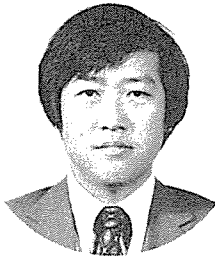


# “더 빨리, 더 멀리, 더 가볍게”

## -항공기 설계기술의 발달과 전망



柳 時 隆

〈대한항공(주) 항공기술연구소〉

### ◇ 항공기의 역사적 발전

1903년 라이트 형제가 손수 개발한 최초로 조종이 가능한 비행을 12마력 가솔린 엔진으로 성공한 이래 일차대전까지 10년간은 하늘을 개척한다는 신념아래 각국에서 각양각색의 비행기가 출현되어 점차 Tractor형식(엔진이 좌석전방에 장착)의 복엽기 형태가 주종을 이루게 되었다. 이때의 구조는 주로 목제골격구조에 우포 또는 합판이 사용된 것으로 속도가 100mph 이하로서 공기저항이 적은 단엽기 보다도 구조중량이 적고 기동성이 좋은 복엽기가 유리 하였다.

1차대전중, 군용기의 유상하중(Payload)과 속도의 증가가 요구되어 엔진의 개발이 촉진되었다. 대전말기에는 400마력엔진이 출현되고 또한 하중과 속도의 증가로 인한 구조강도 때문에 기체의 금속화가 독일에서 시작되었다.

1920년부터 여객과 화물 및 우편물을 운반하는 상용수송기가 주로 유럽에서 개발되기 시작하여 속도와 장거리 비행경기 등 상금이 부여된 에어레이스를 통하여 성능과 특히, 구조설계기술의 발전이 이루어졌다. 이미 30년대 초반에

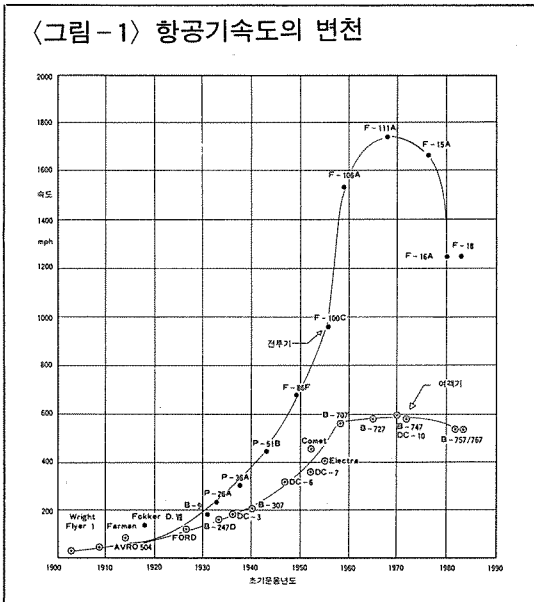
알루미늄 모노코크기체와 외팔보날개, 접개식 착륙장치, 플랩, 엔진Cowl, 가변핏치 프로펠러 등 현대 수송기의 전형적인 요소를 두루 갖춘 완전금속·응력외피여객기가 실용화 되었다.

20년대에 군용기에만 사용되던 엔진 Super-charger와 기내 여합장치가 30년대 말에는 여객기에 사용되어 보다 높이, 보다 빠르게 운항하게 되었다. 이 당시 가장 빠른 항공기는 프로펠러기의 속도한계(500mph)에 접근하고 있었는데 때마침 제트항공기가 출현(1939)되어 2차대전후부터는 항공기의 성능에 획기적인 진보를 초래하게 된다. 1947년에 음속이 돌파되었으며, 고속에서 항력을 감소케 하는 후퇴익이 출현하였다. 1952년에 최초의 제트여객기 Comet의 운항이 시작되었지만 연속된 사고로 각광을 받지 못하였으나 구조에 Fail-safe설계개념이 도입되는 계기가 되었다. 터어보프롭여객기가 출현한 후 1958년에 B-707과 DC-8에 의하여 본격적으로 제트여객기가 실용화 되었다. 제트엔진의 단점인 높은 연료소모율과 소음이 개선된 터어보팬엔진의 개발로 항속거리가 증가된 여객기가 60년대초에 운항되었으며 급속히 발전한 전

자장비와 높은 Bypass비 터보팬엔진의 개발로 신뢰도와 효율성이 향상된 대형여객기와 A-ftiburning 터보팬을 장착한 고성능 전투기와 초음속여객기가 70년대초에 출현하게 됐다.

구조의 경량화를 위하여 50년대 부터 개발되어온 복합재료는 유류파동이 있었던 70년대에는 전투기의 일부 구조물에 적용되었으며 80년대에 여객기에 일부 사용되기 시작했다. 80년대 초에 종합시스템의 최적화라는 새로운 항공기개발개념으로 신기술을 적용한 소형화된 전투기와 여객기가 운용되기 시작했다.

〈그림-1〉 항공기속도의 변천



〈그림-1〉과 〈그림-2〉에 각각 속도와 재료의 변천을 볼 수 있다. 특히, 지난 25년간 여객기와 전투기의 속도에 큰 변화가 없는 것은 기술적인 제약보다는 경제성과 운용상의 요구때문이다.

◇ 설계목표와 방법의 변천

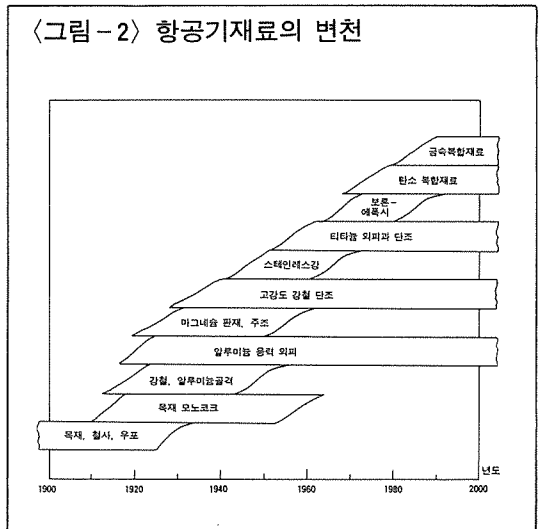
1940년대 까지의 항공기 설계목표는 기체와 추진장치 및 유상하중을 조화롭게 통합하여 성능향상을 도모하는 것이었으나 50년대에는 항공전자와 시스템개념이 추가되어 성능과 유효성(Effectiveness) 향상을 궁극의 목표로 했다.

60년대에는 설계고려사항에 지상지원과 Cost개념까지 포함된 시스템의 종합화가 추구 되었으며 70년대 부터는 관련 시스템 종합, 운용개념, 신뢰성과 정비성, 제작, Life Cycle Cost (L-CC) 등을 포함하는 종합시스템의 최적화를 실현하는 것으로 설계목표가 변했다.

그동안 설계수법도 변천되어 왔다. 구조설계의 경우, 항공기의 사용기간과 방법 및 환경을 예측하여 그 수명 동안에 재료의 피로(Fatigue)나 부식 등에 의해 파손되지 않도록 각 부재를 설계·확인하는 안전수명(Safe life) 설계에서 구조의 일부가 손상되더라도 착륙할때 까지는 안전하도록 하는 Fail-safe설계로 보장되었다. 파괴역학과 비파괴검사기술의 진보로 현재는 설계초기부터 정비성과 재료와 제조과정의 불완전성(초기손상)을 고려한 손상허용(Damage tolerance)설계기법이 도입되고 있다.

한편, 컴퓨터와 전자장비의 발달은 종전의 설계기법과는 달리 설계초기부터 비행제어기술을 공력과 구조 및 추진장치 기술과 종합하여 항공기형상(Control Configured Vehicle, CCV)을 설계함으로써 기체에 작용하는 공기력을 능동적으로 제어하는 Active Control Technology 설계개념을 가능케 하고 있다. 또한, 컴퓨터의 발달은 고도화, 다양화된 설계와 해석 및 생산에 이르는 순과정의 소요기술분야 업무의

〈그림-2〉 항공기재료의 변천



체계화와 최적화 및 소요인력 경비와 기간의 단축을 가능케 하고 있다. 즉, 전과정의 전산화가 이루어지고 있다.

### ◇ 설계 과정

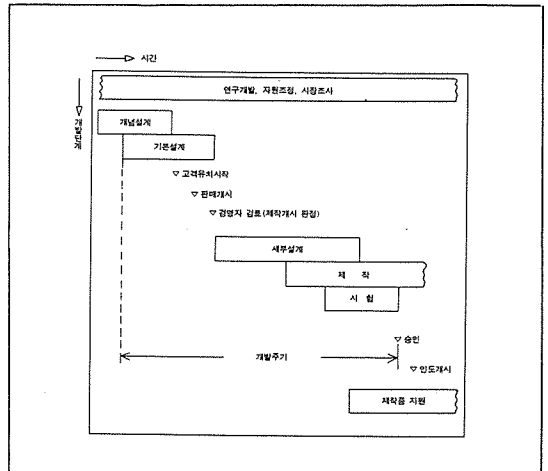
기술의 고도화와 세분화로 인한 설계의 관리와 대량생산에 의한 제작공정의 체계화가 요구되어, 종래의 몇몇 설계자에 의존하던 개발에서 조직에 의한 개발로 변화되어 왔다. 한정된 예산과 기간동안에 각종 기술이 조화를 이루며 고도의 임무수행능력과 경제성을 갖는 항공기를 개발하기 위해서는 기획과 조정으로 연결된 업무의 분담이 필요하다. 개발업무를 세가지로 분류하면, ① 기획관리와 조정·운용하는 관리업무 ② 재료산출과 기술적 해석과 실험 등을 수행하는 지원업무 ③ 관리업무와 지원업무의 협조로 특정 항공기를 개발하는 생산업무로 구분된다. 언급된 업무 모두가 개발요소기술에 속하지만 여기서는 생산업무 중 설계과정에 국한하기로 한다.

항공기설계는 고도의 반복설계이기 때문에 경비와 시간의 낭비를 줄이기 위하여 여러단계로 나누어지며 각 단계에서 적절한 비교설계를 통한 Screening작업이 수행된다. 설계단계를 크게 나누면, 신기술 적용 가능성과 시장성을 확

〈그림-3〉 항공기 개발과정

	개념설계	기본설계	세부설계
인원	1-5	10-200	300-2000
기간	1-4(주)	3-12(달)	1-5(년)
설계형상수	30	3	1
목표	시장성 확인	항공기 선정	제작과시험계획준비
결과	항공기 개념	입증된 항공기형상	제작데이터와 도면

인하는 개념설계와 입증된 항공기형상을 구하는 기본설계 그리고 모의시험과 실물모형 및 제작도면이 생성되는 세부설계 단계가 된다. 〈그림-3참조〉. 또한, 기본설계를 순서대로 더욱 세분화 하면, 설계사양과 경제성분석을 행하는 설계기준선정단계, 항공기 외형과 구조 크기를 정하



는 외형설계단계, 계통설계와 신뢰성해석 등을 수행하는 주요부분 정밀설계단계 그리고 풍동시험과 최신의 해석방법으로 설계를 확인하는 단계로 구분할 수 있다. 설계단계가 높아질 수록 해석의 대상범위가 좁혀지며 정밀도가 반면에 설계기관과 인원 및 경비가 증가된다.

### ◇ 신기술 동향

성능향상과 더불어 항공기의 안전성, 경제성, 쾌락성, 내구성 등을 충족시키기 위하여 공력기술, 추진장치, 구조와 재료기술, 제어시스템기술 등 각 분야에 걸쳐 연구개발이 진행되고 있다. 이미 실용화된 기술도 경제성과 신뢰성증가를 위하여 부단히 개조되고 있다.

#### ◎ 공력에 관한 기술

공기류에 의해 발생하는 양력을 증가시키고 항력과 소음을 감소시킬 수 있는 항공기의 형상과 기구를 개발하는데 주력하고 있다. 유도항력 감소를 위한 Winglet 개발, 마찰항력감소를 위한 경계층유체어 연구, 유효공간의 증대를 수반하며 구조중량과 간섭항력을 감소시키는 동체와 날개구조의 일체화(Blended wing body) 등이 연구·적용되고 있다. 특히 높은 아음속영역에서 항력감소에 도움이 되는 Supercritical 에어포일의 개발과 천음속(Transonic) 공기류의 박

리진동현상연구는 날개, 프로펠러, 동체등의 설계에 큰 영향을 주고 있다.

이착륙 성능향상을 위한연구 특히, 엔진이나 프로펠러 후류를 이용한 동력식 고양력장치연구가 계속되며, 날로 심화되는 소음규제에 대응하여 소음의 근원과 감소방법 및 구조피로에의 영향에 관한 연구도 병행되고 있다.

컴퓨터와 제어기술 및 구조해석 능력의 진보에 편승하여, 항공기에 작용하는 하중과 구조의 변형을 즉각 감지하여 제어(Active control technology) 할 수 있는 능력을 개발함으로써 중량감소와 기동성증대를 성취하는 연구가 진행·적용되고 있다. 또한, 복합재료를 사용하여 하중에 의한 구조변형이 항공기의 성능과 안전성을 향상시키며 구조응력을 제한하도록 하는 Aeroelastic tailoring연구도 계속되고 있다.

### ◎ 추진장치에 관한 기술

열효율과 추진효율 및 추력/출력의 증대를 위하여 고온·고부하재료, 냉각기술, 팬과 터빈, 엔진제어시스템 등이 개선·경량화 되며 1973년 유류파동 이후 연료 및 유지비 절감, 수명연장등과 더불어 연구가 가속화 되고 있다. 또한, 고속성능이 향상된 프로펠러를 장착한 Prop-fan 엔진, 엔진배기에 의해 압축기의 출구 공기온도 상승을 도모하는 열재생엔진, 아음속에서는 터어보팬, 초음속 영역에서는 제트엔진역할을 하는 가변사이클엔진, 단거리 및 수직 이착륙기를 위한 엔진, 대체연료(수소, 원자력, 태양에너지 등)를 사용하기 위한 엔진등에 관하여 연구가 계속되고 있다.

### ◎ 구조와 재료에 관한 기술

성공적인 항공기 개발에 절대적인 고려사항은, 항공기 전체시스템의 안전성과 신뢰성 및 내구성, 저렴한 항공기, 초기가격과 구조 유지비, 연료의 경제성과 환경소음이다. 이 모든 항목이 구조·재료기술과 관계가 깊은 것으로 이를 성취하기 위하여 손상허용설계 개념과 품질보증체제를 확립하여 구조재료의 피로, 부식, 온도영

향, 파괴등에 관한 연구와 새로운 소재의 개발에 관한 연구가 활발하다. 뿐만 아니라, 제작조립경비를 절감하기 위하여 부품 개수와 가공공수를 줄이는 부품의 일체화연구와 여분을 남겨놓지 않는 성형가공기술의 개발, 하니컴구조와 경량방음구조개발, 접착접합 기술개발등을 진행시키고 있다.

특히, 임의의 곡면현상제작이 용이하며 금속재료에 비해 비강도, 비강성, 피로감도 및 진동 감쇠성이 좋은 탄소섬유와 금속섬유 복합재료에 대한 연구가 활발하여 일부 항공기에는 실용화되고 있다. 복합재료를 사용함으로써 장차 항공기중량을 20%까지 감소시킬 수 있을 것으로 추산되지만 가격이 비싸며 경험부족으로 인한 신뢰성결여가 단점으로 남아있다.

### ◎ 제어시스템에 관한 기술

컴퓨터와 전자기술의 진보는 항공기 제어시스템 특히, 조종계통, 항법·통신장치, 엔진제어 및 계기·표시 등의 성능과 비용 및 설계방법을 혁신시키고 있다.

조종성향상을 위한 Control augmentation system(CAS) 기능을 포함하며 조종계통의 기계적 링크지를 완전히 전기신호로 바꾼 디지털 Fly-by-wire(FBW)와 와이어 대신에 광섬유를 사용하여 광학적으로 행하는 Fly-by-light(FBL) 비행제어시스템, 유압계통의 배관을 전선으로 바꾸어 전기적 동력으로 조종날개 가까이에서 유압으로 변환하는 Power-by-wire(P-BW) 시스템 등에 관한 연구·적용이 특히 활발하며, 시스템정밀도와 응답성 및 정비성향상과 중량감소에 기여하고 있다.

효율적인 항공기설계를 위하여 제어기술과 공력기술, 추진장치기술 및 구조·재료기술을 종합·응용하는 Active control technology에 관한 연구도 활발히 진행·적용되고 있다.

### ◇ 미래의 항공기

알루미늄판재와 제트엔진 및 후퇴익등의 예에

서 알수 있듯이 1940년대 이전에는 신기술이 개발되면 위험을 감수하면서 항공기에 과감히 적용되어 왔다. 그러나 현재는 제작품에 대한 책임관계로 경제성과 신뢰성이 확립되어야 신기술이 적용되고 있다.

◎ 층류 경계층 제어기

기체표면의 난류경계층을 여러개의 구멍이나 Slot를 통해 기체안으로 흡입함으로써 층류경계층으로 바꾸어 주면 마찰항력이 대폭감소되어 항공기 전체항력을 20%이상 감소시킬 수 있다. 그러나 먼지와 곤충으로 부터의 흡입구보호와 흡입장치 제작의 어려움등으로 60년대에 연구가 거의 중단되었다. 유류파동 이후 복합재료에 의한 제작의 개발 및 공력해석의 진보등으로 다시 연구되고 있으나 경계층제어여객기의 출현은 경제성과 모든 기후조건에서의 신뢰도 관계로 10년후가 될 것이다.

◎ 원자력 항공기

50년대부터 연구가 시작된 핵연료항공기의 단점은 원자로 보호벽의 중량이 크기때문에 실용적인 유상하중을 위하여 이륙중량이 점보기의 2배가 되며 경제성을 갖기 위해서는 3~4배가 되어야 하는 것이다. 환경보호론자의 반발과 경량원자로 개발속도로 보아 2000년대 이후에 출현가능할 것이다.

◎ 초음속 항공기

미국과 유럽에서 50년대부터 연구되었으나 경제성과 환경(소음, 오존파괴)문제로 미 국에선 1971년 개발이 취소되었다. 1973년 양산기가 비행된 Concorde(음속의 2배)는 기술성취면에서는 성공했으나 직접운영비가 점보기의 4배로서 경제성에서 실패하여 단지 16기만 생산하고 1979년 제작이 중단되었다. 1970년 이후 동체와 날개구조의 일체화등 공력설계의 진보로 양항비의 증가, 신소재출현과 제작공법의 개선 등으로 중량과 비용의 감소가 가능해졌다. 특히, 가변 사이클엔진의 진보로 소음감소와 효율향상등으

로 Concorde 보다 연료소모가 1/3이상 감소될 수 있게 되었다. 그러나 여전히 아음속여객기의 2배에 가까운 연료소모, 막대한 개발비, 시장성과 환경문제 등으로 제2세대 초음속여객기의 출현은 10년후가 예상된다.

◎ 수소연료 항공기

액체수소연료는 50년대부터 무공해, 높은 열량, 무제한 취득 가능성등으로 대체연료로서 가장 각광을 받고 있으나 낮은 밀도때문에 큰 연료통이 요구되어 항공기가 대형화된다. 그러므로 대형 장거리수송기와 높은 열량이 필요한 극 초음속기에 적합하다. 그러나 액체수소연료의 수송, 저장 및 항공기에 공급하기 위하여는 신규설비투자가 요구된다. 뿐만 아니라 물로부터 단위열량의 액체수소연료를 만들기 위하여 4배 이상의 열량이 필요하므로 태양열이나 핵분열 또는 융합등에 의한 아주 값싼 원천에너지의 개발이 요구된다. 2000년대 이후에야 수소연료 여객기의 출현이 가능하다.

◎ 고속 터어보프롭 항공기

연료소모가 낮은 반면에 유지비, 소음, 프로펠러진동등의 불편함이 있는 터어보프롭 추진시스템은 높은 아음속에서 효율이 급격히 저하되는 단점이 있다. 50년대이후 얇고 짧은 여러개의 블레이드를 사용하면 높은 아음속에서 추진효율이 증대됨이 알려져 왔다. 구조 강도성의 이유로 실용화 되지 않았는데 복합재료와 후퇴각을 가진 Supercritical 에어포일 블레이드의 개발로 연료소모를 20% 감소시킬 수 있는 Prop-fan이 생겼다. 아직도 소음, 얇은 복합재료 블레이드의 신뢰성 시험, 유지비 감소등의 문제가 있으나 10년 이내에 고속 터어보프롭 여객기의 출현이 가능할 것이다.

질서도 내가 먼저

양보도 내가 먼저