



항공기용 탄소섬유강화 복합재료의 기술동향

김기석·박수진[†]

인하대 화학과

접수일(2011년 5월 12일), 수정일(2011년 5월 20일), 게재확정일(2011년 5월 24일)

Technique Status of Carbon Fibers-reinforced Composites for Aircrafts

Ki-Seok KIM and Soo-Jin PARK[†]

Department of Chemistry, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received May 12, 2011, Revised May 20, 2011, Accepted May 24, 2011)

요약 : 최근 모든 산업분야에서 기존 소재의 물성을 뛰어넘는 우수한 기계적 특성과 기능적 특성을 만족하는 새로운 소재에 대한 필요성이 점점 증가하고 있으며, 특히 연료 절감과 이산화탄소(CO₂)와 같은 온난화 가스 배출의 절감을 통한 환경보호가 요구됨에 따라 우주항공 산업에서는 신규 소재를 통한 구조체 경량화에 대한 중요성이 더욱 강조되고 있다. 또한, 신규 소재의 다양한 응용을 위하여 우수한 기계적 물성뿐만 아니라 여러가지 특성에 부합되는 고기능성 맞춤형 재료의 개발은 현재의 재료 과학기술의 최우선적인 목표이며, 이러한 맞춤형 재료에 가장 근접한 소재는 탄소섬유강화 복합재료라 할 수 있다. 실제로 최근 탄소섬유강화 복합재료는 항공기 경량화를 위한 필수적인 물질로서 그 수요는 크게 증가하고 있다. 따라서, 본고에서는 항공기의 경량화를 위한 탄소섬유강화 복합재료의 필요성과 더불어 탄소섬유강화 복합재료의 기술동향에 대하여 중심으로 살펴보도록 하겠다.

ABSTRACT : Recently, the need of new materials which have excellent physical properties and functional characteristics has been increased in all industries. In particular, body weight reduction via new materials in aerospace industry was significantly emphasized by the requirement of environmental protection through the fuel savings and reduction of greenhouse gas, i.e., carbon dioxide(CO₂). Also, for various applications, the development of high performance custom materials with excellent physical properties was the current primary goal of materials science and technology. In this respect, carbon fiber-reinforced composites were the most candidates among the various materials. Indeed, carbon fiber-reinforced composites have been lately used as essential materials for the weight reduction of aircraft and the demand has increased remarkably. Therefore, in this paper, we focused on the need of carbon fiber composites in the fields of aircraft and technique status.

Keywords : Aircraft, weight reduction, carbon dioxide, carbon fiber composites

I. 서 론

최근 모든 산업분야에서 기존의 소재와 비교하여 우수한 기계적 특성과 기능적 특성을 요구하는 새로운 소재에 대한 필요성이 점점 증가하고 있으며, 특히 연료 절감과 이산화탄소(CO₂)와 같은 지구온난화 가스 배출의 절감을 통한 환경보호가 요구됨에 따라 자동차 및 우주항공 산업에서는 차체 경량화에 대한 중요성이 더욱 강조되고 있다. 또한, 다양한 응용 분야 개척을 위하여 우수한 기계적 물성뿐만 아니라 여러가지 특성에 부합되는 고기능성 맞춤형 재료의 개발은 현재의 재료 과학기술의 최우선적인 목표이며, 이러한 맞춤형 재료 개발에 매우 활발한 연구가 진행되고 있는 분야가 복합재료라 할 수

있다.¹⁻³

복합재료란 성분이나 형태가 다른 두 종류 이상의 물질이 조합되어 각각의 특성을 상호 보완하여 단일 물질과 비교하여 물성이 크게 향상된 재료를 의미한다. 일반적으로 복합재료는 섬유, 입자, 층상 물질 등과 같은 충전제(Filler)와 금속, 세라믹, 고분자 등과 같은 매트릭스(Matrix) 등으로 구성되며, 이러한 요소들로 구성된 복합재료는 섬유강화 복합재료, 입자강화 복합재료, 그리고 층상 복합재료로 분류 할 수 있다. 또한, 복합재료는 매트릭스의 종류에 따라 금속계, 세라믹계, 고분자계 복합재료로 구분되며, 금속계 및 세라믹계는 특성은 뛰어나지만 가격이 비싸 선진국에서도 우주항공 분야에만 제한적으로 사용되고 있다.^{4,5}

여러가지 복합재료 중 섬유강화 고분자 복합재료(FRP: Fiber Reinforced Plastics Composites)는 기존의 고분자 복합재

[†] 대표저자 E-mail: sjpark@inah.ac.kr

Table 1. Applications of the Carbon Fiber Composites for Weight Reduction of Major Aircraft Manufacturers

Airbus	15%	15%(A319, A320, A321), 13.4%(A330, A340)
	20%	A380(Service in Y2006) [CFRP * 42Tons/Plane]
Boeing	9%	5%(Before B777), 9%(B777 at 1995)
	50%	B787(After Y2008)
MDC	3%	3%(MD=11)

료와 비교하여 고분자 매트릭스에 섬유상의 보강재를 복합시켜, 기계적 강도와 내열성을 크게 향상시킨 복합재료를 나타낸다. 보강재로는 유리섬유, 탄소섬유 및 방향족 나일론 섬유(케블라)가 주로 사용되고 있고, 고분자 수지로는 불포화 폴리에스테르, 에폭시수지 등의 열경화성 수지가 주로 쓰이고 있다.^{6,7} 본 논문에서는 항공기 경량화를 위한 복합재료 중 기타 섬유와 비교하여 가격은 비싸지만 물성이 월등히 뛰어난 탄소섬유강화 복합재료의 기술 동향에 대하여 중점적으로 설명하고자 한다.

탄소섬유강화 복합재료(CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastics)는 경량, 높은 무게비 강도 및 강성도, 열적특성, 전기적특성, 내부식성, 내충격성, 피로특성, 부품 일체화의 용이성 등의 많은 장점을 가지고 있다. 이러한 특성을 바탕으로 탄소섬유강화 복합재료는 항공기용 부품·소재의 경량화, 내부식성 및 충격, 진동 등의 성능 향상, 금형 가격의 절감 등을 위하여 구조물, 외장 부품과 같은 기구부품 및 엔진부품 등에 적용하기 시작하여, 현재 그 사용량이 급격하게 증가하고 있는 추세이다. 또한 탄소섬유강화 복합재료는 내약품성, 화학적 불활성 및 생체 친화성이 매우 우수하여 다양한 분야에서 응용이 가능하다.⁸⁻¹⁰

이러한 특성으로 인하여 탄소섬유강화 복합재료는 1980년대부터 항공기의 기체구조인 꼬리날개에 적용이 검토되어 에어버스사 A310, 300, 320, 보잉사의 B777 등에 채용된바 있다. 또한, 최근에는 탄소섬유강화 복합재료 주익이 F-2 군용기뿐만 아니라 민간기인 보잉사의 B787에 채용되었고, 이제까지 기체구조의 10~20 중량% 정도였던 탄소섬유강화 복합재료의 사용비율이 50 중량% 이상으로 확대되었고, 주요 항공기 업체의 경량화를 위한 복합재료 적용예를 표 1에 나타내었다.

따라서 본고에서는 최근 항공기 경량화에 있어서 필수 소재로서 다시금 큰 관심을 받고 있는 탄소섬유강화 복합재료의 기술동향을 알아봄으로써 탄소섬유와 탄소섬유강화 복합재료의 중요성과 발전방향에 대하여 논의하고자 한다.

II. 탄소섬유강화 복합재료의 필요성

다가오는 우주항공시대를 대비하여 이제까지의 어느 소재보다 월등히 우수한 물성을 갖는 탄소섬유강화 복합소재의

중요성이 점점 증가하고 있다. 그리고 지난 반세기 동안 우주 여행에 경쟁적이었던 미·소 양국은 물론 일본과 프랑스, 독일 등 몇몇 선진국들은 탄소섬유 및 탄소섬유강화 복합소재의 개발과 응용에 많은 투자를 하였고, 그 결과 선진국과 후진국 간의 기술 격차는 점차 벌어지게 되었다.

향후 21세기는 지식 산업에 기초하여 발전할 것으로 예상되는바, 이에 발맞추어 국가적으로 선진국과 맞서기 위한 국제 경쟁력을 갖추기 위해서는 무엇보다도 과학기술 분야에 대한 경쟁력을 갖추어야 한다. 따라서 자원과 자본이 부족한 우리의 여건에서 국가의 과학기술 경쟁력 제고의 수단으로 새로운 소재 개발을 위한 연구가 중요하다고 할 수 있다. 특히 20세기의 실리콘과 같이 21세기에 가장 주목 받고 있는 탄소재료를 이용한 복합재료는 기존 복합재료를 뛰어넘는 우수한 특성을 얻을 수 있기 때문에 첨단 산업계의 요구에 부응할 수 있는 신소재라 할 수 있다.

이러한 관점에서 탄소섬유와 이를 이용한 복합재료는 최근에 에너지 위기에 따른 석유류 가격의 폭등으로 에너지 효율을 높이기 위해 거의 모든 수송기계 시스템의 경량화를 위한 소재로 다시 주목 받기 시작하여 일부 고기능성 탄소섬유 및 탄소섬유강화 복합재료는 품귀가 될 정도로 그 수요가 폭발적으로 증가하고 있는 매우 중요한 소재라 할 수 있다.

탄소섬유 복합재료는 우주·항공재료부터 각종 스포츠용품 재료까지 다양한 분야에서 사용되고 있는 첨단 신소재로서, 앞서 언급된 바와같이 그들의 우수한 특성으로 다양한 분야에서 응용이 가능하지만, 현재 국내 탄소섬유 및 탄소섬유강화 복합재료 산업에 있어서 핵심소재 및 원천기술은 대부분 일본으로부터 수입에 의존하고 있어, 국가적으로 탄소섬유와 탄소섬유강화 복합재료 제조를 위한 원천기술 및 신기술 개발을 지속적으로 추진함으로써 소재의 수입의존도를 점차 줄여나가는 것이 중요하다. 또한, 이러한 신소재 분야의 원천기술은 단기간에 개발하기 어렵고 대규모 투자 및 높은 위험이 수반되기 때문에 정부가 기초연구를 중심으로 꾸준히 지원하면서 연구개발투자를 촉진해나갈 필요가 있다고 하겠다.

III. 항공기용 탄소섬유강화 복합재료 기술동향

1. 세계 기술동향

탄소섬유강화 복합재료에 있어서 기술 선진국들은 그 동안 주류를 이루어 왔던 PAN계 탄소섬유강화 복합재료를 넘어서 탄소함량이 더욱 높아진 고강도 Pitch계 탄소섬유강화 복합재료의 연구개발을 위하여 노력하고 있다. 특히 미국과 일본 등 탄소소재 선진국을 중심으로 신탄소섬유강화 복합재료에 대한 연구가 빠르게 추진되고 있으며, 이에 따라 우주·항공·자동차, 선박 및 레저산업 선점을 목표로 하고 있으며 탄소섬유강화 복합재료의 고기능화와 고성능화를 추진하고 있다.

에너지 효율적 측면에서 탄소섬유강화 복합재료를 이용하여 항공기, 자동차, 선박의 동체를 대체할 경우 높은 에너지 절감이 가능하며, 이에 따른 신시장이 개척가능하기 때문에 기술 선진국들은 고강도 탄소섬유강화 복합재료의 개발 및 응용분야를 넓히고자 많은 투자를하고 있다. 특히 최근의 사회적·산업적 구조변화로 인해 환경, 생활, 건강, 에너지 분야의 중요성이 강조되고 있으므로, 이러한 분야로의 응용을 확대하고 있으며, 이와 함께 기능 측면에서도 기존의 능력을 상회하는 초기능 탄소섬유강화 복합재료의 개발 및 지능형 복합재의 개발도 시도 중이다.

그동안 항공기 소재는 항공기용 고강도 알루미늄 합금이 주류를 이루었지만 현재 추세는 복합재 소재의 사용이 폭발적으로 증가하고 있는 추세이다.^{11,12} Boeing 777의 무게를 기준으로 알루미늄(Al) 70%, 복합재료 11%, 타이타늄(Ti) 7%, 특수강 11%, 기타 1%의 소재가 사용되었고, 민간 부문을 아울러 복합재료는 꾸준한 증가세를 나타내고 있으며 현재 알루미늄 재료 사용량을 초과하고 있고, 그림 1에 Boeing 777과 Boeing 787의 탄소섬유강화 복합재료 적용량을 나타내었다.

탄소섬유강화 복합재료는 2000년 이후부터 사용량이 급격히 증가한 가운데, 내구성 및 기능성 향상 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, Boeing 787의 경우 전체의 50%, Airbus A350의 경우 약 52%, Airbus A380의 경우 19% 복합재료를 사용하고 있다고 알려져 있다. 또한 복합재의 적용은 Fuselage, Wing, Cowling 등으로 지속적으로 확장 중이다.

2007년에 첫 지상조립 출시 발표 이후 각종 지상 하중 및 비행시험 중인 B787의 경우, 탄소섬유강화 복합재료를 적용하여 얻어지는 항공기 이용자 측면과 항공기 운항사 측면에서의 장점은 기존의 Al 합금적용 항공기와는 달리 매우 다양하게 열거 될 수 있다. 복합재료 항공기 구조물의 생산공정 측면에서도 기본 알루미늄 합금 항공기와 비교시에도 생산 치공구 비용이 절감되고, 항공기의 부품수가 축소되어 그림 2에서 보는바와 같이 통합된 일체성형 공정적용으로 인한 원가절감 효과 및 표면가공이 필요하지 않은 Net shape 생산이 가능한 여러 가지 장점이 있다.¹³

복합재료 동체를 적용한 B787은 여압에 의한 동체 둘레방향 하중을 둘레 방향으로 배열된 탄소섬유에 의해 충분히 전달할 수 있어 운항고도에서도 대기압 가까이 기내 압력을 높일 수 있어 귀먹먹임이 최소화 되고, 내부 창문도 기존보다 크게 만들어 전망이 좋아지며, 부식이 없는 플라스틱 동체이므로 습도도 승객들이 쾌적하게 장거리를 여행할 수 있도록 높여줄 수 있는 장점이 있다. 또한, B787 항공기의 경우 비강도 및 비강성이 우수한 T800급 탄소섬유 복합재료를 사용하여 얻어진 1대당 약 10,000 lbs의 무게 절감으로 인해 항공기의 운항수명 동안 약 1~3 M\$에 해당하는 비용절감을 이룰 수 있어 항공기 이용자뿐만 아니라 운항사에도 많은 경제적 이득을 제공할 수 있다고 알려져 있다.

B787에는 동체 및 날개구조물에 복합재료를 적용한 것 외에 항공기의 전기체 가격의 상당부분을 차지하는 엔진을 경량화하고 고효율 엔진으로 만들기 위해 탄소섬유 복합재료 팬 블레이드(Fan Blade)가 적용된 그림 3과 같은 GE90(GE, USA)

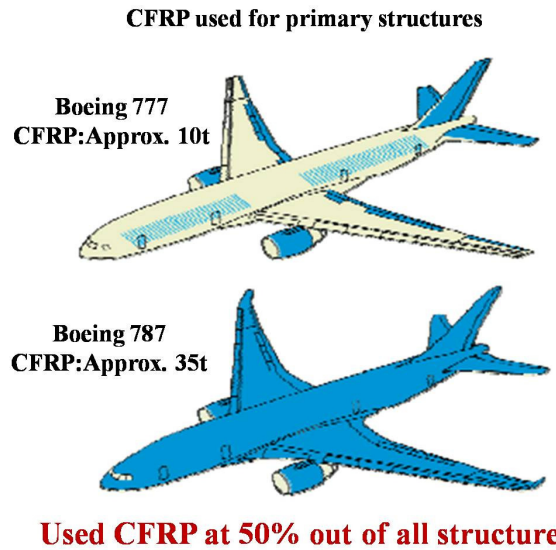


Figure 1. Comparison of the carbon fiber composite-applied Boeing 777 and 787.

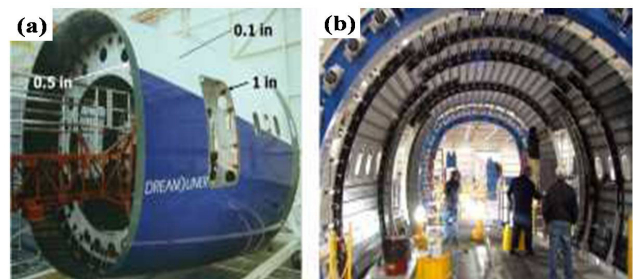


Figure 2. Composite body of B787; (a) central body and (b) interior body.



Figure 3. Composite fan blade for B787 engine(GE90).

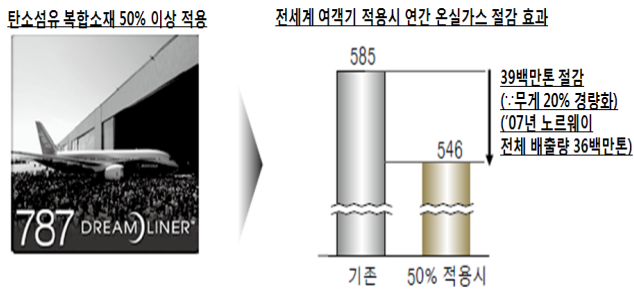


Figure 4. Carbon dioxide reduction by the use of carbon fiber composites.

Table 2. Comparison of the Maintenance Interval of Major Composite Aircraft

Maintenance interval	B767	A330	B787
Line Maintenance Interval	500 hours	700 hours	1,000 hours
Base Maintenance Interval	18 months	18 months	36 months
Heavy Structural Inspection	6 years	6 years	12 years

엔진을 2대 장착하고 있다. 고속 회전하는 엔진의 부품을 복합재료로 대체하는 경우 부수적으로 얻어지는 경량화 효과는 매우 높다.

B787 항공기의 경우 몸체에 탄소섬유와 고분자 소재가 결합된 복합소재가 적용되어, 몸체 소재 비중의 50%가 복합소재로 금속소재보다 강하면서 무게는 20% 줄일 수 있다. 이러한 무게감량 효과로는 그림 4와 같이 전세계 100석 이상 여객기 제작시 복합소재의 비중을 50% 이상 적용하게 되면 온실가스 연간 감축량을 노르웨이 전체 배출량보다 더 많이 줄일 수 있다.

또한 B787 같은 복합재료 항공기는 내피로 특성이 매우 우수하기 때문에 기존의 동급 Al 합금 동체 항공기인 B767이나 A330에 비해서 표 2에 제시하는 바와 같이 정기적인 유지 검사주기가 상대적으로 길어 정기적인 유지비용은 최소 30% 이상 감소하는 것으로 제시되어 있다. 하지만 정기 검사시 육안 검사로 보이지 않는 복합재료의 내부손상 발생 가능성이 높아 이를 전 기체에 걸쳐 수시로 검사하기 위한 비정기적인 검사비용은 크게 증대될 것으로 예상되어, 이를 해결하기 위하여 저렴하고 진보된 비파괴 검사방법의 도입이 요구되고 있다.

그리고 기술적 측면에서는 탄소섬유강화 복합재료의 기본 물성 및 설계허용치 등의 설계용 기술자료의 산출에 많은 고비용이 드는 점을 들 수 있다. 제작된 복합재료항공기의 유지보수에 대해서도 충분한 결합의 발생원인과 수리방법에 대한 기본 축적 데이터가 부족하여 상대적으로 기존 금속합금 항공기에 비해 어려움이 크다고 할 수 있다. 하지만 이러한 단점들

은 후발 주자인 한국에 적용되는 문제점이라 할 수 있으며 복합재료 항공기의 선진국에서는 거의 해결되고 있는 문제라 생각할 수 있다.

2. 국내 기술동향

국내의 항공기 산업의 경우 대형여객기의 경우 완제기 개발 및 생산실적은 전무한 실정이며, 1980년대까지 군항공기 도입의 절충교역사업을 통해 Stringer, Frame 등 단순 부품의 임가공 중심으로 항공기 사업이 진행되고 있고, 하청 및 공동생산을 통해 선진국 신기술의 지속적 도입 및 구조물 설계기술을 축적하고 있는 실정이다.

1990년대부터는 A320계열 Wing Top Panel, B737 Empennage 등 대형 기체구조물 중심으로 사업을 전개한바 있고, 1990년대 후반 이후로는 B717 Nose cone 등 Risk Share 공동개발에 참여하고 있으며, 최근에는 B784, A350 등의 양대 제작사의 major 파트너로서 기체 구성품 개발에 참여함으로써 산업의 기술수준이 한 단계 도약하는 전기를 마련하였다.

한편 보잉사의 경쟁사인 Airbus사가 B787기의 경쟁기종으로 개발하고 있는 복합재료 항공기인 A350의 경우, 전체 총구조물 무게총량의 약 52%까지 복합재료를 적용하여 개발 중에 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 시점에서, 국내 항공기 제작업체인 대한항공은 B787사업 참여뿐만 아니라 그림 5와 같이 A350 화물기의 Door를 탄소섬유 복합재료로 설계/제작하여 수출하는 계약을 최근에 체결한 바 있다. 또한, 대한항공이 참여하고 있는 B787 사업의구조물을 그림 6에 나타내었다.

국내의 탄소섬유강화 복합재료는 초기 도입단계로서, 현재 국내업체들은 물성이 낮고 생산이 비교적 용이한 프리프레그 제품을 주로 생산하여 낚시대 등 스포츠, 레저용에 이용하고 있어, 제품의 부가가치 및 수요가 크게 떨어지고 있는 실정이다. 현재 SK 화학과 한국카본 등은 일본의 도레이와 미국의 허큘레스 등으로부터 원사를 수입하여 탄소섬유강화 복합재

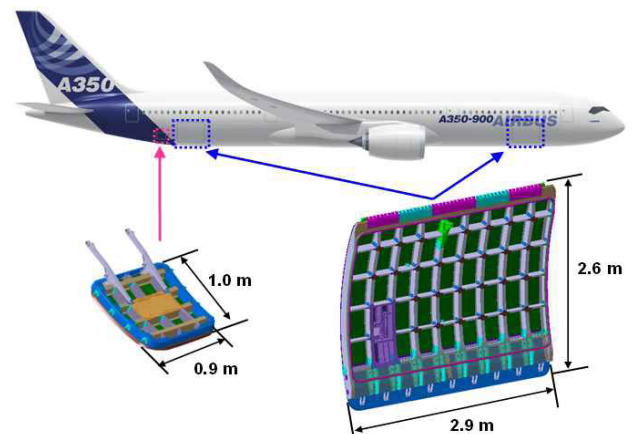


Figure 5. Composite door of A350 prepared by Korean Air.

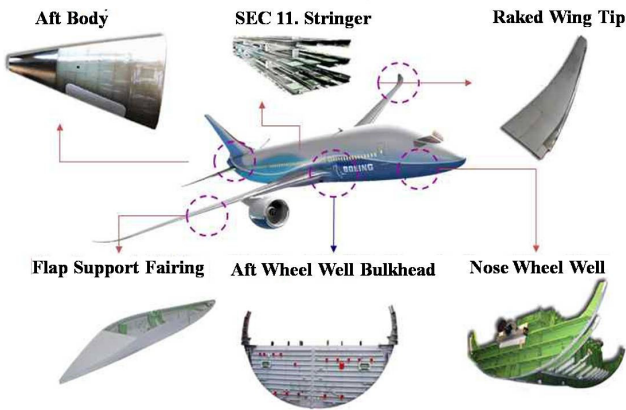


Figure 6. Structural configuration of the Boeing B787.

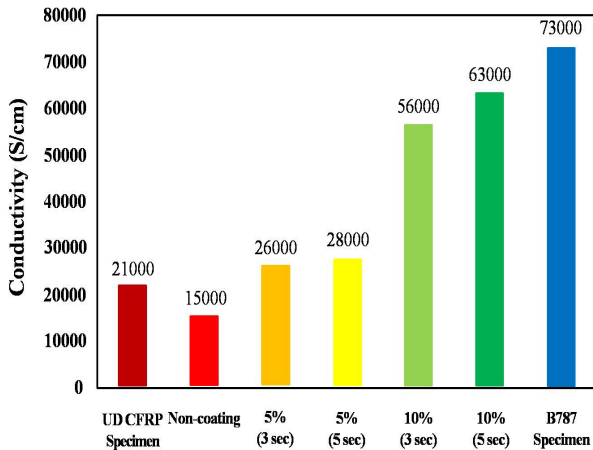


Figure 7. Comparison of the electrical conductivity of carbon fiber composites as a function of silver concentration and coating times.

의 전단계인 B-stage 프리프레그를 생산하고 있다. 따라서 체계적인 탄소섬유강화 복합재료 개발이 절실하며, 무엇보다 항공 산업에서 즉각적인 활용이 가능한 제품의 개발을 통한 부가가치 상승이 절실히 요구된다. 또한 응용분야를 넓히고자 건축, 토목용에 탄소섬유강화 복합재를 적용하기 위해서는 제품생산 기술도 중요하지만 설계생산기술, 보강설계기술, 시공 기술 등의 관련 기술의 개발이 필수적이나 아직까지 대부분 일본 업체의 기술을 이용하고 있는 실정이다.

국내 학계에서는 1997년까지는 고성능 섬유를 이용한 복합재료나 물성에 관한 연구가 이루어졌고 근래에는 방탄재료 및 건설자재용 보강재에 관한 연구가 간헐적으로 이루어지고 있다. 국내 탄소섬유 응용분야는 80년대에는 대부분을 낚시대, 골프채 분야에 사용하였으나, 90년대부터 산업용 소재, 항공기의 구조재, 자동차 및 에너지 관련 소재로 응용분야가 점차 확대되어 현재는 산업용소재 분야에 가장 많은 탄소섬유가 사용되고 있다.

복합재료의 기술개발 국내 동향으로는 KIST, 서울대학교,

KAIST, 한국기계연구원 등에서 고성능 복합소재 부품성형에 관한 실용화 기술 및 기초기반 연구수행 중이며, 초음속 훈련기 T-50에 탄소재료 복합재료가 적용된바 있다. 설계/시험평가 동향으로는 복합재 구조개발에 대해서는 한국항공우주연구원(KARI)가 설계를 주로 수행하고 복합재 제작은 모두 전문업체(한국화이버, KAI, DAC 등)가 수행하고 있다. 하지만, 복합재료 구조개발의 핵심기술인 구조설계, 특히 구조해석을 위한 설계허용치 데이터 베이스를 전적으로 미국이나 유럽의 자료에 의존하고 있는 실정이다. 특히 단순 단품 제작이 아닌 조립체 수준의 구조일 경우 부품과 부품을 결합하는 조립부분의 설계 및 해석이 구조물의 안전성을 결정하게 되는데 조립부 설계를 위한 원천기술을 국내에서는 아직 확보하고 있지 못한 실정이다.

Building Block Approach 개념으로 본 시험평가 기술은 선진국 대비 30~70% 수준으로 예측되며, 일본에 비해서는 미미하나 국내 화섬메이커인 코오롱, 효성, 웅진케미칼, 휴비스 등도 고기능성 섬유소재 개발을 통해 범용 소재 부진을 타개하는 전략을 추진하고 있다.

이러한 가운데 중등훈련기 KT-1의 147개 부품은 탄소섬유를 포함한 탄소 복합재료로 대체, 양산되기 시작하였으며, 수직 이·착륙이 가능한 무인항공기에도 탄소복합재료를 적용하기 시작하였고, 이러한 결과로 30% 이상의 무게절감 효과를 가져다줌으로서 항공기 및 무기체계의 기동성을 높여줄 것으로 기대된다.

기초소재의 일부는 국산화 되어 있으나 가장 근본이 되는 탄소섬유 프리폼 기술(Low-cost Near-net Shape Preform), 탄소/탄소 복합재료 제조기술, 나아가 상용화를 위한 Scale-up 기술에 있어서는 아직도 선진국과 10여년 이상의 격차를 보이고 있다. 그러나 정부의 우주개발 사업 및 반도체 산업분야 등의 수요를 볼때, 그리고 기 확보된 기반시설 및 연구 인력의 효율적인 integration이 추진된다면 소규모의 투자로도 소기의 성과를 올릴 수 있는 기반을 갖고 있다고 판단된다.

IV. 항공기용 탄소섬유강화 복합재료의 기술적 요구사항

1. 낙뢰 손상 방지용 전기전도도 향상 기술

민간 항공기의 경우, 운항 중 연간 평균 1~2회 정도 낙뢰가격을 경험하는 것으로 알려져 있다. 낙뢰가격시 항공기 동체는 번개에 의해 점화의 전파, 국부적인 발열에 의한 연소, 폭발, 구조물의 변형 및 침식 등이 발생하게 된다.¹⁴ 또한 초고압의 낙뢰에 의해 유도된 전류 및 전자기장에 의해 고가 전자통신 장비 및 기타 제어장비가 손상되거나 기능이상 발생 등의 간접적인 피해를 입게 된다.

항공기의 기체를 낙뢰로부터 보호하고자 하는 가장 큰 목표는 항공기 주구조물에 발생할 수 있는 손상을 예방하고 낙뢰

가 항공기의 전력, 통신, 항법장치에 영향을 미치지 않도록 조치하는데 있다. 동체 및 날개가 복합재료로 적용된 복합재료 항공기의 경우 나뉘어질 때 고전류에 의한 손상이 발생할 수 있다. 또한 나뉘기 전류가 항공기에 흐르는 동안 자장의 상호작용이 발생하여 리벳, 나사 등의 체결구들이 자기력에 의해 분리가 발생할 수 있다.

복합재료 구조물과 같이 전기전도도가 기존 금속 구조물에 비해 떨어지는 경우 나뉘방지의 이상적인 방법은 전체 구조물의 외부 표면을 높은 전도성을 갖도록 하는 것이다. 탄소섬유 강화 복합재료는 절연특성의 기지에 전도성을 지닌 탄소섬유들이 함침 되어 있는 구조이므로 소재 특성상 전도체도 절연체도 아닌 재료로 전기전도성도 높지 않다. 그러므로 이들 소재가 항공기의 동체나 날개 등의 주구조물에 적용되는 경우 나뉘에 의한 손상을 최소화하기 위한 나뉘방지 조치를 수행하여 주어야 할 필요가 있다. 따라서 기존 알루미늄 합금을 대체하여 복합재료를 동체 및 날개에 적용한 항공기의 경우, 적용된 탄소섬유/에폭시 복합재료 적층판 자체의 전기전도도를 향상 시키려는 연구가 활발히 이루어지고 있다.¹⁵

즉 고분자 기지에 흑연, 카본블랙, 탄소나노튜브 등의 전도성 충전제를 첨가하여 전기적 특성을 향상시키는 연구가 국내에서도 진행되고 있다. 하지만 이러한 충전제의 첨가는 복합재료의 전도성을 향상시키는 반면에 충전 비율이 크게 증가하면 기계적 강도가 감소한다는 단점이 있다. 이러한 측면에서 탄소섬유강화 복합재료의 기계적인 강도는 저하되지 않으면서 전기전도도는 유지할 수 있는 연구가 진행되고 있는 추세이다. 그림 7은 탄소섬유강화 복합재료의 전기전도도 향상을 위하여 은 입자의 코팅에 따른 복합재료의 전기전도도 향상에 대한 연구 결과를 나타낸 것이며, 그림에서 보는바와 같이 은 입자의 코팅 농도와 코팅 시간의 증가에 따라 탄소섬유강화 복합재료의 전기전도성은 크게 향상됨을 알 수 있다.

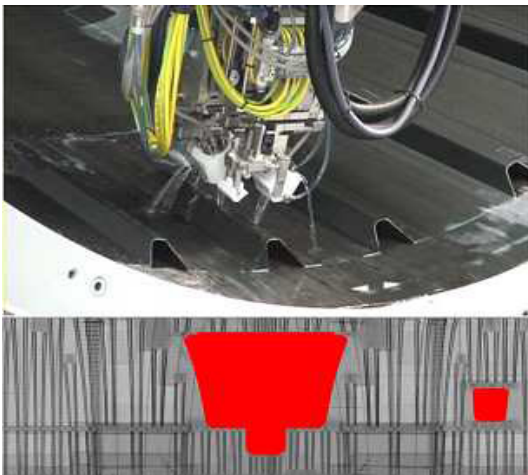


Figure 8. Non-destructive test (above) and result (below) of B787 structure.

2. 자기구조진단 시스템기술의 향상

B787과 같은 복합재료 항공기의 전격적인 출현과 더불어 대두된 문제점중의 하나로는 복합재료 동체나 날개의 내재된 결함의 검출기법인 비파괴 시험과 평가 기술에 대한 요구 증대라 할 수 있다.¹⁶ 이는 복합재료 항공기는 기존의 금속 구조 항공기와 달리 충격시에 찌그러진 부분이 다시 탄성에 의해 복원 되어 겉으로는 정상적으로 보이지만 내부에는 미세 층간 분리 및 미세 균열 등의 BVID(Barely Visible Impact Damage) 결함이 발생할 수 있기 때문이다.

이러한 복합재료의 문제점은 1960년대 파괴역학의 도래와 Nondestructive Testing(NDT), Non-Destructive Evaluation(NDE) 기술의 발전 이후 태동된 정량적 비파괴 평가기법(QNDE, Quantitative NDE)으로 인해 예측이 가능해 지게 되었다. 그러나 복합재료 구조물의 경우에는, 적층 각도 및 순서에 따른 다양한 생산공정, 기계적 거동, 항복모드 및 수리기법 등으로 인해 보다 진보된 비파괴 검사기술이 요구되고 있다.

현재까지 비파괴 검사·평가 기법이 아직은 미비하나 관련 기술의 발전이 급속히 이루어지고 있다. 그림 8에 도시한 바와 같이 B787 항공기의 대형 3차원 복합재료 구조물의 검사에 적용될 만큼 발전되어, 향후 10여년 후에 복합재료 항공기의 구조건전성 진단에 적용될 것으로 예상되고 있는 SHM기술의 핵심기술 중 하나로 판단되고 있다.¹⁷ 이들 SHM 기술은 항공기 외에도 민·군용 중요 구조물의 건전성 평가에도 바로 활용될 수 있으므로 이에 대한 기술 개발의 필요성이 점차 증대되고 있는 추세이다.¹⁸

V. 맺음말

탄소섬유강화 복합재료는 해외에서의 기술·부품 도입 자체부터 엄격히 통제되는 국가의 미래 전략산업의 핵심소재로 관련기술 및 재료가 개발될 경우, 해당 산업분야인 항공우주·해양, 방위, 정밀기계, 자동차, 조선, 철강, 에너지 및 환경산업에 사용되는 수입소재의 대체 및 산업의 고도화 실현이 가능하며, 해외로의 소재의 수출을 통한 국가 경쟁력 강화에 일조를 담당할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 탄소섬유를 이용한 복합재료 기술은 전 세계적으로 비공개 연구를 수행하고 있는 상황에서 이 분야는 기존의 복합재료가 가지고 있는 기술의 한계를 극복할 수 있을 것으로 예상되므로 원천기술 확보가 매우 시급한 실정이다.

또한 탄소섬유강화 복합재료를 이용하여 경량화 소재개발을 통한 항공기외의 자동차, 기차, 선박 등의 운송수단에 적용시 연비의 향상, 공해물질 배출저감, 안정성 및 성능향상이 가능하여 저탄소 녹색성장을 이루는 원동력이 될 것으로 판단되며, 정부의 2020년 항공선진 G7에 진입하고자 하는 목적을 달성하기 위하여 미래국가전략산업의 한 축으로 탄소섬유와

탄소섬유강화 복합재료의 제조기술을 중심으로하는 항공산업의 경쟁력 강화 및 수출 산업화와 핵심인프라 확충 및 저변 확대는 필수적이라 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부·방위사업청의 민·군겸용기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

1. D. H. Middleton, "Composite materials in aircraft structures", John Wiley, New York, 1990.
2. G. Savage, I. Bomphray, and M. Oxley, "Exploiting the fracture properties of carbon fibre composites to design lightweight energy absorbing structures", *Eng. Failur Anal.*, **11**, 677 (2004).
3. S. J. Park and M. K. Seo, "The effects of MoSi₂ on the oxidation behavior of carbon/carbon composites", *Carbon*, **39**, 1229 (2001).
4. I. Shyha, S. L. Soo, D. Aspinwall, and S. Bradley, "Effect of laminate configuration and feed rate on cutting performance when drilling holes in carbon fibre reinforced plastic composites", *J. Mater. Proc. Technol.*, **210**, 1023 (2010).
5. Z. Zhang and K. Friedrich, "Artificial neural networks applied to polymer composites: a review", *Compos. Sci. Technol.*, **63**, 2029 (2003).
6. K. S. Kim, Y. S. Shim, B. J. Kim, L. Y. Meng, S. Y. Lee, and S. J. Park, "Present status and applications of carbon fibers-reinforced composites for aircrafts", *Carbon Lett.*, **11**, 23 (2010).
7. X. Zhang, X. Pei, and Q. Wang, "Friction and wear properties of combined surface modified carbon fabric reinforced phenolic composites", *Eur. Polym. J.*, **44**, 2551 (2008).
8. C. A. Mahieux, "Cost effective manufacturing process of thermoplastic matrix composites for the traditional industry: the example of carbon-fiber reinforced thermoplastic flywheel", *Compos. Structure*, **52**, 517 (2001).
9. M. S. Ha, O. Y. Kwon, and H. S. Choi, "Improved electrical conductivity of CFRP by conductive nano-particles coating for lightning strike protection", *J. Korean Soc. Compos. Mater.*, **23**, 31 (2010).
10. J. B. Donnet and R. C. Bansal, "Carbon Fibers", Marcel Dekker, New York, 1990.
11. A. Mahoon, "The role of non-destructive testing in the airworthiness certification of civil aircraft composite structures", *Composites*, **19**, 229 (1988).
12. C. Soutis, "Fibre reinforced composites in aircraft construction", *Prog. Aerospace Sci.*, **41**, 143 (2005).
13. S. J. Lewis, "The use of carbon fibre composites on military aircraft", *Compos. Manufacturing*, **5**, 95 (1994).
14. F. A. Fisher, J. A. Plumer, and R. A. Perala, "Aircraft lightning protection handbook", Federal Aviation Administration, 1989.
15. M. S. Ha, O. Y. Kwon, and H. S. Choi, "Improved electrical conductivity of CFRP by conductive silver nano-particles coating for lightning strike protection", ICCM-17, England, Edinburgh, 27-31 July 2009.
16. J. D. Achenbach, "QNDE and SHM for commercial aircraft", Seminar at Korean Air R&D Center, 19 May 2009.
17. H. Speckmann and C. Brousset, "Structural health monitoring(SHM), A future alternative to conventional NDT?", ATA's 49th NDT Forum, Fort Worth, 16-19 October 2006, pp.20.
18. W. Staszewski, C. Boller, and G. Tomlinson, "Health monitoring of aerospace structures smart sensor technologies and signal processing", John Wiley & Sons, 2004.