

## 항공우주용 소재 · 부품 개발사업

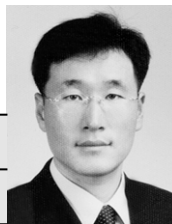


이 용 태  
한국기계연구원

- 재료기술연구소 소장
- 관심분야 : 항공기 소재 · 부품개발
- E-mail : ytleee@kmail.kimm.re.kr

채 재 우

한국기계연구원



- 연구기획팀 선임연구원
- 관심분야 : 소재산업의 기술혁신 및 전략
- E-mail : jaewoo@kmail.kimm.re.kr

### 1. 사업의 개요

항공우주용 소재부품 개발사업(일명 ATEC)은 산업자원부가 지원하는 중기거점기술개발사업으로서 수입의존도가 높고 기술적 파급효과가 큰 항공기 부품 및 소재를 발굴하여 품질인증을 포함한 국산화 개발을 목표로 '99년 12월부터 5개년에 걸쳐 추진되고 있는 사업이다.

항공우주산업은 기계산업 뿐만 아니라 관련산업을 선도하는 고도의 기술 집약형 · 고부가가치 산업으로서 국가방위, 무역수지개선 및 타 산업에 미치는 기술파급효과 등이 큰 국가전략 산업이다. 그 동안 우리나라는 외국 업체로부터의 하청생산과 KT-1 양산 등에 힘입어 항공기의 기체가공 및 조립수준은 선진국 수준에 도달해 있다. 그러나 항공기 국산화에 직접 기여하는 소재 및 부품 산업은 완재기 산업에 선행되어야 함에도 불구하고 우리나라는 선진국 기술수준의 30~40%에 불과하며, 항공기 전체 산업규모의 10%에도 미치지 못하는 실정이다. 즉, 항공기의 핵심 소재 및 부품은 거의 전량 외국으로부터 수입되고 있는 실정이다(평균 수입 의존도 약 88%). 앞으로 국내 항공기 수요는 연평균 30% 이상의 높은 증가를 보일 것으로 전망됨에 따라 항공기용 소재 및 부품의 수입 대체 국산화와 기술 기반 구축이 시급한 실정이다.

이에, 한국기계연구원 재료기술연구소는 국내 항공기 부품소재에 대한 연구개발을 종합적이고 체계적으로 추진하기 위해서 '98년 10월에 항공

기 부품소재 국산화 개발의향서를 산업자원부에 제출하였다. 이후 '99년 2월부터 항공기 소재부품협의회를 통하여 국산화 전략에 대한 산업계의견수렴을 실시하였고, 5월에는 완제기 생산업체를 방문하여 국산화 대상품목을 조사하였다. '99년 6월에는 완제기업체와 소재부품업체가 공동으로 참여하여 국산화 품목 우선 순위를 결정하였다. 이 과정에서 2차례의 공청회('99.06.01, '99.06.24)를 거치면서 산학연관의 의견과 연구개발 의지를 결집하였다. 그 결과, 그림 1과 같이 한국기계연구원 재료기술연구소가 총괄 주관하고 주조·단조·복합재료·코팅기술분야별로 12개 산학연 관련기관이 공동 참여하는 “항공우주용 소재부품 개발사업”을 '99년 12월부터 5년에 걸쳐 산업자원부 중기거점기술개발사업 자금 지원으로 추진하게 되었다.

총 5년의 연구개발 기간 중 1단계('99.12~'02.09)에서는 주조분야·단조분야·복합재료분야, 코팅분야 등 4개 기술분야에서 국산화가 진행되었으며, 2단계('02.10~'04.7)에서는 주조분야·단조분야·복합재료분야 등 3개 기술분야를 중심으로 연구개발이 추진되고 있다.

## 2. 연구개발의 목표와 전략

항공기에 사용되는 부품소재는 그림 2에서 보는 바와 같이 소재(Materials)-부품(Parts)-부분품(Component)-부분조립품(Subassemblies) 등 4개의 계층으로 구분할 수 있다.

본 ATEC 사업에서는 그림 2의 부품에 해당하는 계층의 주조품, 단조품 등을 국산화하는데 초점을 두고 있다. 기술의 관점에서는 용해주조 기술, 소성가공기술, 표면처리기술 등을 사용하여 원소재를 항공기용 부품으로 성형하는 부품개발에 국산화의 범위를 두고 있다. 원소재의 합금 개발은 본 연구사업의 범위에 해당되지 않는다.

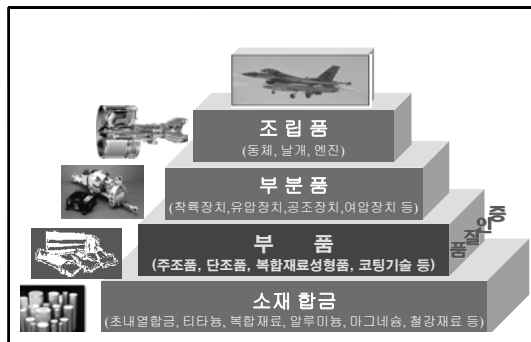


그림 2. 항공기 소재부품 국산화 대상

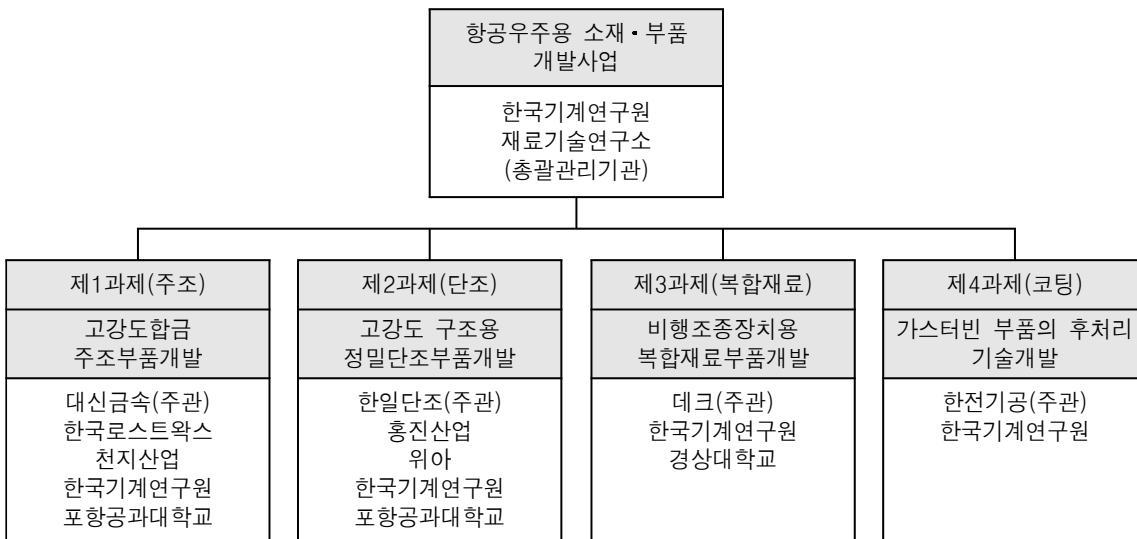


그림 1. 사업 추진체계(사업초기)

표 1. 단계별 국산화 목표 및 내용

국산화 단계	1 단계			2 단계			3 단계		
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
국산화 전략	수입품의 국산화 대체 (Substituted by Domestic)			수출전략 품목의 개발 (Made in Korea)			부품·소재의 설계 (Designed by Korea)		
국산화 기술	애로 요소기술 (Core Technology)			성능향상 기술 (Advanced Technology)			신기술 (New Technology)		
국산화 부품	성형공정 및 부품개발			성형공정 및 부품개발			신합금 부품 개발		
적용 항공기	○KT-1 ○민간 면허생산기종 등			○T-50 등 ○민간 면허생산기종 등			○국제공동개발 ○국내 독자개발기종 등		

주) 본 사업의 연구기간 : 1999 ~ 2003년

국산화 개발의 성공기준은 개발부품이 실제 항공기에 장착 되거나, 조립업체에 납품된 경우로 엄격히 설정하였다.

'99년 연구기획 당시에 수립한 본 사업의 부품 및 소재의 연차별 국산화개발 목표가 3단계(총 9년)에 걸친 장기적인 관점에서 표 1과 같이 수립되었다. 1단계에서는 단기적으로 국내에서 수입되고 있는 핵심부품 및 창정비품을 국산 부품으로 대체하는 것이다. 주로 국내에서 설계되고 제작되는 KT-1 및 T-50기종을 중심으로, 국산개발 항공기에의 적용을 목표로 하였다. 2단계에서는 해외 수출이 가능한 부품 및 소재를 발굴하고, 이를 수출 전략화 하는 목표를 수립하였다. 또한 1단계 국산품의 신뢰성 향상으로 세계시장에 수출이 가능한 부품제조 전략을 병행하였다. 3단계에서는 국내 항공기 개발사업에서 독자적인 부품소재 설계 능력확보와 국제공동항공기 개발사업 참여를 위한 신기술 창출의 단계로 설정하였다.

이와 같이 부품 및 소재의 단계별 개발 전략은 Backward 접근법으로서 부품성형기술확보(국산화대체, 수출전략화)후 원천적인 신소재기술로 접근하는 방법이다. 현재까지 정부로부터 자금 지원을 확정 받은 기간은 '99년부터 '03년(총 5년)이다. 이 기간동안 국산화 실적이 우수하고 산업 발전이 제대로 이루어진다면 '04년부터

터는 기업 및 연구기관의 자체자금으로 연구개발을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

국산화 개발품목은 완제기업체·중간조립업체·소재부품업체·연구소 및 대학을 중심으로 약 1년여간의 연구기획('99년)을 통해서 표 2와 같이 도출되었다. 1단계('99.12~'02.09)에서는 4개 기술분야 11품목(30종) 3개 공정기술을 대상으로 국산화를 추진하여 한국형 기본훈련기(KT-1) 등에 국산부품 장착과 해외 수출의 성공적인 성과를 거두었다. 2단계('02.10~'04.7)에서는 3개 기술분야 4개 품목(8종)에 대해서 수출전략화 부품을 대상으로 연구개발을 수행하고 있다.

본 개발사업에서는 1990년대 연구소 및 대학을 중심으로 수행한 기초연구 실적을 바탕으로 연구(Research)를 최소화하고, 제품중심의 개발(Development)에 집중하였다. 또한 부품의 품질 인증에 소요되는 기간과 비용을 연구과제에 포함시켜 개발부품이 실제 항공기에 장착되어 운용되는 부분까지 지원하였다. 본 개발사업에서는 사형주조, 정밀주조, 단조, 복합재료, 코팅기술분야 별로 계열화하여 항공기 소재부품 전문업체 육성의 계기로 적극 활용하였다. 국내 수요기반이 적거나 취약한 기술분야는 연관 산업에 우선 적용함으로써 항공기 부품기술력이 지속적으로 자생력을 배양해 나갈 수 있도록 전략을 수립하였다.

### 3. 기술분야별 국산화 개발현황

#### 3.1 사형주조 분야

국내 항공 산업의 부품 공급은 외국산 소재를 가공 · 조립하는 단계인 반면 소재생산에 의한 개발은 품질인증 획득의 어려움으로 전무한 상태이다. 항공기용 알루미늄 주조품(Premium Quality Casting)은 일반 자동차나 산업용 부품 소재보다 강도가 월등히 높을 뿐만 아니라 내부의 개재물 및 결함들을 엄격히 관리하고 있으므로 국내 알루미늄 주물업체에서는 이에 따른 기술을 갖추지 못하고 있는 상태이다. 선진국에서는 특수 원소를 첨가하여 알루미늄 합금 주물이면서 알루미늄 단조재보다 우수한(460MPa의 인장강도와 10%정도의 연신율) 고급 알루미늄 합금을 개발하여, 지금까지 단조 소재로 사용하던

부품을 주조 합금 소재로 대체 개발시키고 있다.

선진 항공 부품업체에서는 1.7mm의 얇고 정밀한 Air Inlet부품과 길이 12.5m의 대형 제품도 주조공정으로 제조 개발하고 있다. 국내 업체에서는 이와 유사한 정도의 치수를 가지는 부품을 개발할 수 있는 능력에 겨우 도달한 상태에 있다.

본 사업의 1단계 사형주조분야에서는 A367P 소재를 사용하여 Inlet Frame(군용기용), Inlet Lip(T-50용), Stop & Support(B717용)를 개발하는 것을 목표로 하였다. 개발결과 Premium Quality Casting 제조 기술을 확립하였으며, Inlet frame은 인장강도 310 MPa , 연신율 5% 이상의 고품질 부품을 개발하여 삼성테크윈㈜으로부터 품질인증을 획득하고 납품 중에 있다.

현재 추진되고 있는 2단계에서는 외국 수출을 목표로 Cesna 기종의 Sump housing, Emergency flap drive housing 부품을 개발하고 있다.

표 2. 단계별 국산화 개발품목

단 계	기술 분야	개발 품목	재 질	장착기종
1단계 개발품목	주조 (7품목 18종)	Inlet Frame Inlet Lip Stop&Support Fight Control Unit 16종 APU Impeller, Diffuser Case	A356P A356P A356P 17-4PH 17-4PH	군용기 T-50 B717 Airbus APU
	단조 (2품목 6종)	Bracket 4종 Landing gear용 부품 2종	7050-T6 2014-T6	KT-1 KT-1
	복합재료성형 (2품목 6종)	비행조종장치 3종 Landing gear Door 3종	CFRP CFRP	KT-1
	코팅 (2개 공정기술)	Al Pack 확산 aluminide 코팅기술 MCrAlY + Al Pack 이중코팅기술	-	가스터빈
	합계	11 품목(30종) 및 3개 공정기술		가스터빈
2단계 개발품목	주조 (3품목)	Sump housing Emergency flap drive housing Turbine Nozzle Guide Vane	A356P A356P Mar-M247	Cesna Cesna APU
	단조 (2품목 4종)	Tandem Spoiler Cylinder Body 2종 Actuator 2종	2014-T6 2014-T6	F-4
	복합재료성형 (1품목)	외부연료탱크	CFRP	T-50
	합계	6개 품목(8종)		

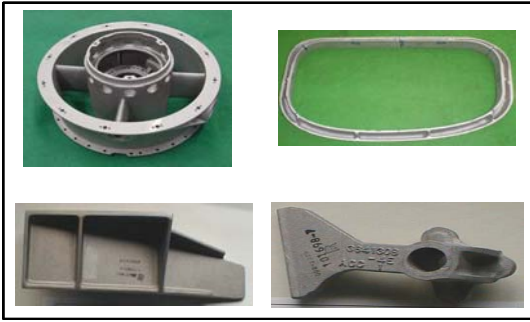


그림 3. 사형주조분야의 1단계 개발 부품들

### 3.2 정밀주조분야

국내에서는 항공기 엔진용 석출 경화형 스테인리스 주강품 개발의 경험이 아직 없는 상태이고, 전반적으로 주강품 제조 기술면에 있어서 재질의 특성보다는 치수, 형상 제어 정도의 기술 수준에 머물러 있다. 17-4PH 소재의 주강품은 박육의 정밀 주조 기술뿐만 아니라 용해 주조에 따른 불순물 제어, 열처리(담금질과 시효처리)에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화 등이 매우 민감하지만 이에 관련한 소재 기술의 축적이 거의 없는 실정이다. 국외에서는 항공기 엔진, 가스터빈의 주조에 가장 보편적으로 사용되고 있는 17-4PH스테인리스 주강품 제조 기술은 이미 안정화된 기술이지만, 선진국에서 기술이전 및 공개를 기피하고 있는 기술이다.

이에, 본 사업의 1단계에서는 17-4PH 소재의 Impeller & Diffuser Case(국내 APU용), Fight Control Unit 16종(Airbus 수출용)을 대상으로

국산화 기술을 축적하였다. Impeller & Diffuser Case의 개발은 17-4PH 내식강에 대한 고정밀도 공정 제어기술을 확립하였으며, 보수 공정에 따른 기계적 및 피로특성에 대한 Data 확보, 비용절감 및 적기 납기 대응의 공정 체계를 구축하였다. 그 결과 삼성테크윈으로부터 제품 품질 인증과 납품 성과를 거두었다. 또한 Airbus용 Fight Control Unit 16종은 공정승인을 획득하여, 현재 영국으로 수출 중에 있다. 이와 같은 기술실적을 바탕으로 2단계에서는 Mar-M247소재의 Turbine Nozzle Guide Vane을 개발하는 것을 목표로 추진 중에 있다.

### 3.3 단조 기술 분야

항공기용 단조품의 시장 규모는 60% 이상이 Al 합금 단조품이며 Ti합금이 약 20%이고 나머지 20%는 내열합금 단조품이다. 단조품은 주로 항공기의 강도를 지지하는 구조용 부품으로 이용되고 있기 때문에 대체 재료나 공정보다는 기존 고강도합금의 성형성을 향상시킬 수 있는 방법으로 개발되고 있다. Al합금의 경우는 내 용력 부식 특성 향상을 위하여 Al 7075-T76 에서 Al 7050-T77 혹은 Al 7077-T77로 대체되고 있는 사실이 이를 대변해 주고 있다.

단조부품 가운데 가장 많은 부분을 차지하고 있는 Al합금 단조품의 경우, 단조용 소재에서부터 부품 제조에 이르는 공정기술의 개발 가능성이 매우 높다. 이에 따라, 1단계에서는 랜딩기어



그림 4. 정밀주조분야의 1단계 개발부품

부품인 Pintle Bracket 4종, Lower Drag Stay, Torque Link를 개발 대상으로 정하였다. Pintle Bracket는 기존 기계가공부품을 단조품으로 대체하여 재료 이용률 10% 이상 향상과 기존 CNC 기계가공품에 비해 우수한 기계적물성 향상을 가져왔다. Lower Drag Stay, Torque Link는 외산품에서 관찰되는 표면조대 결정립층을 제어하는 기술확립과 피로강도를 포함한 대부분의 기계적 물성 향상을 가져왔다. 이와 같이 우수한 물성을 가지는 부품을 개발하였지만, 국방부 품질인증 절차상의 문제로 인해 KT-1에 장착되지는 못하였다. 현재 Lower Drag Stay, Torque Link는 현재 영국 FHL사 수출을 추진하고 있다. 2단계에서는 F-5용 Tandem Spoiler Cylinder Body 2종, Actuator 2종을 개발하고 있다.

### 3.4 복합재료 분야

보잉사의 전망에 의하면 향후 15년에 걸쳐 미래 항공기나 새로운 항공기에 적용될 복합재료의 비율이 증가할 것으로 예측되고 있다. 복합재료 전문가와 일반재료 전문가 모두 항공기에서 복합재료 사용량이 8%에서 2005년에는 35%로 증가할 것이라는 낙관적인 전망을 하고 있어 복

합재료 분야의 거시적인 수요 환경은 계속 증가 추세에 있다.

국내의 항공기 복합재료 요소기술 중 이론적 측면에서의 “경량화 설계기술”은 확보된 수준이나 실제 구조물에의 적용 경험이 과제로 남아 있다. “구조 안정성 입증기술”은 현재까지 외국의 구조 인증기관으로부터의 “복합재 구조인증” 획득 사례가 전무한 실정이기 때문에 많은 노력이 뒤따라야 할 부분이다. “생산기술” 측면에서는 외국 항공사에의 많은 납품 사례가 있고 “생산 품질인증” 획득 사례도 다수 있다.

다만 설계와 연결하여 부품수 절감 및 일체성형 등의 저비용생산 기술개발 부분이 미흡한 부분이다. 이러한 여건에서도 다수의 이론적인 성과와 외국 항공사에 납품한 사례가 있다. 쌍발항공기, MD 스포일러 및 KT-1 부품 등에서 성공적인 개발 경험을 확보하였으나, 위의 3가지 요소기술을 모두 확보하여 실용화하지는 못하였기 때문에 당 국산화 사업의 1단계에서는 비행조종장치와 랜딩기어 도어류 부품을 중심으로 실질적인 국산화를 추진하였다.

그 결과 국방부로부터 품질인증을 획득하여 현재 한국항공(주)가 양산되고 있는 기본훈련기(KT-1)에 적용되고 있다. 이로 인해 비행조종장치는 프랑스로부터 수입되고 있는 부품을 완전히



그림 5. 단조분야의 1단계 개발부품

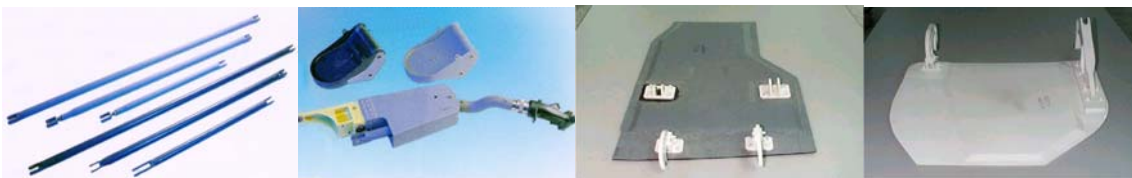


그림 6. 복합재료 1단계 개발부품

수입대체 하였고, 랜딩기어 도어류는 기존의 알루미늄 가공품을 복합재료로 대체하여 경량화에 성공하였다. 이러한 우수한 복합재료 국산화 실적을 바탕으로 2단계에서는 시스템기술을 적용한 복합재료 연료탱크(T-50용)의 개발을 추진하고 있다.

### 3.5 코팅 기술분야

항공기용 가스터빈은 엔진 운전방식이 단순하고 고급연료를 사용하기 때문에 주로 고온산화 및 열피로가 열화의 주요인으로 알려져 있다. 최근에는 열차폐 코팅(TBC : Thermal Barrier Coating)기술을 도입하여 터빈의 효율을 높이고 부품의 사용온도를 낮추어 수명을 연장하며, 고온부식 및 에로존(Erosion) 대한 저항 특성을 향상시키고 있다. 이들 코팅기술은 대부분 엔진 제작사의 주도하에 개발되고 현장 적용되고 있어 항공기 엔진 제작사가 존재하지 않는 국내에서 그대로 사용할 경우 사용연료, 가동조건 등이 달라 고온부식, 열피로, 반복산화 등에 의한 손상이 크게 발생할 수 있다. 따라서, 국내의 특수한 운전 환경하에서의 신뢰도가 높은 가스터빈의 설계와 제작을 위하여 그에 적합한 코팅기술의 개발이 절실하다.

이에, 본 연구사업에서는 항공기 가스터빈 부품에 적용하는 알루미늄 팩 확산 코팅공정기술을 개발하였다. 또한, MCrAlY 용사 코팅과 알루미늄 팩 코팅을 병행하는 이중 코팅공정기술의 개발을 추진하였다. 적용부품은 가스터빈 블레이드, 베인, 연소실 등 고온 가스경로에 놓여 있는 부품들이며, 이들은 주로 Ni기지 초내열합금으로 이루어져 있다.

가스터빈 부품재료인 IN738LC에 알루미늄 팩 코팅을 적용한 결과 두께 40 $\mu$ m 정도의 알루미늄 무게비 20% 이상의 양질의 코팅층을 얻을 수 있었다. 이 코팅층의 주요 성분은  $\beta$ -NiAl로 이루어져 있고, MC, M23C6의 복합탄

화물 및  $\sigma$ (Mo, Cr, Co)상들이 고루 분산된 상태였다.

MCrAlY HVOF 코팅결과 매우 치밀한 두께 170 $\mu$ m 정도의 코팅층을 얻을 수 있었다. 또한 MCrAlY 코팅 위에 다시 Al 팩 코팅을 적용한 이중코팅의 경우 두께 약 200 $\mu$ m 이상의 건전한 코팅층을 얻을 수 있었으며, 표면 코팅층의 알루미늄 함량도 무게비 30% 이상으로 매우 양호한 결과를 얻었다. 이와 같이 본 연구과제를 통해서 확립된 코팅 공정절차를 실제 항공기 블레이드에 적용할 수 있는 기틀을 마련하였다.

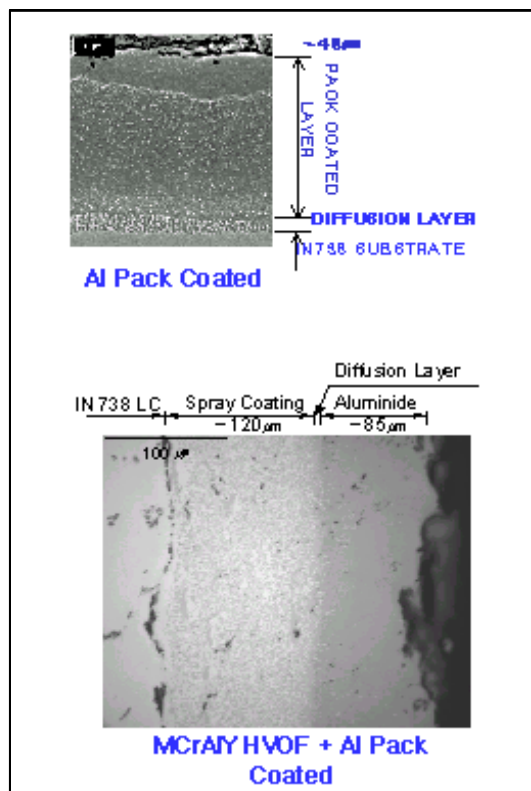


그림 7. 코팅기술분야의 시제품 단면

### 4. 결 론

한국기계연구원을 중심으로 12개 산학연 기관이 공동 추진한 1단계 항공우주 소재부품 국산화 개발에서 연간 20억~50억 원의 수입대체와

약 20억 원의 해외 수출의 경제적 성과를 거둘 수 있었다. 연구개발 과정에서는 품질인증의 경험과 다양한 기술데이터를 축적할 수 있었다. 이러한 항공기 소재부품기술을 활용하여 유사 품목에 응용할 수 있는 부가적인 효과를 가져왔다. 또한 항공기 소재부품을 만드는 기업이라는 인식을 구매자들이 갖게 됨으로써 첨단기술기업이라는 이미지를 심을 수 있었다.

무엇보다, ATEC 사업을 통해서 황무지나 다름없는 국내 항공기 소재부품산업에서 품질인증을 포함한 성공적인 부품 국산화는 우리의 힘으로 항공기에 국산부품을 장착하였다는 엔지니어로서의 희열과 세계시장 진출이라는 자신감을 얻은 좋은 기회였다.

2단계에서는 수출전략 품목 개발을 통하여 개발 부품의 수출 상품화를 꾀할 목적으로 복합재료 연료탱크를 비롯한 6개 품목(8종)의 부품 국산화를 추진 중에 있다.