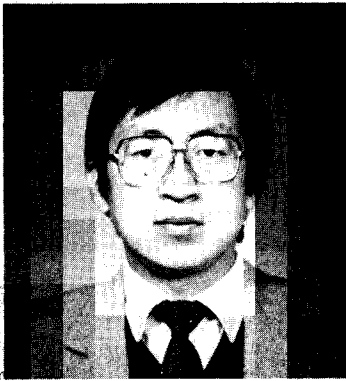


항공재료 기술개발 현황과 전망



김 학 민 (내열재료실장)

- '72.2 서울대학교 공과대학 금속공학과 졸업
- '76.6 서울대학교 대학원 금속공학과 졸업
- '80.12-'81.8 미국 Carnegie-Mellon대학교
(Post Doctor)
- '81.9-'82.12 미국 Wright 공군재료연구소
연구원
- '83.1-현재 한국기계연구소 책임연구원

I. 서 론

최근에 들어 국내외의 뉴스를 통해 항공산업은 많은 세인의 이목을 끌고 있다. 국내의 차기 전투기를 도입하는 F-X 사업, 군용헬기 구매와 관련된 H-X 사업, 일본의 차세대 전투기 공동 개발계획인 FSX 사업에 대한 미국의 기술이전 규제 움직임, 한국기계연구소(이하 KIMM)내에 항공우주센터와 같은 부설연구기관 설립등 많은 항공관련 사업들의 향방이 여러 나라와 각 기관들 사이의 이해관계에 얽힌 채, 그 귀추가 주목되고 있다. 항공산업이 이렇게 관심을 모으는 이유중의 하나는 첨단기술들의 종합집결체, 어느 산업보다 높은 고부가가치성, 자주국방으로의 전략산업, 한 나라의 대외위신 척도등 항공산업만이 가진 특수성에 기인하는 것이라 하겠다. 이러한 항공산업의 발전면에서 국내여건은 아주 좋은 기회를 맞고 있다. 군용기와 민항기의 정비부터 시작하여 국내 항공산업은 制空號事業등 군용기 관련 사업등을 통해 기체 및 엔진의 조립, 부품가공기술등을 국내에 정착시켰고, 근래에 들어 여러회사들의 경쟁적인 투자속에 F-X 및 H-X사업은 국내 항공산업 발전의 분수령이 될 것으로 판단되고 있다. 이러한 배경에는 통상 군용기 구입에 따라 50% 이상의 折衝교역(Offset Program)이 이루어져 항공기부품 등을 역수출하는 것이 국제적인 관례로 되어 있고, 이러한 정부사업을 떠나서도 미국등 항공산업의 선진국은 자국의 높은 임금등으로 인해 부품등을 우리나라와 같이 비교적 기술력이 있고 상대적으로 임금이 저렴한 외국으로부터 조달받는 것이 실리적이라는 이유에서 국

내의 항공산업은 필연적으로 확대될 것이다.

그러나 자동차, 선박, 전자등 다른 산업에서 우위를 이미 잃은 미국등 항공산업 선진국들이 자국의 항공산업 종주국의 위치를 절대로 잃지 않으려 하는 것은 너무나 당연하다고 하겠다. 즉 부품가공이나 단순조립등 상대적으로 인건비가 많이 차지하는 부분은 외국에 주어도, 설계기술, 항공전자(Avionics), 재료기술등의 핵심기술들은 기술적인 우위를 잃지 않기 위해 대외기술유출을 적극 통제하고 있다. 한국은 기술적인 면에서 너무 초보적이라 미국의 기술이전 통제가 심할 것으로 판단되지는 않지만, 상대적으로 기술 격차가 적은 일본에 대해 미국 의회나 상무성이 FSX 계획 등의 기술 유출가능성을 우려하는 것은 어떻게 보면 당연하다고 하겠다.

항공산업은 항공기 및 엔진의 설계에서 시작하여, 재료, 부품설계 및 기계가공, 항공전자등 여러 기술이 집적된 종합산업이다. 앞서 언급한 항공산업의 특성을 고려할 때, 한국이 명실상부한 기술선진국이 되기 위하여는 항공산업의 여러 분야의 기술이 균형있게 정착하여 설계부터 제작까지 완전국산화된 항공기를 오랜 시일이 걸리더라도 만들어야 함은 분명하다고 하겠다. 制空號事業등 그 동안의 경험을 토대로 국내 항공산업은 조립과 부품가공 및 後處理에 관한 기술축적은 어느 정도 정착되었다. 현재 항공산업에 참여하고 있는 업체나 앞으로의 참여계획을 확정된 업체도 모두 이 범주에 속하고 있다. 따라서, 이 단계에서 항공산업의 균형있는 구조개선을 통해 질적인 발전을 도모하기 위해서는 鑄鍛品, 壓出品등 半製品을 수입하여 기계가공하는 현재의 단계를 벗어나, 半製品과 소재를 국산화하는 재료기술이 국내 항공산업에 정착하여야 할 것이다. 이는 항공기 부품산업의 질적인 활성화를 위해서도 필연적으로 요청되고 있다. 이와 같은 항공기용 재료에 관한 규격은 AMS(Aerospace Material Specification : 항공재료규격)로 별도 명시되어 있는데, 항공기가 요구하는 고도의 안정성때문에 요구하는 규격이 매우 엄격하고, 까다롭다. 이는 바꾸어 말하면, 항공재료기술의 타소재산업에의

파급효과가 큼을 의미한다. 즉, 엄격한 규격의 재료기술이 정착되면 덜 엄격한 분야의 재료기술은 이미 개발되었다고 보아도 무방할 것이다. 또한 재료를 크게 구조재료와 기능재료로 분류할 때, 항공재료는 구조재료가 지향하는 첨단기술의 총집합체로 구조재료 연구의 최종 목표라고 할 수 있다. 항공재료기술의 또 다른 특징은 항공전자나 항공기 설계기술과 마찬가지로 기술개발이 용이하지 않고 개발후의 상업성이 불투명하여 국가적인 지원이 없이 산업체에서의 단독 개발은 매우 어려운 점이다. 즉 연구개발 초기에는 국가출연연구소 등을 활용하여 국가주도로 연구개발을 수행하다가 기업이 관심을 표하고 투자를 하려 할 때 기업에 기술이전을 하면서 실용화를 도모해야 할 것이다.

필자는 귀국후 6년 이상 항공기 엔진의 핵심 부품인 터빈브레이드(Turbine Blade) 제조기술을 연구개발하면서, 기술개발 자체보다도 품질인증, 물량 확보등 실용화가 훨씬 더 어렵다는 것을 절실하게 체험하였다. 이러한 과정에서 국방부, 상공부등 관련 정부기관과 산업체등 국내 항공산업의 움직임을 파악할 수 있었고, 기회가 되는 대로 항공산업의 질적인 발전을 위해 재료기술의 중요성을 주장하고 인지하도록 노력해 왔다.

또한 KIMM 창원본所는 1988년 부터 특정연구사업으로 항공기관련 재료기술을 여러 분야에 걸쳐 연구개발하고 있으며 항공산업체가 창원지역에 모여 있는 점을 활용하여 산업체와 긴밀한 접촉을 갖는등, 앞으로 항공기 부품과 재료등 제작 및 재료기술을 중점적으로 연구 개발하려 하고 있다. 본 소고에서는 항공재료기술의 특징 및 내용, 국내의 현황 및 기술개발전략에 대해 의견을 제시하려 하며, 앞으로 국내 항공재료 기술개발과 실용화에 조금이라도 도움이 되었으면 한다.

II. 항공재료기술의 특징과 중요성

항공재료라 함은 타이어부터 시작하여 전자부품, 의자 등에 이르는 여러 재료를 포함할 수 있겠으나, 여기서는 荷重, 高温, 부식등 가혹한 분위기 등에

견딜 수 있는 구조용 재료에 국한한다. 흔히 재료와 소재는 용어상 혼동되어 불분명하게 사용되는 경우가 있는데 여기서 항공소재라 하지 않고 항공재료로 명칭하는 이유는 다음과 같다. 즉, 소재는 화학조성만 맞춘 Ingot과 같은 원재료로, 재료는 소재부터 鑄造, 鍛造 등 成形을 거쳐 열처리, 표면처리, 용접 등의 후처리에 이르는 재료공학(Materials Engineering) 영역내의 넓은 의미로 정의할 수 있기 때문이다.

구조재료기술의 최첨단기술이라고 할 수 있는 항공재료기술의 특징은 다음과 같다. 첫째, 항공기의 특성에 의해 요구되는 초경량, 초내열, 고강도, 내부식성 등에 의한 고성능 재료기술임. 둘째, 항공산업의 총체적 부가가치를 제고시킴. 셋째, 미래지향형 전략기술. 넷째, 기술집약 산업으로 타 재료분야에의 기술 파급효과 지대. 다섯째, 국가의 정책적 지원이 필수인 기술분야로 특징지을 수 있다.

그림 1은 제트 엔진용 Compressor Disk(소재: Ti-6Al-4V)의 공정단계를 보여 주는 것으로

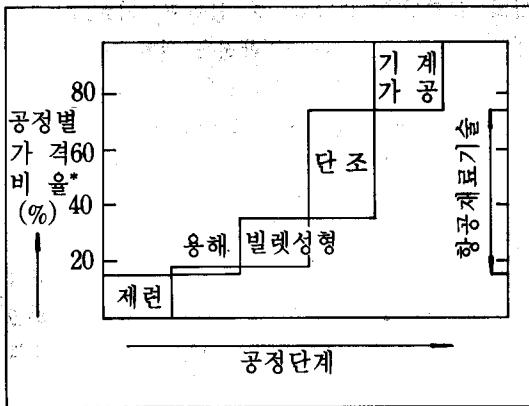


그림.1) 항공기 엔진용 Compressor Disk 제조공정별 가격대비(1988 미국시장기준)

최종 부품가격에 대한 각 공정별 가격 비율을 나타내고 있다. 각 공정을 불배, 진공재아크법에 의한 용해부터, 빌렛(Billet)成形, 단조까지의 공정이 항공재료의 기술영역이라 할 수 있으며 전체 가격에 대한 재료기술의 高附加價值性을 잘 보여주고 있다.

항공재료기술의 분류는 여러가지가 가능하다. 우선, 가법고도 강도가 우수하며 초음속기에서는 공기와의 마찰때문에 내열성이 요구되는 機體재료, 고온 강도가 가장 중요한 엔진재료, Landing Gear 등 고강도가 요구되는 補機材料 등 항공기의 기능상 분류가 있겠다. 또한, 재료종류에 의해 Al합금, Ti합금, 초내열합금(Ni基, Co基, Fe-Ni基), 특수강, 복합재료 등으로 분류할 수 있다. 다음은 이 두 분류방법을 혼합하여 항공기의 주요 구성 요소의 여러 재료 발달의 흐름을 보여 주고자 한다.

그림 2는 戰鬪機의 기체를 구성하고 있는 여러 재료의 구성비율이 변화하는 추이를 보여주는 것으로서 주로 Al합금이 장기간 항공기의 기체 재료로 사용되어 왔으며, 최근 Ti합금이나 복합재료 기술의 급진적인 발달로 그 구성비율이 감소하는 추세를 보이고 있기는 하나 특별히 고속, 고성능이 요구되는 군용기를 제외하고는 계속 항공기 기체재료의 주류를 이룰 것이라 예상된다. Al합금으로는 2×××계와 7×××계가 가장 많이 쓰이고 있고 Al-Li합금이 일부 실용화되기 시작하고 있으며 Ti합금은 Ti-6Al-4V가 거의 대부분을 차지하고 있다.

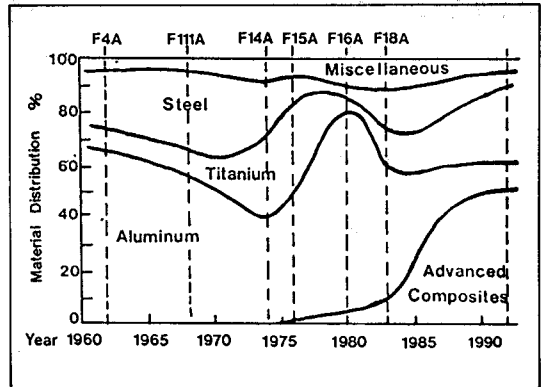


그림. 2) 機體材料 구성비율 변화 추이¹⁾

그림 3은 제트엔진 구성재료의 변화추이를 보여주는 것으로서 현재까지 Ni基 초내열합금이 가장 많이 쓰이고 있으며, 앞으로도 이 추세는 계속될 전망이다. 한편 엔진의 무게를 감소시키려는 노력의 일환으로 Ti합금이나 복합재료의

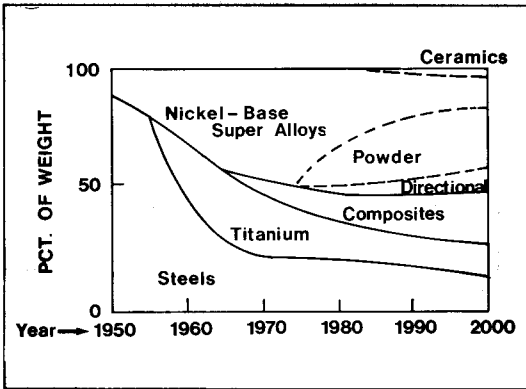
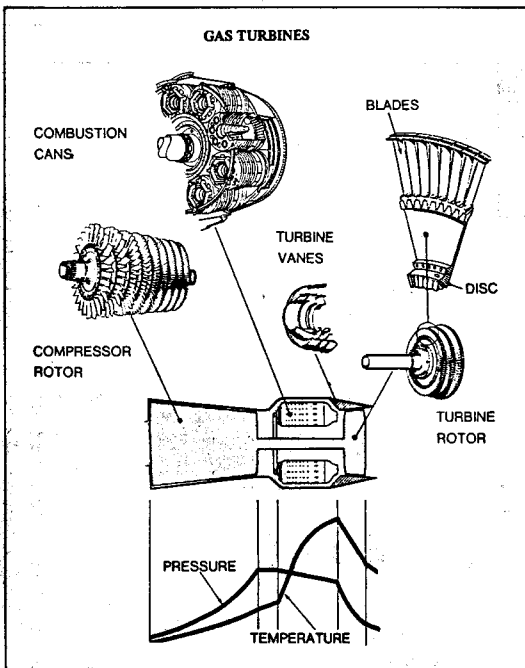


그림. 3) 엔진재료 구성 비율 변화 추이²⁾

사용량이 점차 증가하는 경향이 있으며, 鋼材는 초기에는 가장 많은 부분을 차지하다가 점점 줄어들고 있다.

가스 터빈 엔진의 구조는 크게 보아 그림 4와 같이 압축기(Compressor), 연소기(Combustor) 및 터빈(Turbine)의 세 부분으로 구분할 수 있는데 각기 작동되는 온도가 크게 차이나고 있어 각 부분마다 사용되고 있는 재료 또한 차이가 있다.

그림. 4) 가스 터빈 엔진의 개략적인 구조³⁾



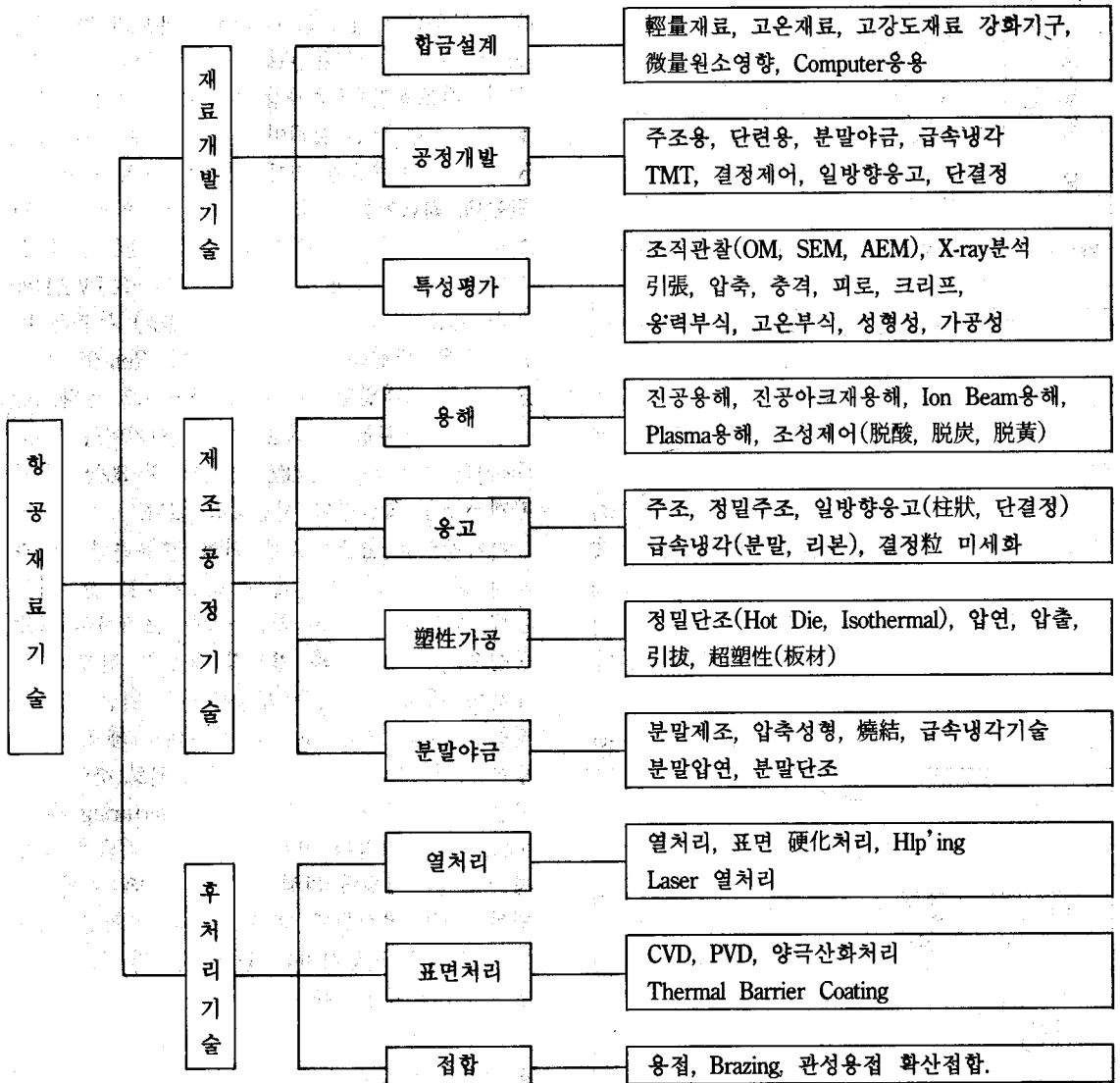
Compressor부분은 작동온도가 낮아서 Ti-6Al-4V이나 Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo 등의 Ti합금이 주로 사용되고 있고 Combustor는 온도가 높아 Hastelloy X 같은 단련용 Ni基 초내열합금이 사용되고 있다. 제트엔진에서 가장 온도와 용력의 조합이 많이 걸리는 터빈 브레이드는 B-1900, Alloy 713, René80 등의 주조용 초내열합금이 주로 사용되어 왔는데 최근에는 더욱 고온특성이 향상된 일방향용 합금으로 MM247, CM247 LC 등이 있으며, 단결정 제조용 합금으로 CMSX-3, PWA1480 등의 합금이 있다. 터빈 디스크(Disk) 부분은 IN 718 같은 단련용 超耐熱合金이나 René95 등의 분말야금 초내열합금이 많이 사용되고 있다.

한편 補機부품의 대표적인 랜딩기어(Landing Gear)의 재료로는 4340M, 4330M 및 300M 등의 기계구조용 합금강이 사용되고 있다.

마지막으로 요소기술에 의해 분류하면 표1과 같다. 즉, 항공재료기술을 크게 3가지로 분류하였는데, 재료개발기술은 합금설계를 포함하여 試片 중심으로 미세조직과 기계적 특성의 관계를 연구하여 새로운 재료를 개발하거나, 기존 재료의 성능을 향상시키는 것이다. 두번째의 제조공정기술은 첫번째에서 개발된 재료를 모체로 하여 실제 부품으로 제작하는 공정기술(Manufacturing Technology)을 의미한다. 세번째의 후처리기술은 두번째 제조공정기술에 의해 제작된 부품의 미세조직 제어, 산화, 부식 등에 대한 보호피막 형성, 서로 다른 조직을 접합시키는 등의 열처리, 표면처리, 접합기술을 포함한다.

앞에서 언급하였듯이 항공재료기술은 구조재료의 첨단기술이고 항공기자체의 핵심 제조기술이므로 그 파급효과가 매우 크다. 우선 경제적인 면에서의 파급효과를 보면, 현재 半製品을 수입하여 기계가공하는 국내 항공산업의 구조를 개선시키고 부품의 완전 국산화를 달성시킴으로 수입대체는 물론 수출까지 유도할 수 있다. 또한 유사시에 외국에서 半製品을 도입할 필요없이 자체 조달을 통해 군수지원이 가능하여 전략적인 효과가 매우 크다고 하겠다. 그리고, 부품제조의 부가가치를 훨씬 높여 주어 항공산업의 경쟁력을

표.1) 항공재료기술 계통도



배양하고 항공산업이외의 소재산업, 부품산업, 산업용 가스 터빈등 타산업에 미치는 파급효과도 엄청나다. 기술적인 파급효과는 무엇 보다도 구조재료의 첨단기술을 습득함으로써 이 분야의 신소재기술을 국내에 정착시키는 것이다. 또한 항공기 제작의 국산화에 있어서 핵심제조기술을 뿌리내려 국내 항공기 제조기술을 항공기술 선진국 수준으로 올리는데 있다. 그리고 다른 재료

산업의 기술 수준을 향상시키는 결정적인 역할을 하고, 국내 자동차, 발전설비, 선박등 타산업의 기술자립효과를 갖게 한다.

III. 선진국의 기술동향

항공산업에 있어 국가별로 기술수준을 비교하면, 미국을 항공기술 종주국으로 표현함으로써 다른

국가들에 비해 단연 우위에 있음을 나타내고 있다. 그 다음으로 영국, 프랑스, 일본, 독일, 중국 순서로 국가들이 항공기술 선진국으로 들어간다. 항공재료기술분야도 위의 추세와 마찬가지로이다. 위 국가들의 항공기관련 기술의 연구개발체제를 보면 모두 정부의 강력하고 지속적인 지원에 의해 이루어진다. 그리고 대부분의 국가들이 전략적인 이유때문에 군용기 관련 기술개발에 정부가 지원을 하고 있다. 그러나 군용이건 민항기이건 항공기관련 요소기술은 마찬가지로이므로 군용기목적으로 개발한 기술은 민항기용으로 그대로 적용이 된다. 또한 이렇게 개발된 기술이 경제성이 충족될 때 항공이외의 산업분야에도 적용이 된다. 제트 엔진용 초내열합금기술, Ti합금기술, 탄소섬유복합재료등이 대표적인 예로써 항공기용으로 개발되었다가 산업용 Gas Turbine, 스포츠 용품 등으로 활용되고 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 항공기에서 원자재가 차지하는 원가는 상대적으로 매우 낮기 때문에 항공기용으로의 새로운 재료를 개발하거나 기존재료의 특성을 향상시키고자 할 때에는 원자재와 공정에 소요되는 가격상승요인은 성능향상에 비해 상대적으로 그 비중이 훨씬 작다. 이것이 항공기술의 연구개발에는 부단없이 많은 연구개발비가 투입되는 이유중의 하나이다.

미국의 경우를 볼 때 항공기관련 기술개발은 NASA(미국 항공우주국 : National Aeronautics and Space Administration)연구소와 AFWAL(미국공군연구소 : Air Force Wright Aeronautical Laboratory)을 통해 이루어진다. 위 두개의 국립연구소는 동체설계(Aerodynamics), 추진체(Propulsion), 항공전자(Avionics), 재료(Materials), 생산기술(Manufacturing Technology)등으로 나뉘어 있는데, 재료분야는 Ohio주의 Cleveland시에 있는 NASA Rewis Research Center와 Ohio주 Wright-Patterson공군기지의 AFML(Air Force Materials Laboratory)에서 연구개발이 수행되고 있다. 이 두 기관은 상급정부기관으로 부터 연구개발비를 받아 관련 항공산업체, 연구기관, 대학들에 나누어 주고 자체 내에서도 연구개발을 수행하며 총괄 연구개발책임을 갖는다. 이곳에서 집행하는 연구비는 막대

하여, 미국의 항공기 엔진회사의 하나인 Pratt & Whitney Aircraft의 경우 연간 연구개발비는 1988년을 기준하여 약 10억불로 이 예산의 60%가 NASA와 AFWAL에서 나온다. 이 회사의 경우 재료분야 연구개발비는 전체 예산의 약 반으로(약 5억불), 이와 같은 예를 볼 때 미국의 항공우주 관련 국가연구소들이 얼마나 많은 연구개발비를, 특히 재료분야에, 집행하는지 짐작할 수 있겠다.

위와 같은 미국의 연구개발체제에서 産·學·研은 각기 맡은 역할이 달라 제품과 관련된 공·程·개·발은 산업체에서 수행된다. 대학은 국가연구기관이나 산업체에서 유도된 단편적이고 기초적인 연구과제를 수행한다. 국가연구기관은 항공기의 성능을 개선시킬 새로운 재료의 연구개발을 수행하는데, 통상 실용화까지는 최소 10년이 소요되며 수행되는 과제의 수에 비해 실용화되는 과제수는 매우 적다. 실용화되지 않는 과제라 할지라도 나름대로 의미는 많아 논문 등의 학술적인 성과와 차기 연구개발과제를 계획하고 수행하는데 좋은 참고자료로 활용된다.

이러한 연구개발체제에서 많은 신소재⁴⁾가 개발되었고 또한 현재도 연구개발이 진행되고 있다. 항공기 胴體재료에서는 Al-Li합금과 Ti합금의 새로운 재료개발이, 특히 급속냉각법에 의해 제조된 분말로 소재를 만드는 기술과 병행하여 시도되고 있고, Landing Gear재료로 韌性和 疲勞強度가 보다 우수한 고장력강이 개발되고 있다. 제트 엔진의 온도가 가장 높은 부분인 터빈(Turbine)과 연소통(Combustion Chamber)재료로 사용되는 초내열합금(Superalloy)은 전자빔용해(Electron Beam Melting) 등에 의해 더 청정한 모합금을 제조하고, 합금성분의 조절과 T.M.T.(ThermoMechanical Treatment) 처리등 공정개발에 의해 보다 고온강도와 耐蝕 및 내산화성이 우수한 재료의 개발이 시도되고 있다. 그러나 이러한 방법에 의해서는 성능향상의 정도가 제한적이므로 최근에 들어 금속간화합물(Intermetallic Compounds)에 의한, 보다 고온 특성이 우수한 재료개발이 활발히 진행되고 있다. 현재 제일 유망한 금속간화합물중의 하나는 Ti-Aluminide로 여기에 SiC등의 섬유를

보강하여 금속복합재료를 제조하는 것이다. 제트 엔진에서 온도가 약간 낮은 Compressor에 주로 사용되는 Ti-합금은 현재 최고 사용온도인 500~550°C를 훨씬 높여 약 700°C까지 사용할 수 있는 재료개발에 주력하고 있는데 급속냉각법(RST; Rapid Solidification Technology)에 의한 합금설계와 공정개발이 현재의 접근방법이다. Ti합금에 비해 최고 사용온도가 훨씬 낮은 Al합금도 사용온도를 높이기 위한 연구개발이 활발히 추진되고 있는데, 초음속항공기의 胴體재료와 엔진의 Ti합금을 대체하는데 그 목표가 있다. 이와 같은 금속재료외에 탄소섬유강화복합재료(Carbon Fiber Reinforced Plastics)가 胴體재료로 일부 사용되고 있고 사용범위가 증가하는 추세이며, 복합재료에 의한 정밀요업재료를 제트엔진의 터빈부품으로 대체하여 제트엔진의 성능을 높이려는 노력이 진행되고 있으나 아직은 극히 기초적인 단계이고 실용화가 되기에는 앞으로도 많은 연구개발과 시간이 필요하리라 예상된다.

재료 및 제조공정개발의 후처리분야⁵⁾에서는 고온부식이나 산화에 대한 보호피막을 만들기 위한 Plasma법 등의 Thermal Barrier Coating기술과 Ti합금이나 초내열합금들의 접합을 위한 확산접합(Diffusion Bonding)기술이 연구개발되고 있다. 또한 새로운 재료개발이나 손상진단(Failure Analysis)등에 필수적인 피로, 크리프(Creep)등의 기계적 특성평가기술의 연구개발도 지속적으로 수행되고 있다.

미국 다음에는 영국, 프랑스, 독일, 이태리 등의 유럽국가들이 항공산업과 항공재료기술에 있어 활발하게 움직이고 있는데 이들의 능력을 합하면 미국과 거의 대등할 정도이고 실제로 이들은 미국에 대항하는 하나의 공동체적인 성격을 띠고 긴밀한 협조관계를 유지하고 있다. 유럽의 대표적인 항공관련 종합연구소로는 프랑스의 국립항공연구소인 ONERA와 독일의 국립항공연구소인 DLR(DFVLR에서 최근 명칭이 변경되었음)등이 있다. 아시아에서는 일본이 최근에 급격히 부상하고 있으며 재료를 포함한 제작기술은 거의 보유하고 있다. 항공재료에 관한 연구개발도 産·

學·研의 협동체제에서 매우 광범위하고 활발히 수행되고 있으며, 산업체에는 곧 활용될 수 있는 과제를, 국가연구기관과 대학에서는 미래지향적인 과제를 대상으로 하고 있다. 대만은 전략적인 이유에서 지난 7~8년이래로 정부의 강력한 지원하에 부품국산화를 목표로 한 재료기술개발을 추진하여 상당한 수준에 있는 것으로 판단되고 있다. 중국의 항공재료기술에 관해서는 많이 알려져 있지 않으나 학술지 등에서의 발표나 여러 간접적인 자료로 보아 연구개발체제나 요소기술의 축적면에서 일본을 훨씬 앞지르는 수준에 있는 것으로 판단된다. 필자가 작년에 미국의 Superalloy 국제학술회에서 인사한 중국의 한 전문가는 북경에 소재한 국립항공재료연구소의 이 분야책임자로 이미 20~30년 동안 Superalloy를 연구개발하고 있다고 자신을 소개하였다.

외국의 이러한 기술의 수준차이는 앞으로 시간이 갈수록 분명히 줄어들 것이다. 그러나 다른 산업들에 비해서는 줄어드는 속도가 늦을 것이며 엔진의 시스템설계, 첨단 항공전자 기술 및 재료 기술 등은 미국등 선진국에서 절대적인 기술 우위를 확보하기 위하여 자국의 기술보호노력을 게을리 하지 않을 것이다. 이러한 이유로 미국 정부는 제트엔진에서 일방향응고, 단결정주조, 확산접합, RST, HIP, 超塑性, Thermal Barrier Coating 등의 주로 재료기술을 기술이전 통제품목으로 정해놓고 있다. 胴體재료에서도, 예를 들어, Al-Li합금은 실험용이라 할지라도 외국에 팔지 못하게 하고 있다. 결국, 선진국의 항공재료의 기술개발이나 기술이전 통제도 정부의 주도하에 이루어진다는 것이 이 분야의 큰 특성중의 하나인 것이라 하겠다.

IV. 국내 기술개발현황

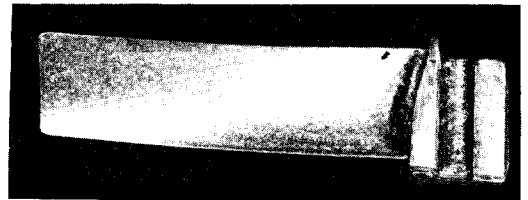
서론에서도 언급하였듯이 국내의 항공재료와 관련된 산업체는 없다고 해도 과언은 아니며, 연구개발의 노력도 극히 미약하다. GNP를 포함한 우리나라의 현재 경제수준, 특히 자동차, 반도체, 항공산업 등을 볼 때 항공산업은 상대적으로 뒤

떨어져 있으며, 우리나라 항공산업의 나아갈 방향으로 인식되고 있는 부품산업의 핵심부분인 항공재료분야는 거의 황무지라 할 수 있겠다. 이의 이유는 여러가지가 있겠으나 정부의 이 분야에 대한 무관심이 가장 크다고 하겠다. 물론 정부의 무관심은 이 분야와 관련될 수 있는 과학 기술자들의 노력이 적었던 것과 可視性이 별로 없는 재료산업의 특성에도 기인한다고 하겠다.

항공재료라 하여 타산업용 재료와 본질적으로 다른 것은 아니기 때문에, 항공재료에 비해 상대적으로 훨씬 활성화된 일반재료의 축적된 기술이 항공재료에 미치는 영향은 적지 않다고 하겠다. 이러한 면에서 볼 때, 아직 항공기용으로 사용될 수는 없지만 국내에서 지난 10여년이상 산업화된 高力 Al합금이나 특수강 등은 시설보강과 기술개발등을 통해 AMS(Aerospace Material Specification)규격 등을 만족시킬 수 있을 것이다. 이에 비해 Ti합금과 초내열합금은 기본시설과 기술개발실적등이 모두 미약하다. 특히 국내항공산업의 현황을 고려할 때 母합금이나 Billet 등의 기초소재는 수입하여 주조나 鍛造 등을 통한 成形工程과 표면처리 등의 후처리공정개발이 우선적으로 요구되기 때문에 KIMM 창원 본소에서는 이 분야의 연구개발을 적극적으로 수행하고 있다. 연구의 방향은, 국내 항공산업체 등으로 부터 관련 규격과 도면등을 입수하여 이를 토대로 개발하는 구체적인 개발품목을 목표로 하고 있다.

KIMM에서 이 분야의 모델품목으로 선정하여 지난 6년전부터 연구개발하고 있는 품목은 주조용 Ni기 초내열합금으로 제트엔진의 터빈브레이드⁶⁾나 소형 제트엔진의 일체형터빈로터(Integral Turbine Rotor)⁷⁾등에 사용된다. 이 부품들은 제트엔진에서 온도와 應力の 조합이 가장 높고 고온부식 및 산화분위기에서 사용되므로 가장 핵심부품중의 하나이고 소모성이 높아 주기적으로 교체시켜야 하는 경제성이 높은 품목이다. 이 부품제조의 핵심공정기술은 진공정밀주조기술로 일체형터빈로터는 다결정법에 의하며, 터빈 브레이드는 다결정법과 함께 柱狀조직과 단결정조직을 얻는 보다 첨단기술인 일방향응고법에 의해 제조된다. 그림

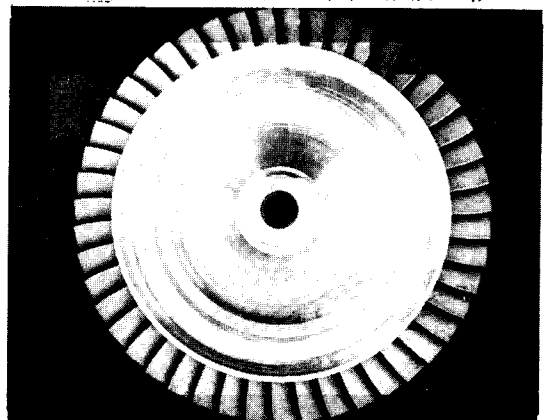
5의 ㄱ)ㄴ)ㄷ)은 각기 KIMM에서 개발된 '다결정 터빈 브레이드, 일방향응고 터빈 브레이드(柱狀조직), 일체형터빈로터를 보여 준다. 자세한 내용은 참고문헌⁸⁾을 통해 알 수 있다. 또한 5년전 부터는 프랑스 국방성산하 국립항공연구소인 ONERA와 최근에 개발된 일방향응고 초내열합금인 CM247 LC 합금의 고온특성에 관한 국제공동연구를 수행하고 있다.⁹⁾



ㄱ) 다결정 터빈브레이드,



ㄴ) 일방향응고 터빈브레이드(柱狀조직)



ㄷ) 일체형터빈로터

그림. 5) KIMM에서 개발한 제트엔진용 초내열합금 정밀주조품¹⁾

1988년 부터는 KIMM에서 특정연구사업에 의해 항공재료개발을 본격적으로 시작하여 상기 구조용 초구조재료외에 Landing Gear용 고장력鋼, Al 구조품, Al-Li재료, Transmission Shaft용 복합재료, Thermal Barrier Coating 工程, Al판재의 Adhesive Bonding기술 등의 연구개발을 수행하고 있다. 또한 기업주도 특정연구사업으로 VAR(Vacuum Arc Remelting; 진공아크 재용해)에 의한 鍛鍊用 초내열 합금 공정을 개발하고 있으며 미래 제트엔진재료로 유력하게 부상되고 있는 금속간화합물의 기초연구도 수행하고 있다.

위에 언급한 KIMM의 항공재료기술개발이 국내의 모든 연구개발을 대표하는 현실에서, 항공산업체들이 모여 있는 창원지역에 위치한 KIMM 창원 본소는 항공기 제작기술, 특히 항공재료 연구개발의 구심적인 역할을 담당하려고 적극 추진하고 있다. 표2는 1989년 부터 다시 계획하여 특정연구의 중점추진과제로 수행하고 있는 항공재료의 세부연구추진계획이다. 복합재료는 별도의 중점과제로 선정되어 역시 KIMM 창원본소 주도로 수행되고 있기에 이 표2에는 넣지 않았다. 이 연구계획은 3단계로 나뉘어 있는데 그 개념은 그림 6에 나타내었다. 즉, 1단계는 국내의 항공산업구조와 항공재료관련 생산활동이 없음을 토대로 하여 구조, 鍛造, 압출등 成形 및 가공기술을 먼저 개발하여 반제품을 위주로 한 실용화를 유도하는 것이다. 모합금부터 국내생산을 시작하면 반제품의 成形기술개발 및 실용화까지 많은 시간이 소요될 것이며, 국내의 모합금등 기초소재의 소비량이 많지 않고, 기술개발이 어려우며, 미국 등으로부터 품질인증이 까다롭기 때문에 전략적인 면에서 반제품공정을 먼저 실용화하여 국내의 기존 항공산업체에서 기계가공 및 조립에 응용하고 수출을 유도하는 것이 효과적이라 판단된다. 물론, 항공기재료의 여러 분야에서 재료개발에 관한 기초연구도 1단계에서 수행하겠으나, 이의 본격적인 연구개발은 2단계에서 실시하려고 계획하고 있다. 또한 1단계에서 착수하지 못하였거나 미비한 成形 및 가공기술도 2단계에서 보완하여 개발하여야 할 것이다. 이와 같이 1, 2단계를 거치며

국내의 항공재료산업이 활성화되면, 보다 고성능의 새로운 합금과 공정기술의 개발연구가 3단계에서 수행되어 미국등 항공선진국과 대등한 위치에서 연구개발이 활발하게 이루어질 것이다.

V. 기술개발전략

국내의 항공재료기술개발이 시급함은 서론을 비롯하여 앞에서 충분히 기술하였다. 본 章에서는 국내의 항공재료기술개발에 있어서 개발전략과 추진 체계를 앞에서 일부 언급된 내용을 포함하여 정리하고자 한다.

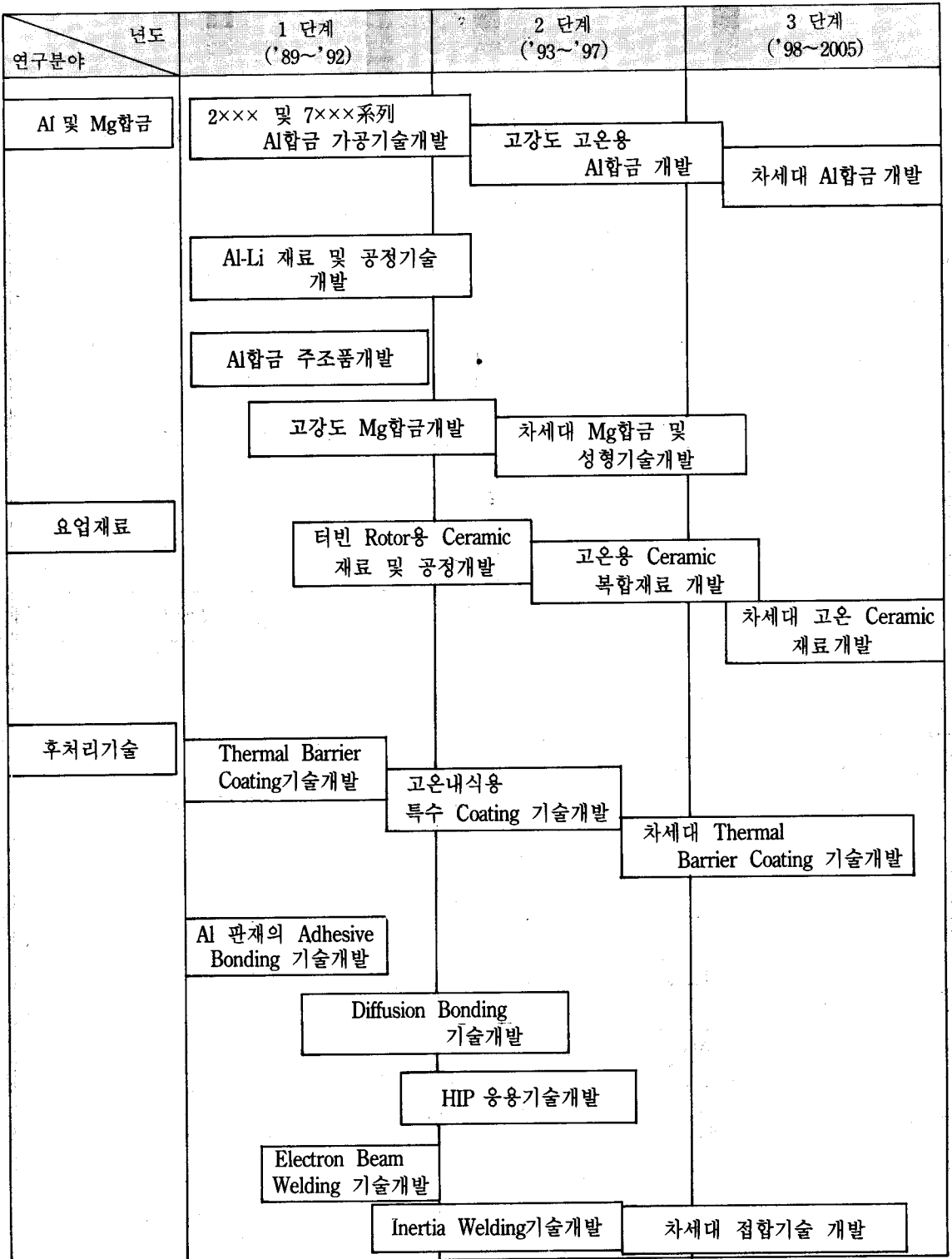
항공재료의 기술개발전략을 한마디로 표현한다면, 정부의 주도적이고 지속적인 노력이 있어야 함이다. 이에 관한 타당성은, 앞에서 기술한 대로 선진국의 예가 모두 그러하며, 국내의 항공산업이 본격적으로 시작된 지 10년이 훨씬 넘었고 근래 들어 여러 기업체들이 많은 투자를 하고 있으나 재료분야만은 전혀 개발 및 산업의 업두를 못내는 것에서도 그 이유를 찾을 수 있다고 하겠다. 이러한 면에서 정부의 지속적인 연구개발지원은 당연하겠으며 이를 추진하는 중점적인 정부기관이 있어야 하겠다. 여기서 말하는 정부기관이라 함은 행정적인 면에서가 아니고 미국의 NASA연구소나 공군재료연구소(AFML)같이 범국가적인 연구개발 체계의 중심적인 역할을 갖는 전문국가연구기관을 의미한다.

항공재료의 전문연구기관과 관련산업체도 거의 없는 국내현황에서 KIMM 창원본소는 그 동안의 제한된 연구개발경험과 대정부 협조관계를 토대로 이 분야의 구심적인 역할을 하려고 적극 추진하고 있다. 이러한 면에서 그림 7은 항공재료 연구개발추진체계를 보여준다. 즉, 정부로부터 연구개발비를 지원받아 KIMM은 대학과 공동으로 연구개발을 수행한다.

이때, 곧 설립예정인 항공우주연구소와 국방과학연구소의 시스템 설계기능과 긴밀한 협조관계가 필수적이며, 응용연구에서는 관련 산업체와 공동 개발도 병행될 것이다. 이렇게 개발된 기술은 상공부와 국방부의 지원하에 산업체에 이전되고

표. 2) 항공재료 세부연구추진계획

연도 연구분야	1 단계 ('89~'92)	2 단계 ('93~'97)	3 단계 ('98~ 2005)
Ti합금	Compressor Disk 단조품 개발	Compressor Blade 단조품 개발	
		Ti합금 초소성 성형 기술개발	
		VAR 공정에 의한 단련용 Ti합금개발	
		Ti합금 정밀주조 기술 개발	
		고온용 Ti합금개발	차세대 Ti합금개발
초내열합금	일방향응고 터빈 브레이드 개발	단결정 터빈 브레이드 공정 및 합금개발	차세대 초내열합금 개발
	터빈 디스크 단조품개발	초소성단조기술개발	
	단련용 초내열합금개발	초소성 단련용 초내열합금개발	
	Aluminide系 金屬間 화합물 개발	신 金屬間 化合物재료및 정밀 성형기술개발	
특수강	Landing Gear용 단조품및 고장력강 개발	3.5GPa급 고장력강 개발	차세대 Landing Gear용 초장력강 개발



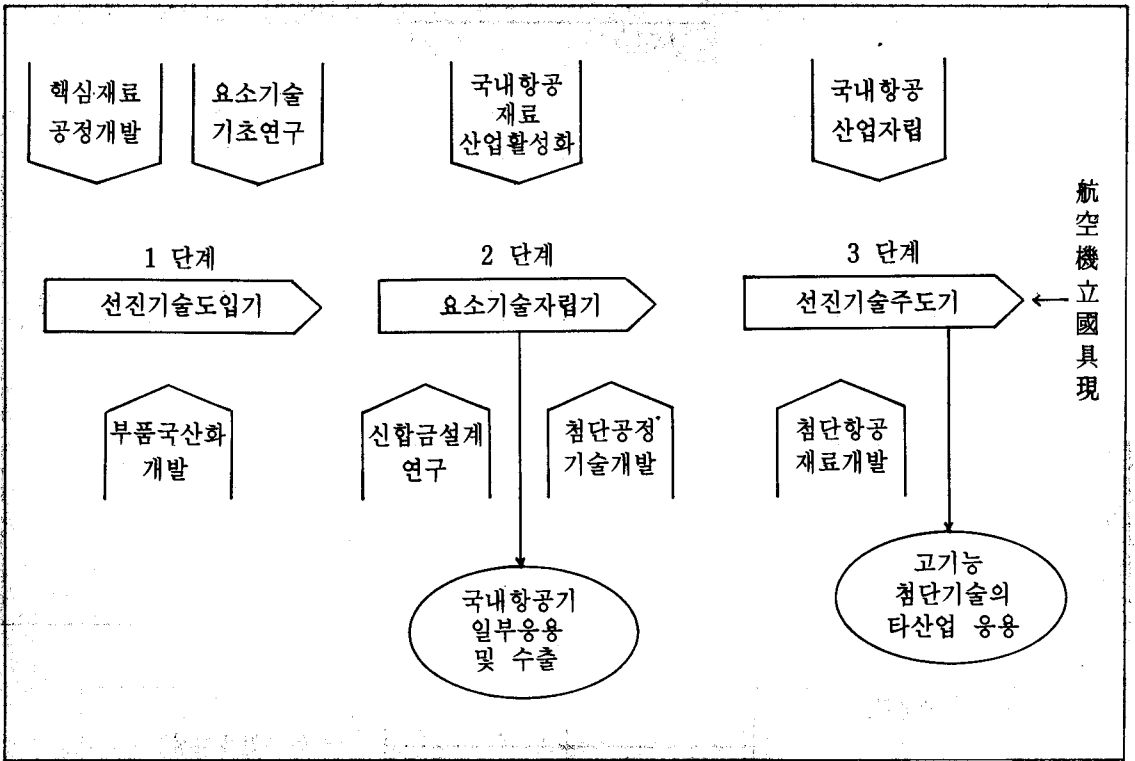


그림. 6) 단계별 연구추진계획

실용화된다. 특히 외국으로부터 구입하는 항공기 등에 부과하는 절충교역(Offset Program)을 활용하여 기술이전, 품질인증, 수출물량확보 등을 이루는 것은 국내항공재료산업의 활성화를 효과적으로 이룩하는 필수요건이다.

기술개발단계는 앞절의 'KIMM의 연구개발계획'에서 기술한대로 기초소재 보다는 주조, 단조, 압출등 반제품의 성형 및 가공기술을 먼저 개발하여, 이와 관련된 산업체들로 하여금 생산을 유도시키는 것에 우선적으로 초점을 맞추는 것이다. 일단 기업에서 이 분야의 생산활동을 하면 정부의 연구개발방향은 기초소재의 연구개발을 통하여 실용화를 유도하고, 물론 기초소재의 실용화는 국내의 소비량과 수출 가능성 등 투자에 대한 물량확보, 즉 경제성이 가장 큰 관건으로 일부 품목을 제외하고는 상당한 기간이 소요되리라 예상된다. 그리고 보다 성능이 우수한 항공기용 신소재개발을 통해 항공선진국들과 동등한 기술

수준을 확보하는데에 궁극적인 목표를 두어야 할 것이다. 이러한 항공재료 기술개발전략의 가장 중요한 요소는 정부의 지속적이고 강력한 지원과 産·學·研이 각기 맡은 역할을 공동협조체제 안에서 효율적으로 수행하는데에 있다고 하겠다. 특히 국가연구기관과 대학은 현재 거의 全無인 국내 항공재료산업체를 육성하는 '초기단계'와 산업체의 제조공정과 다른 미래기술을 연구개발하는 '후기단계'의 뚜렷하게 다른 역할이 있어야 함을 인식하여야 할 것이다.

VI. 결 론

앞에서 국내항공산업의 현황과 구조분석을 통하여 항공재료기술의 연구개발과 관련산업체의 육성이 시급히 요청되고 있음을 피력하였다. 특히 수 년 전부터 '신소재'라는 용어의 등장과 함께 부각되기 시작한 재료기술 연구개발의 필요성과

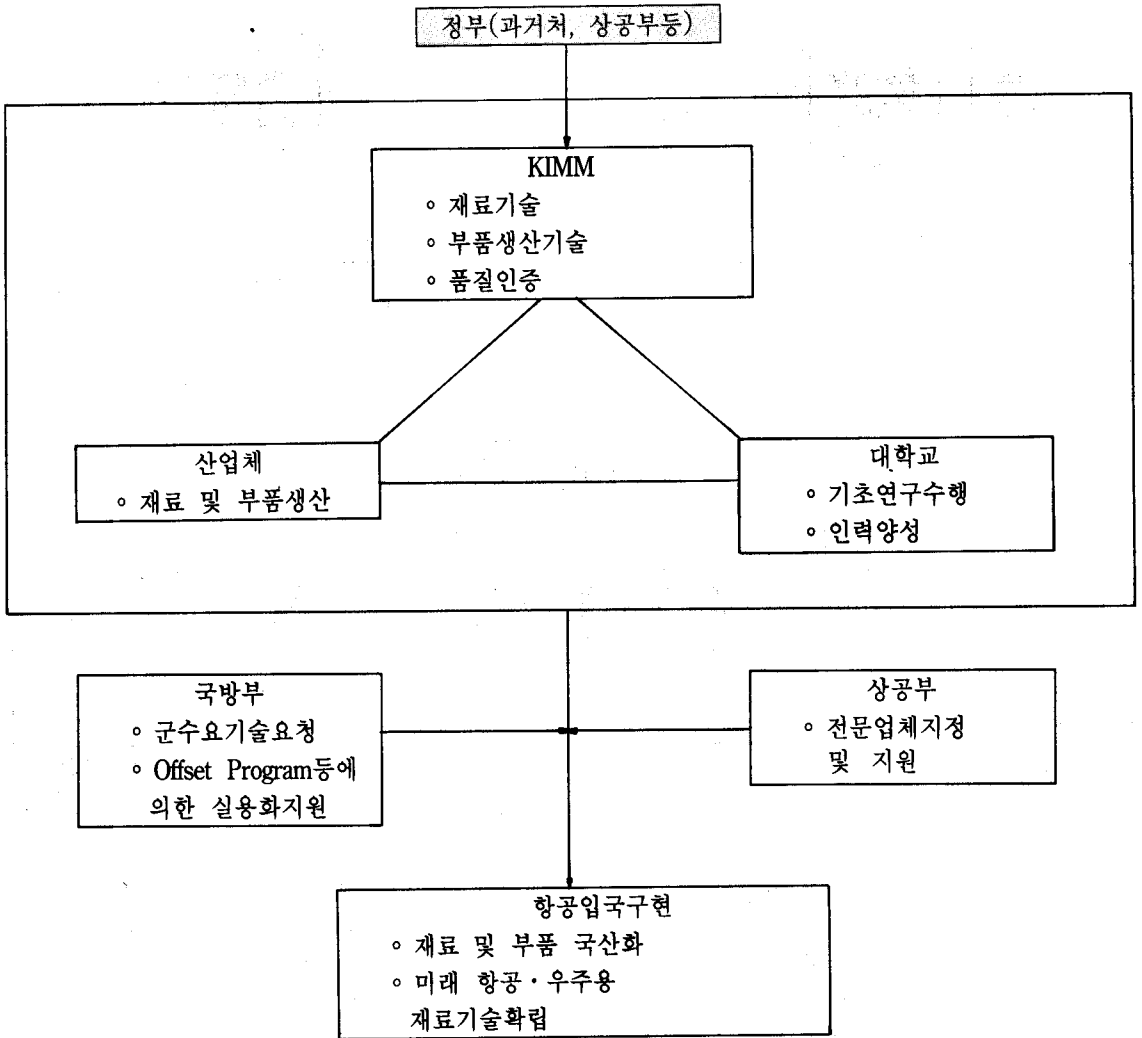


그림. 7) 국내 항공재료 연구개발추진체계

F-X, H-X사업등 특수사업과 한국이 미국의 유명한 항공기 부품기지로 부상되면서 항공산업의 급격한 발달이 눈에 보이는 현실에서, 이 두 가지, 즉, '신소재'와 '항공산업'이 접목된 '항공재료기술'의 중요성은 더 이상 강조할 필요가 없을 것이다.

이러한 시대적인 배경에서 조립과 부품가공 위주의 국내 항공산업체가 모여 있는 창원지역에 위치한 KIMM 창원 본소는 그 동안의 연구개발과

항공산업 관련 정부기관과의 협조체제를 통한 경험을 토대로 항공재료 연구개발체제의 구심적 역할을 수행하려고 계획하고 있다. 이러한 노력의 결실은 정부의 강력하고 지속적인 지원과 産·學·研의 협조체제 구축에 달려 있다고 믿으며, 본 小考가 국내 항공재료 연구개발의 기반정착에 조금이나마 보탬이 되기를 바란다.

[참 고 문 헌]

- 1) 한국기계연구소 연구보고서, BSG075-420·C, 제3부, “항공기 부품 소재의 국산화 개발 유도를 위한 조사 연구,” 김학민, 1984.
- 2) 한국항공기술연구소 연구보고서 (주)대한항공, KIAT RR-79-010, 제3장, 1979.
- 3) R.W. Fawley : *The Superalloys*, C.T. Sims and W.C. Hagel(Ed.), John Wiley & Sons, N.Y.(1972) p.3
- 4) G.S. Hoppin III, and W.P. Danesi : *Superalloys II*, C.T. Sims, N.S. Stoloff and W.C. Hagel(Ed.), John Wiley & Sons, N.Y.(1987)p.549
- 5) *Superalloys Sourcebook*, ASM(Ed.), Section III, Ohio(1984)p.187
- 6) 한국기계연구소 연구보고서, UCN080-940·C, 1987
- 7) 한국기계연구소 연구보고서, BSI 586-1092·C, 1988
- 8) 한국항공산업연구소 논문집, 세종대학교 : “터빈 브레이드 제조공정”, 김학민, 제17집, July(1988) p.89
- 9) 한국기계연구소 연구보고서, UCN 105-979.C, 1987.

