개발을 꿈꾸어 왔다. NASA는 과학계의 이 같은 희망에 따라 프로젝트를 마련하였고 항공기 업체들은 인공위성의 값싼 대용물을 시장에 내놓으려고 기술개발에 힘을 쏟아 왔다. 구름보다 높이 나는 헬리오스 비행체는 열대성 태풍의 심장을 자세히 들여다보거나 고성능 망원경으로 다른 태양계의 행성사진을 찍을 수도 있다. 그러나 주된 이용분야는 역시 방송통신 분야로 헬리오스를 제작한 캘리포니아주 소재 Aerovironment사는 고속 무선통신서비스를 제공하기 위해 통신장비를 싣고 주요 도시의 상공을 맴도는 일련의 비행체 함대를 구상하고 있어 2003년경에는 이를 서비스화할 예정으로 있다. 헬리오스의 장점은 비용이 싸다는 것. 인공위성 1기를 제작, 발사하는데 드는 1억 달러에 비해 헬리오스는 고작 300만~500만 달러가 소요된다.

인공위성은 항상 같은 위치에 머물지만 비행체는 우리가 원하는 어떤 위치로도 이동하고 정기 점검을 위해 지상으로 내려올 수도 있으며 최신 기술로 뜯어고쳐 다시 지을 수도 있다.

그러나 비행체가 여객기와 충돌하거나 고장을 일으켜 도시로 떨어질 가능성도 배제할 수 없다. 또 지구환경에도 어떤 영향을 미칠지 아직 짐작하기 힘들다. 인공위성을 대체할 비행체의 개발은 이리뚝 등 수십억 달러를 쏟아 부은 저궤도 통신위성사업이 최근 잇따라 실패하면서 대안으로 각광을 받고 있다.

한편 차세대 고고도/장시간 체공 능력을 갖는 무인 로봇 비행체와 관련 부속장비가 다음과 같은 임무를 수행할 목적으로 현재 활발히 개발되고 있다. 대기 오존층의 파괴감시, 환경오염, 자연재난 경보 및 감시, 자원의 효율적 관리, 통신중계, 성층권 오존파괴 진행 연구, 자원탐사, 그리고 미사일 방어 등의 많은 용도를 생각할 수 있다. 지구환경 연구를 위한 EARST프로젝트의 일환으로 NASA에서는 고고도 장시간 체공 능력을 갖춘 아음속, 경량형의 원격조종 항공기(RPA, Remote Piloted Aircraft)를 개발하기 위해 노력하고 있다. NASA에서는 몇 대의 시험 비행체와 두 대의 원격조종기를 시험 제작하였으며 시험 비행체로는 Perseus, Pathfinder 등이 있다. Perseus는 고도

21.3km 상공에서 48시간 동안 200kg 탑재물을 싣고 제공할 수 있도록 설계하였고, Pathfinder는 고도 19.8km 상공에서 11.3kg의 화물을 탑재하고 14시간 동안 제공할 수 있도록 태양 에너지를 이용하여 동력을 얻는 것으로 설계되었다. 고고도 장시간 체공 무인기가 군사목적의 감시와 미사일 방어 임무를 수행하기 위해 개발이 검토되고 있고 아울러 재래식 동력 무인기 외에 태양열이나 마이크로 웨이브 동력을 이용하는 무인기도 개발 중에 있다. 광범위한 전장지역을 감시하기 위해 미 국방성이 현재 전술임무를 띤 무인기를 개발하고 있다.

현재 군사적 임무를 수행하는 첨단 고고도/장거리체공 무인기로 개발 중에 있는 것으로 Darkstar(Tier III)와 Global Hawk(Tier II+)가 있다. Tier III는 10시간 동안 500마일을 비행하면서 정찰임무를 수행하는 것으로 생존율이 매우 높고 40,000ft 이상인 고도에서도 300knt 이상의 속도를 갖도록 설계되고 있다. 그림 19의 TierII+는 65,000ft 고도에서 24~50시간 동안 약 3,000마일을 비행하면서 목표지역 상공을 비행할 수 있고 날개길이가 160ft나 된다.



그림 18 Pathfinder (NASA)

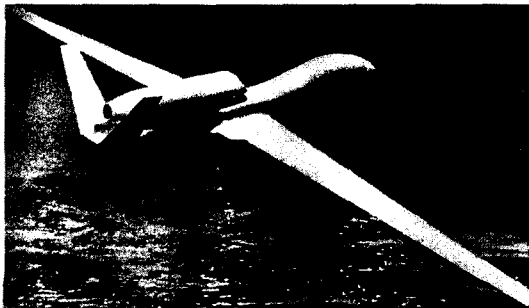


그림 19 Global Hawk (Tier II+)

날개길이가 200ft 정도되는 무인기는 태양열을 재충전해서 사용하는 무인기로 다양한 임무를 수행할 수 있도록 연구중에 있다. 미래의 고고도/장시간 체공 무인기는 운영비용이 저렴하면서 오랫동안 지면 가까이에서 지상의 넓은 지역에 대해 조기경보나 감시 또는 미사일 위협으로부터의 방어 임무 등을 수행하게 될 것이다.

3.4 초소형 항공기

독자들도 한번쯤은 종이 비행기를 접으며, 이 작은 비행기가 내 마음대로 조종된다면 하고 생각해보지 않았을까. 이제, 그 꿈이 현실로 우리 눈앞에 이루어지고 있다. 미국뿐만 아니라 국내에서도, 종이 비행기만큼 작은 초소형 항공기(Micro Air Vehicle, MAV)들이 연구, 개발되고 있다. 미국 국방부에서는, 걸프전에 길이 1.5미터 정도의 소형 무인 정찰기를 투입하여 얻은 성공적인 결과에 근거하여 1992년부터 초소형 항공기에 대한 개념 및 타당성 연구를 수행해왔으며, 지난 1997년부터는 군사용 초소형 항공기의 연구와 관련기술의 개발에 적극적인 재정 지원을 해오고 있다. 현재 가장 앞선 미국의 에어로바이언먼트사는 시험비행을 통해 길이 15cm 정도의 비행기를 20분 정도 비행하는 것이 가능함을 입증한 바 있다 (1998, 그림 20). Lockheed Martin에서는 20분간 정찰이 가능한 초소형 항공기를 2000년대 초반 중에 배치한다는 계획아래 실용개발 중에 있다.



그림 20 Aerovironment 사의 black Widow

국내에서는, 대한항공 한국항공기술연구원(그림 21), 한국과학기술연구원(그림 22), 건국대학교, 국방과학연구소 등에서 초소형 항공기 및 관련기술에 대한 연구가 진행중이다.

현재 비약적으로 발전하고 있는 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술과 전자통신 기술 등에 힘입어, 2010년 경에는 파리 크기 정도의 초소형 항공기가 등장할 전망이며, 초소형 항공기 부품의 소형/경량화 기술은, 인공위성 부품의 소형/경량화로 직결되어서, 축구공 내지는 핸드볼공, 더 나아가서는 야구공, 골프공 크기의 피코 위성(Pico Satellite)의 개발로 이어질 전망이다. 이 경우 인공위성을 저지구 궤도(Low Earth Orbit, LEO)에 올리는데 필요한 발사체는 전투기에 탑재되는 공대함 미사일 정도의 로켓이면 충분

충분하므로, 현재 우리별 등의 인공 위성 발사를 외국 기술에 의존하고 있는 우리 나라도, 10만 달러대의 적은 비용으로 손쉽게 전투기에 탑재하여 고공에서 자체적으로 발사할 수 있게 될 것으로 전망된다.

3.5 초음속 항공여객기

미래의 민수용 항공기의 발전방향은 무엇보다 에너지 절약형이며 소음이 적고 안정성이 우수한 초대형 항공여객기 (그림 23)의 개발일 것이다. 특히 속도, 항속거리 및 탑재능력이 증가된 민간 초음속 여객기는 지구 어디에서나 모든 이들에게 1일 생활권 문화를 제공할 수 있는 운송 수단으로 자리를 잡을 것이다. 미국과 유럽, 러시아 그리고 일본에서는 이미 초음속 항공기 개발이 시작되었다. 제1세대기인 콩코드는 아직까지 안전하게 여객을 운송하고 있어 개발된 시대 배경으로는 기술적으로 성공하였으나 짧은 항속거리, 오존층 파괴 및 소음 등으로 상업적으로는 성공작으로 볼 수는 없었다. 파리-시드니간 20시간이 소요되는 현 민간운송 여객 상황에서는 더욱 쾌적하고 빠른 초음속 민항기의 출현은 많은 기대를 모으고 있으며, 실제, 기술적인 개발과정 중 가장 큰 장애물은 민간 초음속 여객기에 적합한 엔진 개발인 만큼 초음속 엔진개발의 성패가 이를 좌우한다고 볼 수 있다.

이미 군용으로 초음속기는 뉴스거리가 되지 못하나 민간용으로 수백명을 실어 나르는 대형 항공기라는 점이 군용기의 개념과 크게 상이하하며 민간용 초음속기는 군용 초음속기에 추가로 다음의 요구 조건들이 있다.

- 1) 항속거리: 21세기를 주도할 것으로 예상되는 대륙들을 보면 미국, 유럽, 아시아로써 이들 대륙간의 왕래가 여객시장을 주도할 것이다. 따라서 경유지 없이 유럽에서 중국을 거쳐 한국, 일본까지 항속거리를 갖는 항공기이어야 하며 이를 실현 가능케 하는 데는 적은 연료 소비량, 높은 엔진효율, 엔진 각 요소의 효율 증대가 필수적이다.

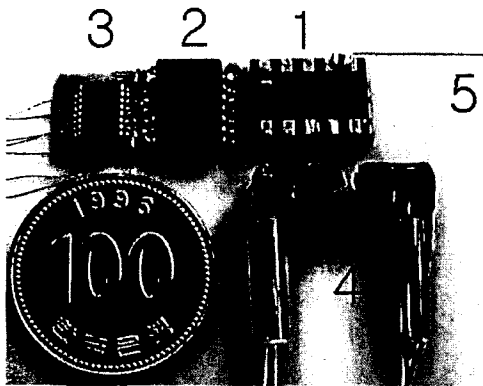


그림 21 (주)대한항공 한국항공기술연구원의 초소형 제어계통

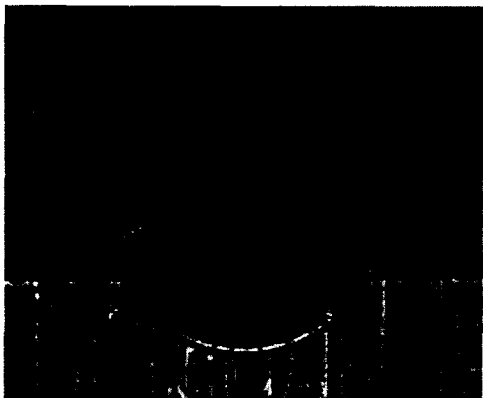


그림 22 한국과학기술연구원의 초소형 터빈

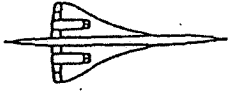
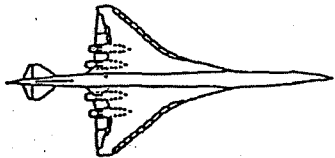
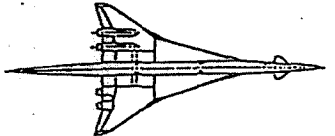
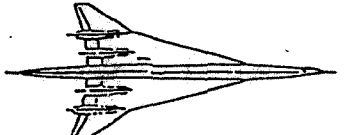
| | |
|---|---|
| Concorde France-England Mach 2.0 100명 3,000NM |  |
| HSRP U.S.A Mach 2.4 300명 5,000NM |  |
| ESRP Europe Mach 2.0 250명 5,500NM |  |
| Japan Aircraft Dev. Corp Japan Mach 2.2 6,800NM |  |

그림 23 Supersonic Civil Aircraft Concepts

- 엔진 형식: 대형 민항기 추력용이므로, 대단히 큰 추력 대 중량비, 경량 구조 및 소재의 사용이 불가피 하며 소음규제에 만족하는 가스터빈 싸이클에 대한 새로운 개념이 도입되어야 한다. 가장 유력시되는 엔진형식으로는 연비를 향상시키기 위해 초음속 비행시에는 터보제트 모드로 작동하고 아음속시 팬부위, 압축기 부위, 터빈부위 등 여러 엔진 부분에 가변기구(variable components)를 설치하여 바이패스비를 변화시키는 가변형 엔진으로써 교류터보팬 엔진(mixed flow turbofan engine), 더블바이패스 엔진(double by-pass engine) 및 flade(fan on blade) 엔진을 포함 여러 종류의 가변싸이클 엔진들이 연구 중에 있다.
- 환경적합성 : Olympus엔진을 장착한 콩코드기의 소음문제는 근 20년간 일부공항을 제외하고는 취항하지 못하는 결점을 남겼다. 초음속 항공기의 소음해결은 엔진의 bypass비를 증가시키거나 배기속도를 늦추는 혼합기(mixer)의 장착으로 해결의 실마리를 풀려고 한다. 그러나 음속 돌파시 충격파에 의한 소닉붐(sonic boom)문제의 해결은 항공기 날개형상을 획기적으로 변형시키기 전까지는 어려울 것이며 당분간 저고도 비행시 음속이하로 운항할 수밖에 없는 과제를 남기고 있다.
- 환경과 병행하여 초음속 민항기의 또 다른 환경 과제는 고고도 비행에서의 오염물질 배출이며, 성층권(stratosphere)의 오존층파괴에 주범인 NOx의 발생량이다. 현재 순항시 배출되는 오염원에 대한 규제는 없으나 성층권이 접해있는 60,000피트의 상공을 장시간 순항하는 초음속기의 경우, NOx 방출에 대한 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO) 규제가 제정될 수 밖에 없는 상황이며 ICAO는 CAEP(Committee on Aviation Environmental Protection)을 통해 EINOX (Emission Index of NOx) < 5ppm 으로 NOx 량의 규제를 한층 강화할 단계에 있다. 항공기 엔진은 지상에서의 환경오염이 타 동력 열기관에 비해 미미한 영향만을 미치지만 상층 대류권과 성층권의 높은 고도에서는 항공기엔진 배출가스만이 유일한 인공 오염원이므로 이를 간과할 수는 없을 것이다.

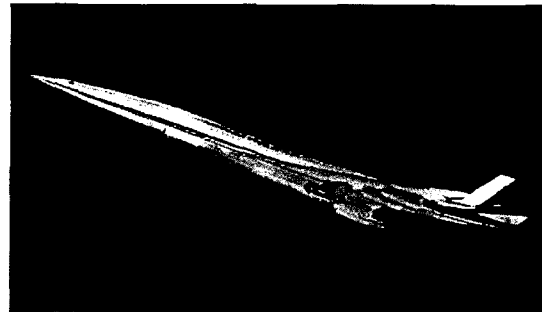


그림 24 HSRP Supersonic Civil Aircraft Concept

엔진개발과 마찬가지로 초음속기 개발에서 우선 해결 돼야 할 중요한 분야는 구조재료의 개발이며 현재보다 경량이며 내열성이 강한 금속재 복합재료가 비행기 전체 구조물의 60% 이상을 차지해야 한다는 의견들이 도출되고 있어 콩코드기 무게의 72% 수준을 유지해야 한다는 결론을 얻을 수 있다. 따라서 고온환경에 적합하고 경제적인 재료의 선정이 초음속기 개발에 절대적이라 할 수 있다.

3.6 차세대 전투기

세계의 전투기 시장을 주도하고 있는 항공기 제작사로서 보잉(Boeing)사와 록히드 마틴(Lockheed Martin)사가 미국 방위산업 사상 최대 규모인 21세기 미국 공군·해군·해병대가 공통으로 사용할 차세대 주력전투기(Joint Strike Fighter, JSF) 즉 밀레니엄 전투기개발 시장을 놓고 사활을 건 수주경쟁에 나서고 있다. 일명 JSF로 불리는 차세대 주력 전투기 사업은 현재 각 군이 보유하고있는 각종 전투기들의 기능을 한데 묶은 전군 공용의 다목적 전투기를 말하며 전투기로서의 필수 기능을 갖춘 기본 모델을 만들고, 여기에 각 군의 요구에 따라 각종 기능을 옵션으로 덧붙일 수 있도록 함으로써 전체 예산을 획기적으로 줄여보자는 구상이 기본 개념이라고 볼 수 있다. 미국방부가 2001년 중 양사의 시험 제작기에 대한 비행시험과 평가를 끝낸 뒤 2001년 1개사를 선정하여 오는 2008년부터 순차적으로 실전 배치될 JSF의 수요는 미국 공군·해군·해병대와 주요 동맹국용 수출물량, 향후 보수부품 공급 등을 합쳐 약 3천대, 어림잡아 4천억 달러(약 4백조원)에 이르는 큰 시장을 형성하고 있어 보잉과 록히드 마틴사로서는 사상 최대 규모의 독점 공급권 확보에 사활을 걸고 있다고 해도 과언이 아닐 것이다. 이 경쟁의 승자는 앞으로 20~30년간 판로를 걱정할 필요가 없고 나아가 세계시장의 우월적 지위를 누릴 수 있기 때문이다. 당분간 전투기 분야에 대형 프로젝트가 없는 데다, 지금까지 관행과는 달리 1개사 단독 수주 방식이라 탈락한 회사는 전투기 사업

분야에서 퇴출되리라는 전망까지 나오고 있다. 미 국방부가 탈락기업을 주계약 기업의 하청이나 공동개발형태로 참가 시켜 주던 관행을 깬 것은 기당 2,800만~3,800만 달러라는 초저가를 최우선 조건으로 내세워 경제성 경쟁을 유도하기 위해서인데 이는 록히드 마틴사가 주계약사로 현재 개발 중인 소규모 신예기 사업 선정 기준인 F22기 가격의 절반에 불과하다.

이들 차세대 전투기가 갖추어야 할 조건으로서 속도와 작전 영역을 유지하면서도 이·착륙 거리를 줄이기 위한 경량성, 레이더에 잡히지않는 스텔스 기능과 함께 수직 이착륙 전환등이 기본으로 요구되고 있다. 즉 공군은 현재 주력 전투기 F-16과 탱크 킬러 A-10기를 대체하면서 미 공군이 발주한 차세대 첨단 스텔스 전투기 F-22와 기술적 공조가 가능해야 한다고 주장하고 있으며 해군은 항공모함에서의 이착륙이 가능하고 해군의 차세대 주력기 F-18E /F와 공조할 수 있는 성능을 갖출 것을 요구하고 있다. 미 해병대와 이 계획에 참여하고있는 영국 해·공군은 수직 이착륙과 공중 정지비행이 가능한 기종을 주문하고 있다. 여기에다 미 국방부는 동체·날개 일체형 구조를 조건으로 내걸었다.

그러나 비교적 저렴한 가격요구조건 때문에 록히드의 한 간부는 기술적으로는 이런 첨단 전투기를 얼마든지 만들 수 있지만 국방부가 요구하는 가격대에 만들기는 어렵다고 토로하고 있다. 그렇다고 보잉과 록히드가 가격조건 때문에 JSF 시장을 상대방에게 넘겨줄 것 같지는 않으며 양사는 각각 철저한 보안 속에 비장의 기술과 경영 노하우를 총 결집해 생산비 절감대책을 마련 중이다. 보잉은 B-777 개발기술에다 지난 76년 합병한 맥도넬 더글러스의 전투기 생산경험을 합쳐 경비 절감형 기본모형 개발을 거의 마친 것으로 알려졌고 록히드 역시 기본 설계를 끝내고 첨단 제작기술 채용과 함께 다른 기종의 부품을 교환하는 방법으로 가격 낮추기에 전력을 기울이고 있다. 이제 승부 얼마나 생산비를 낮출 수 있는냐에 달려 있어 이에 따라 록히드 마틴사는 F-22기와 부품 및 시스템을 공동화해 생산단가를 줄이는 방법을 연구 중이며, 보잉사는 B-777등 민

간항공기 생산에서 터득한 코스트 다운(비용절감) 노하우를 최대한 활용할 방침으로 알려져 있다. 보잉사는 코드네임 「X-32」, 록히드 마틴사는 코드네임 「X-35」인 JSF기종의 설계를 각각 끝낸 상태로 곧 2대씩 시험기를 생산해 국방부에 보낼 예정이다.

3.7 재사용 우주 비행체

미래 우주수송 시스템에 대한 주요한 설계상의 중점사항은 지구의 저궤도까지 접근하는 데 가능한 최소로 비용을 줄이는 것이다. 안전과 신뢰 그리고 경제적인 수송 시스템 구축, 구조 및 탑재능력 향상을 위해 추진계통의 성능향상, 그리고 원거리 위치에 도달하거나 어려운 궤도를 따라 운행하는 기동성의 향상에 설계자들은 주안점을 두고 있다.

단기적인 우주수송 시스템의 개발활동은 지구 궤도(Earth-to-Orbit, ETO) 시스템에 초점을 두고 화물수송 비행체, 첨단기술 여객수송 비행체, 그리고 여객/화물 동시 수송 비행체를 집중 개발하게 될 것이다. ETO의 운영비용을 감소시키기 위해서는 추진계통, 유도제어계통, 재사용 극저온 추진제 탱크, 단열처리기술, 경량화된 구조 및 재료, 그리고 제작기술, 비행체의 작동관계계통, 최소동력 소모형의 고장율이 낮은 컴퓨터, 그리고 기지에서 자동으로 작동할 수 있는 저비용 작동체 기술의 개발이 필요하다. 앞서 언급한 모든 첨단기술은 향후 20년 이내에 기술개발에 관한 검증이 끝나게 될 것이다.

단기적으로는 기존의 소모성 발사 비행체의 종류가 우주왕복선과 병행해서 채택되어 지구 관찰이나 태양계 탐사와 같은 과학적 임무수행을 위해 사용된다. Pegasus와 Taurus와 같은 발사체는 소형 우주비행체를 위해 사용되며, Delta급과 Atlas급의 비행체는 중형급 우주비행체에, 그리고 Titan IV급은 주로 군사목적의 임무를 갖는 대형 비행체에 사용된다. 새로운 발사 비행체는 저렴하면서도 신뢰성과 운용성이 높도록 설계하게 된다. 이러한 설계의 중요한 요소라면 구조가 단순하면서

도 제작과 결합이 용이하도록 고안해 내는 것이다. 이를 위해서는 검증된 기술이 절대적으로 적용된다.

저고도 지구궤도까지 승객과 화물을 효율적으로 수송하기 위하여 운영비용을 줄이기 위해서는 현재보다 비행체를 훨씬 안전하고 신뢰성이 있으며 완전 재사용할 수 있도록 설계하는 기술을 요구하고 있다. 추진기관의 선택은 임무형태나 탑재량의 크기에 따라 달라진다. 각 임무형태에 맞는 최적의 비행체 설계를 미국, 유럽, 러시아, 일본에서 최근 연구하고 있다. 이러한 연구는 다음과 같은 내용을 총망라하고 있다. 1) 발사단계를 일단계로 할 것인가, 다단계로 할 것인가, 2) 이착륙을 지상에서 수평이륙 또는 공중 발사형태로, 수직이륙/수평착륙 중 어떤 형태로 할 것인가, 3) 추진계통은 완전 로켓형, 로켓/공기흡입기관의 혼합형태, 궤도진입을 위해 로켓기관으로 가속하는 공기흡입기관, 또는 액체 및 고체연료 혼합기관, 액화수소 연료계통으로 할 것인가 등을 연구하고 있다. 그런데 결국 미 항공우주국의 연구결과는 우주비행에 가장 신뢰성이 높고 경제적인 발사방법은 완전재사용 로켓 동력의 5570 발사 시스템인 것으로 결론을 얻었다.

우주수송 기술개발에 대해 미 항공우주국이 제안한 두 개의 보충 프로그램은 재사용 발사체(Reusable Launch Vehicle, RLV) 기술 프로그램과 발전형 우주수송 프로그램(Advanced Space Transportation Program, ASTP)이다. RLV는 실제 크기에 대한 설계, 제작 그리고 지상시험과 비행시험의 기술을 실증하는 프로그램이다. 이 프로그램은 세 개의 요소로 나누어져 있다. Clipper Granam사의 아음속 시험비행체, Orbital Sciences Corporation사의 X-34(그림 25) 소형 재사용 부스터 프로그램, 그리고 1999년초 시제기 발사를 계획하고 있는 Lockheed Martin사의 마하 15의 X-33(그림 26) 첨단 기술시험기 프로그램이다. X-34는 짧은 날개와 작은 꼬리날개면적을 가지며 단발 로켓기관을 장착하고 있다. 이 비행체는 2단계로 발사되며 부분적으로 재사용 가능한 궤도발사체로서 길이가 58.3ft, 날개폭이 27.7ft 그리고

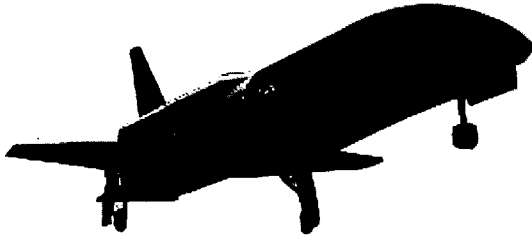


그림 25 X-34

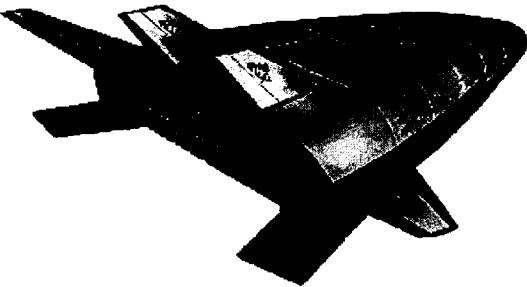


그림 26 X-33

동체 밑에서 꼬리날개끝까지 높이가 11.5ft이다. Orbital Sciences L-1011 비행체에서 발사할 예정이고 마하수 8로 고도 250,000ft까지 비행하게 된다.

X-33은 일단형 로켓기관을 갖는 비행체이며 수직 이륙하여 LEO까지 탑재물을 운송한다. 길이는 27ft, 폭은 68ft, 그리고 이륙무게는 273,000파운드이다. 이 비행체는 Venture Star의 축소형 기술시범 시험에 사용되며 실제개발목표로 하고 있는 Venture Star는 길이 127ft, 폭 128ft 그리고 이륙무게 2,786,000파운드가 된다.

두 번째의 ASTP는 1) 저비용 부스터 초기응용으로 소형 탑재물 발사기술에 적용하고, 2) 첨단 재사용 수송기술(Advanced Reusable Transportation Technology, ARTT)인 차세대 RLV기술과 3) 우주 궤도전이 비행체에 그 초점을 맞추고 있다.

우주수송에 있어서 적절한 공력제동장치를 이용한 유인 조종과 무인 조종 궤도전이 비행체(Space Transfer Vehicle, STV)가 필요하다. 비행체를 감속 시키기 위해서 대기의 공력제동장치를 사용하는 경우에는 초기 LEO 무게를 크게 줄일 수 있다. 이것은 바로 지상에서 LEO까지 수송할 무게를 줄여 비용감소 효과를 가져온다. STV는

몇 년 동안 정비를 하지 않고도 비행할 수 있을 만큼 우주기 설계자에 의해서 설계제작이 가능하고 지상 기지국에서 대부분의 비행체의 발사 통제 및 이상 유무의 파악을 할 수 있도록 되어 있다. STV는 초기 GEO(Geostationary Earth Orbit) 화물수송의 임무를 수행하다가 나중에는 인간의 탐사임무까지 발전할 수 있는 충분한 여지가 있다. 초기에는 연료를 완전히 채운 STV가 수송기에 실려 지구로부터 발사되겠지만 그 후에는 궤도에 머물면서 연료를 재공급 받고 임무를 계속 수행할 수 있어 훨씬 효율이 높아진다. 또한 화학적 동력이나 전기적 동력을 모두 사용하는 궤도전이 비행체는 운용상 경제성을 고려하여야 한다. 따라서 궤도전이 비행체에 대한 핵심기술은 공력제동 시스템, 장기간 사용 가능한 수소-산소 로켓 추진제, 신뢰할 만한 유도제어계통, 그리고 궤도상에서 재공급 능력을 갖추는 것들이다. 화성 탐사임무를 위해서는 핵열 추진제(Nuclear Thermal Propulsion, NTP), 핵전자 추진제(Nuclear Electronic Propulsion, NEP), 마이크로웨이브 추력 발생기 등을 개발하면, 화성까지 왕복하는 시간을 줄일 수 있다. 핵추진제 역시 화학 추진제가 갖고 있는 제한조건의 영역을 크게 넓힐 수 있다. 그리고 이러한 기술을 검증할 수 있는 실험기가 필요하게 된다.

4. 미래 항공기 연구동향

미래의 항공 시스템을 실현하기 위해서는 재료와 구조, 공기역학, 추진기관, 항공전자제어, 인지공학 및 컴퓨터 기술에 있어서 기술의 발전이 요구된다. 본 절에서는 미래의 항공기 시스템의 핵심이 되는 재료 및 구조, 공기역학과 추진기관의 연구동향에 대해 간단히 살펴보고자 한다.

4.1 재료 및 구조

재료 및 구조의 발전은 미래 항공기의 경제적 성공을 결정짓는 핵심적인 요인이 될 것이다. 구조무게는 비 탑재무게 상태에서의 항공기의 운영 성능을 결정지을 뿐 아니라 초기요구를 만족시키면서 운영비용을 줄일 수 있는 중요한 요인

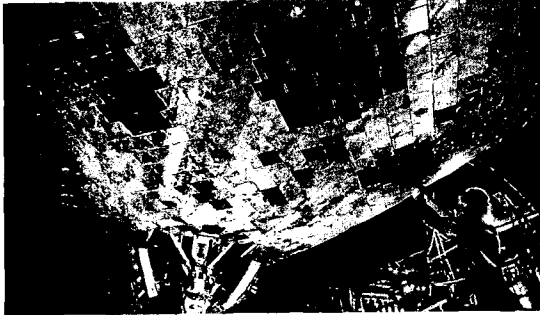
이 된다. 아음속 항공기에서의 새로운 기술개발은 복합재료의 사용, 설계접근방법, 구조반응의 예측, 신뢰할 수 있는 비파괴 검사기법 및 비용 모델링에 초점을 맞추고 있는데 특히 초음속 항공기의 경우는 기술개발이 새로운 재료의 사용에 관심이 모아지고 있다. 고성능 재료로는 금속재료(알루미늄-리튬 합금, 금속히 용고되는 금속) 그리고 복합재료(열경화성/열가소성 고분자 복합재료, 세라믹기지 복합재료, 탄소-탄소 복합재료, 금속 기지 복합재료) 등이 포함된다. 새로운 성형방법 그리고 무게감소와 성능향상, 수명연장, 수명비용의 절감을 얻을 수 있는 주요한 구조 재료개념으로 이러한 공학적 재료는 미래 항공 시스템의 비용절감과 성능향상을 확실히 이루어지게 한다. 성형방법은 화학적 증기침전과 같은 급속한 용고, 분말야금술, 솔-겔(Sol-Gel) 기술 및 접착제에 의한 부착 같은 슈퍼 플라스틱 접착, 확산 접착 개념 그리고 발전된 결합개념 등을 포함할 수 있다. 구조개념에는 기존의 재료에서는 얻을 수 없는 높은 수준의 성능향상을 위한 복합재료의 구조적인 개선, 적용 구조물 그리고 극 음속에서의 능동적인 급속냉각 등을 포함한다. 탄소-탄소 복합재료는 긴 수명을 그대로 유지한 상태에서 고온에서도 운용할 수 있다. 향상된 접합개념은 새로운 효율적인 개념의 허용뿐 아니라 제조비용의 절감을 가져올 수 있다.

특히 초대형, 초음속항공기의 개발에 있어서 복합재료는 필수적이며 현재의 상황으로 판단할 때 기존에 사용되어 오던 탄소섬유/에폭시수지 복합재료가 주종을 이루어 많은 금속재 부품을 대체할 것으로 예상된다. 한편 초음속 항공기는 이미 Boeing사에서 2005년경 출시를 목표로 진행중인 HSCT(High Speed Civil Transport)를 예로 들 수 있다. HSCT는 평균항해속도가 기존의 항공기의 약 3배인 Mach 2.4로서 현재 연구중인 차세대기 가운데 가장 빠른 속도를 내는 것으로서 기체 표면의 온도가 거의 400F에 이르므로 기존의 항공기용 구조재료로 많이 사용되어온 에폭시 수지는 사용이 불가능하다. 따라서 지금보다 훨씬 가볍고 내열성이 강한 복합재료의 개발에 있어 현재 고온 특성이 보다 우수한 PI(Polyimide)와 같

은 고분자 구조재료와 탄소를 기지로 한 재료 및 티타늄, 알루미늄 등의 금속을 기지로 한 고온/구조용 복합재료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 생산 공정 측면에 있어서는 RTM(Resin Transfer Molding)과 같은 경제성 있는 공정의 도입 및 개발이 필요하며, 설계단계에서 공정을 고려하여 부품의 개수를 줄이거나 형상을 간단하게 할 수 있는 *concurring design* 개념을 도입되고 기술적으로는 현재 사용 중인 복합재료의 최대 약점인 *damage tolerance* 혹은 *impact resistance*를 보강하기 위한 고인성/고탄성 수지 및 *fibrous preform* 개발이 진행되고 있다. 초음속 항공기에 적용할 수 있는 고온용 수지, 접착제, 하니콤 개발뿐만 아니라 탄소/아라미드/유리 등의 섬유가 혼합되어 *synergetic effect*를 극대화할 수 있는 *hybrid* 복합재료에 대한 연구도 요구된다. 특히 저온에서 경화하여 고온 특성을 갖는 저온 경화용 수지(*low-temperature cure resin*), 저온이나 고온에서 경화하여도 동일한 물성값을 갖는 *dual cure-temperature* 수지의 개발은 구조물 제작뿐만 아니라 생산비 절감 및 *maintenance* 용이성 등 경제적인 측면에서도 상당히 필요한 신소재 기술이다. 결론적으로 항공기용 복합재료는 여전히 많은 응용의 여지를 갖고 있으며 또한 시급히 해결하여야 할 많은 기술적인 문제점을 동시에 갖고 있으나 이와 더불어 현재 각각의 항공기 제작사가 보유하고 있는 *material specification*, *design manual*, *process standard* 등의 규격이 전세계적으로 통일될 수 있는 제도적인 보완이 뒷받침 되면 복합재료의 항공기응용도 더욱 촉진될 것으로 예상된다.

그림 27은 Columbia 우주왕복선의 대기권 재진입시 고온의 마찰열을 차단하는 단열재료로서 사용되는 *glass-ceramic* 재료는 단열특성 뿐만 아니라 우수한 강도를 갖는 다기능 공학재료의 한 예라고 볼 수 있다.

미래의 비행체에 있어서의 성능향상을 위한 돌파구는 다음에서 강조되는 적용 구조물의 사용, 다기능의 구조개념, 컴퓨터 기술의 발전, 마이크로/나노 기술, 로봇 그리고 지능형 비행체 (*thinking-vehicle*) 기술 등에서 얻어질 가능성이 크다.



(a)



(b)

그림 27 (a) Columbia 우주왕복선의 단열타일 교체 작업과 (b) 왕복선에 사용된 Glass Ceramic 단열재료 (손으로 잡은 Cube내부온도는 2200F)

지능/적응 구조물 개념은 구조물에 있어서 센서와 작동기 등을 통합하고 제어 처리를 수행하는 전자기술이라고 할 수 있다. 지능/적응 구조물은 외부에서 가해지는 하중에 대해 감지하고 반응할 수 있는 능력을 가진다. 이 구조물은 파손을 감지하고 적절한 수리를 할 수 있으며 파손되지 않은 부분에 영향을 주지 않고도 손상된 부분을 분리해 낼 수 있다.

지능 구조물의 예로는 형상기억 합금, 압전 소자 그리고 열적으로 반응하는 복합재료 등이 포함된다.

4.2 공기역학

2000년대에 들어서 공기역학의 연구는 여러 분야가 접목되어(multi-disciplinary) 이루어지는 추세이다. 극초음속으로 대륙간 횡단비행을 목표로 하는 National Aerospaceplane Project의 국제적인 추진에 따라 90년대 초반부터 극초음속 유동과, 초음속 연소, 연소의 능동제어, 소음의 능동제어

등의 실험과 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 관련 연구가 서로 연관되어 수행되고 있다. 또한 space station의 건설과 태양계 탐사 계획에 따라 행성간 고속비행시의 현상을 연구하기 위해 전자기학과 유체역학이 접목된 magneto fluid dynamics 등의 연구가 수행되고 있다. 이러한 고속, 대형의 비행체와는 반대로, 반도체의 생산 기술을 활용한 micro-machining 기법을 전제로 한 micro engine, 유동의 능동제어 분야의 연구가 flapping flight와 결합되는 시점에서는, 파리 형태의 초소형 항공기의 개발도 가능할 것으로 전망된다. smart material/structure를 이용한 유동 현상의 제어 또한 재료/구조/동력학과 공기역학이 결합되는 분야이다. 또한, genetic algorithm을 이용한 optimization 방법도 공기역학에 접목되어 발전이 기대되는 분야이다.

또한 90년대와 마찬가지로, 2000년대 이후에도 풍동실험, PIV(Particle Image Velocimetry) 등의 실험 방법은 전산유체역학과 상호 보완적인 역할을 하며, 수치해석 모델의 진보와 컴퓨터의 발달에 따라 통상적인 실험들은 단계적으로 전산유체역학으로 대체될 전망이다. 그러나, 해석방법과 유동현상에 따라 정확도가 크게 바뀌는 수치해석 기법들의 단점은 향후에도 계속 존재할 전망이고, 위에 언급한 바와 같이 여러 학문 분야가 접목되는 연구의 경우는 새로운 실험 방법을 개발하여 계산결과를 실험적으로 확인, 검증하는 과정이 필수적이므로, 실험적인 연구 또한 계속 발전할 전망이다.

4.3 추진기관

항공우주 분야에서의 추진은 현재 가장 큰 시장을 확보하고 있는 민수 항공기 추진기관을 비롯하여 군용항공기, 우주추진기관, 발사체 및 위성제어 시스템 추진으로 구분될 수 있다. 기술적 측면에서 보자면 현재 운용 중이며 꾸준한 기술 진척을 거듭하고 있는 공기흡입기관(air breathing propulsion)인 가스터빈기관과 램제트(ramjet)기관, 고체추진(solid propulsion)과 액체추진(liquid propulsion)과 같은 로켓기관이 있으며 일부 실용은

되었으나 아직 개발단계에 있는 전기추진기관이 있다. 아직까지 21세기를 주도할 항공추진기관은 화석연료(fossil fuel)를 사용하는 대형기관인 가스 터빈, 로켓기관이 주종을 이룰 것이며 이중 시장성이 가장 크고 항공 외의 타 산업에 기술 파급 효과가 큰 가스터빈기관이 주목된다. 비연료소비율(Specific Fuel Consumption, SFC)의 저감 기술은 예전부터 엔진개발의 주요 당면 과제였으며 이를 위해 터빈입구 온도(TIT), 요소 효율(component efficiency), 압력비(Overall Pressure Ratio, OPR)의 향상을 도모하는 엔진개발이 주종을 이루어 왔다. 결국, 고바이패스(high by-pass ratio)를 갖는 엔진의 개발로 이어져, B-777 용 엔진으로 사용되는 PW4084, GE90, RR Trent800 엔진 모두 엔진 코어(engine core) 대비 팬 지름이 상당히 증가한 것을 알 수 있다. 이들 엔진의 차선택으로써 초고 바이패스(ultra high BPR) 엔진들이 연구되고 있으며 이중 대표적으로 PW사의 ADP(Advanced Ducted Prop)가 있다. 저압스플의 팬 부위를 거대한 프로펠러 형식의 팬으로 장착하여 최대의 바이패스비를 얻는 것이 목적이며 경제적 측면으로는 기존 터보팬 엔진에 비해 10%정도의 연료소모 효과를 볼 수 있으나 거대한 엔진 지름으로 인해 항공기 동체와 나셀(nacelle)간의 상호방해 항력(interference drag) 및 ground clearance limit 등 여러 문제가 산재 되어 있어 아직 실용화되지는 않고 있다.

1976년 NASA는 ECI(Engine Component Improvements)계획과 E3(Energy Efficient Engine) 프로젝트를 추진하면서 엔진요소의 공력설계기술, 동익(rotor)과 케이스간의 익단간극(tip clearance) 제어기술과 터빈 냉각을 위한 터빈내부유로 냉각기술에 관한 연구를 수행하였다. 금속재료는 단결정익(single crystal blade)과 같은 신소재의 응용 연구가 진행되어왔다. 그러나 최근의 연구개발 동향은 연료소모율의 저감 뿐만 아니라 환경 친화적 엔진에 대한 요구가 강요되고 있는 실정이다. 300 석급 초음속 항공기용 엔진의 개발은 이륙시 소음문제와 순항시 NOx 저감문제, 그리고 높은 비추력을 소화내야 하는 좋은 예로써 현재, 고속에 적합한 터보제트형식과 경제적인 터보팬형식을

조합한 variable cycle engine의 개발이 미국, 유럽, 일본등에서 진행 중에 있다. 따라서 대부분의 미래 추진기관 연구는 70년대 콩코드기의 Olympus 593 엔진에 비하여 환경친화성의 만족여부가 가장 큰 과제로 남아있다.

마하수 3 - 6의 영역에서 적합한 엔진으로 개발되어온 램제트(ramjet) 기관은 가스터빈에 비해 상대적으로 시장규모는 적으나 고속을 유지하는 군용항공기 장착 미사일의 추진기관 및 차세대 운송수단으로서 연구가 활발하게 진행중이다. 램제트기관에 초음속 연소개념이 제기되면서부터 초음속 상태에서 연소가 이루어지는 마하수 6 이상의 극초음속 스크램제트(Supersonic Combustion Ramjet, SCRamjet)의 개발이 미국을 중심으로 진행중이며 이미 언론에 널리 알려진 미국의 NASP(National Aero-Space Plane) 계획이 시행되면서 스크램제트 엔진의 개발은 활기를 띄기 시작하였다. 스크램제트는 JHU/APL(Johns Hopkins, Applied Physics Lab.) 및 NASA 등 연구기관 등이 1960년대와 1970년대에 기초적인 연구성과를 통해 스크램제트 기술의 선두역할을 하였다. 현재 NASA의 Hyper-X 프로젝트와 USAF를 중심으로 HyTech(Hypersonic Technology) 프로젝트가 진행중이며 미래 NASP 개발과 같은 장기적인 계획이 아닌 NASP 개발을 도모하기 위한 단기 프로젝트의 성격을 띄고 있다. HyTech는 탄화수소 계열의 연료를 사용하며 마하수 4에서 8의 극초음속 미사일에 장착되는 스크램제트 기관으로써 저속에서는 로켓 부스터를 이용하는 dual mode 엔진이다. Hyper-X 계획은 NASP 계획의 축소판으로 NASP 개발 중 산재된 여러 기술적인 문제점들을 완화하기 위해 NASA에서 계획하는 시험 항공기이다. 극초음속 항공기 개발에 앞서 엔진 설계 기법 및 성능평가 항목들을 확립하기 위한 test plane의 개발에 기초한다.

5. 맺음말

21세기 창공을 누비는 다양한 항공기들에 대한 소개와 그들 임무에 따른 특성, 관련된 최첨단 기술에 대하여 검토하였다. 20세기에 아음속과 초음

속으로 구분이 되었던 항공기는 이제 시대적 요구사항에 부응하면서 다양한 용도와 임무에 따라 구분이 세분화되어 가는 추세에 있다. 단거리 운항항공기, 첨단 아음속 항공기, 고고도 장기체공 항공기, 초소형 항공기, 초음속 항공여객기 및 차세대 전투기, 그리고 재사용 우주비행체등 앞에서 언급한 항공기 외에도 미래 우주 산업의 팽창으로 우주수송기기와 항공기를 접목한 비행체의 출현이 21세기에는 가능해질 것으로 예상되고 있다. 이러한 최첨단 항공기의 개발목표도 20세기와는 달리 개발 항공기의 기술획득 가용성 개선(improvement of technology affordability)에 초점을 두고 있으며 민-군 겸용기술사용(use of dual technology) 및 모듈화 항공기 구조(modular aircraft structure)를 지향하는 것은 다가오는 미래의 항공우주 임무 수행에 있어 항공기 요구사항과 상업성을 동시에 얻기 위한 혁명적인 기술의 전환이 요구되기 때문이다. 항공기 탄생 이래 항공기의 성능 및 효율의 개선은 꾸준히 이루어져 왔으며 최첨단기술의

응용이라는 명분아래 엄청난 향상을 하였고 21세기의 항공기에는 추가로 지구 환경 보존문제에 대비된 기술들이 필수적으로 응용되어질 전망이다. 궁극적으로는 21세기 항공기는 인류로 하여금 지구 1일 생활권의 실현에 더욱 접근하도록 발전될 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. Aviation Week & ST, June 8, 1998, p.42~48.
2. 윤광준 et al., "초소형 비행체의 현황 분석 및 개발 방향", 한국항공우주학회지, 26권 7호, pp.170~179.
3. A. K. Noor and S. L. Venneri, "Aircraft Developments for 21st Century", Progress in Astronautics and Aeronautics, 1997.
4. A. K. Noor and S. L. Venneri, "Space System Developments for 21st Century", Progress in Astronautics and Aeronautics, 1997. 