

# 탄소섬유의 항공우주 분야 적용

이태호\*

## Applications of Carbon Fiber to the Aerospace

Tae - Ho Lee\*

### ABSTRACT

This paper investigates applications mainly to the aerospace area. Even though the carbon fiber has an excellent properties, it has not been much used in the aircraft, etc, because of the cost and technology. But in these days, the properties are improved and the cost is down, using the carbon fibers are increasing every field.

### 초 록

본 논문은 탄소 섬유 응용 분야 중에서 주로 항공우주 분야를 중심으로 조사하였다. 탄소 섬유의 좋은 물성에도 불구하고 초기에는 기술적 경제적인 요인으로 항공기 등에는 그다지 많이 사용되지 않았다. 그러나 기술의 향상으로 물성의 향상과 가격 저하로 모든 분야로 탄소 섬유의 적용은 늘어가고 있다.

Key Words: CFRP( 탄소 강화 섬유), High Modulus(고 탄성율), specific strength(비강도), PAN(폴리아크릴로니트릴)

### 1. 서 론

탄소섬유는 미국의 Union Carbide사에서 레이온(Rayon)으로부터 탄소섬유를 개발하기 시작할 것부터 본격화 되었다고 볼 수 있다. 그 후 일본의 Toray 회사에서 PAN(폴리아크릴로니트릴; Polyacrylonitrile)으로 부터 고탄성, 고강도 탄소 섬유를 개발하였다. 1970년 대 초 T300 탄소 섬유의 양산 체제가 시작되어 낚시 대, 골프채에

사용을 시작으로, 1976년에는 기름 값의 급등에 맞추어 B727, B737, DC9, DC10 등 비행기에 T300이 사용되기 시작하였다. 1982년 B757, B767, Airbus A310에도 적용하였고, 우주왕복선 Columbia호에도 T300을 사용하기 시작하였다. 이와 같이 탄소섬유는 개발 초기부터 뛰어난 물성으로 갖고 있었다. 최근의 탄소섬유는 개발 초기의 물성치에 비하여 향상된 특성을 갖고 있어 작금에 개발되는 것은 참단 탄소섬유라 통칭할 수 있다. 탄소섬유가 가지고 있는 가장 매력적인 특성은 고강도 섬유라는 것은 이미 언급된 것이다. 탄소섬유의 실 가닥은 수천 개의 정교한

\* KISTI(한국 과학기술정보연구원), ReSeat 프로그램 전문 연구위원

† 교신저자, E-mail: Itaho0547@reseat.re.kr

(5-7 마이크로) 직경의 필라멘트로 구성되어있다. 따라서 탄소섬유가 부하를 받게 되면, 파손은 필라멘트 주위의 국부적인 부위에서 시작되고 있다. 때문에 탄소섬유의 자체의 인장강도를 이야기 하는 것은 실제적인 의미가 떨어진다. 대부분의 탄소섬유는 강화 탄소섬유 복합재로 사용되기 때문이다.

## 2. 탄소섬유의 구분

탄소섬유는 원료에 따르는 구분도 있으나 실제 응용 면에서는 탄소섬유가 가지고 있는 특성이 중요하고 이러한 성능을 기준으로 대별하며, 또 적용하고 있다. 이러한 구분을 Fig. 1에 도표로서 표시하였다.

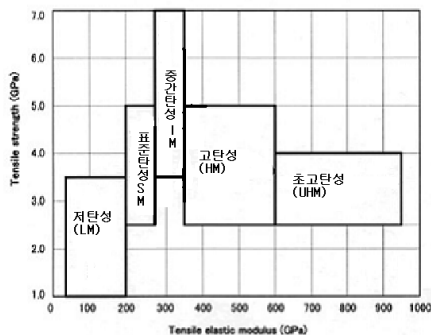


Fig. 1 기계적 성능과 탄소섬유 구분

일반 범용 탄소섬유는 저 탄성을 탄소섬유를 말하며 탄성을 200 GPa 이하에 인장 강도 3500 MPa 이하의 특성을 가지고 있으며 상대적으로 저렴한 가격이다.

고 성능 탄소 섬유는 고강도(HT: High Tensile), 중 탄성을(IM: Intermediate Modulus), 고 탄성을(HM: High Modulus) 형 탄소 섬유를 통틀어 말하며, 특히 인장 탄성이 600GPa 이상인 것을 초고탄성을 섬유라 부른다.

탄성을 기준에 대하여 인장 강도 기준으로 구분한 것으로 보통 인장강도 3000 MPa 이상에 인장 탄성은 220-260GPa 이상을 말한다. 또 인장강도가 6000MPa 이상인 것을 초고강도(UHT: Ultra High Tensile) 탄소섬유라고 부르기도 한다.

탄소섬유는 탄소섬유-에폭시 수지 및 탄소 섬유를 강화재로 하는 탄소섬유 강화 플라스틱 등의 복합재로서 응용이 다양하다. 따라서 탄소 섬유의 적용과 사용은 자연스럽게 탄소 섬유 복합재로서의 용도를 의미하게 된다.

## 3. 항공우주 기술에 적용

탄소섬유 복합재가 많이 소요되는 분야 중에 하나가 항공기 분야이다. 항공기는 하늘을 날아야 하는 원초적인 성능이 있어 가벼우면서 강한 재료가 필요하고, 이에 합당한 재료가 탄소섬유가 될 것이다.

일본 탄소섬유 협회의 발표에 의하면 비행기 기체 구조 중량에 50%를 적용하면 20% 경량화가 가능하며, 이렇게 하면 일본 내 전 여객기의 탄산가스 배출량을 연간 120만 톤 줄일 수 있다고 한다. 이것은 곧 연료 사용의 감소이고 동시에 곧 친환경적인 효과를 얻을 수 있게 된다.

항공기용 탄소섬유는 일반적으로 프리프레그를 사용하여 부품을 성형한다. 프리프레그를 여러 장 쌓아 압력과 열을 가해 매트릭스 수지를 경화시켜 성형한다. 따라서 이 CFRP는 적층 판상 구조로 되고 층간에는 탄소섬유가 지나가지 않는다.

최근에는 VaRTM(Vacuum assisted RTM) 공법이 사용되기도 하는데, 이 방법은 탄소섬유 기지에 수지를 함침하지 않은 상태로 적층하고 진공 상태로 만들어 액상 수지를 주입하여 오븐에서 가열하여 경화시키는 공법이다. 이 방법은 탄소섬유를 건조한 상태에서 작업을 함으로 일반 직물과 같이 취급은 쉬우나, CFRP의 역학적 성질은 약한 편이다. VaRTM 공법을 사용한 탄소 섬유를 개발하여 일본 국내 소형 비행기의 뒷날

개에 사용을 추진하고 있다.

1976년에 보잉 항공회사에서 비행기에 T300을 사용하기 시작하였고, 1982년 B757, B767, Airbus A310에도 적용하였다. Airbus 회사의 초대형 비행기 A380은 2007년 10월 Singapore Airline에서 상용 운행을 개시하였다. A380에는 중심 날개, 동체 등의 부분에 CFRP 35 톤을 사용하였다. 유리섬유 등을 포함하여 복합재료를 22% 사용하였다.

근년에 B777이 개발되었는데 1994년 첫 비행을 하였으며, 여기에 사용한 탄소 섬유를 보면 중급 모듈러스를 가지고 있는 것을 주로 사용하였다. 비행기 마루 빔(floor beam)과 수직, 수평 미익(stabilizer)에 사용하였다. 그 외에도 엔진 낙셀(engine nacelle), 랜딩기어 도어, Aileron 등의 2차 구조물에 탄소섬유를 사용하였다. 새로운 중형기로 A350을 개발 중인데, 2011년 최종 설계 확정을 하고 2013년 납품 계획으로 되어 있다. 동체, 날개 등에 CFRP를 사용하며, 구조 부품에서 CFRP의 비율은 53%로 될 것으로 예상하고 있으며, 전체 날개 구조를 탄소섬유 강화재로 사용할 것이다.

보잉 회사에서는 주 날개, 동체, 중앙 날개 등에 프리프레그 탄소섬유 복합재를 사용하여 구조 부품의 50%를 사용한 Dream Liner B787을 2007년 8월 공개하였고, 2009년 최초비행을 성공리에 마쳤다. 상용 1호기의 납품은 2011년 이루어질 것이다. B777에는 총 무게의 12%가 탄소섬유를 포함한 복합재료이었다.

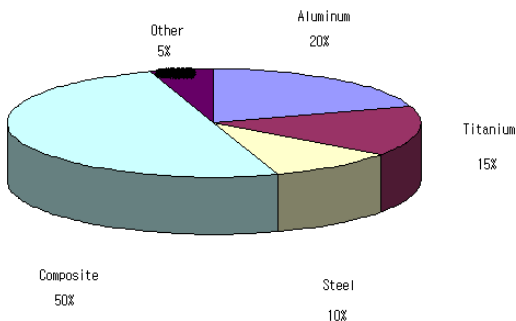


Fig. 2 CFRP의 B787 사용

항공기외에 우주용으로도 탄소섬유는 매우 훌륭한 특성을 나타내고 있다. 고압에 견디어야 하며 무게는 가벼워야 하는 발사체 로켓에 탄소섬유는 이상적인 재료이다. 때문에 금속재료에서 탄소섬유 복합재로 바뀌는 추세이다.

항공 우주 발사체에 사용한 탄소섬유의 한 예를 살펴보면, H-IIA 로켓의 맨 위 상단은 CFRP가 사용되었으며, 몸체 중간 위쪽 부분은 샌드위치 CFRP로 그리고 하부의 로켓 부스터의 모터 케이스는 모두 CFRP로 만들었다.

제작 관점에서 보면 필라멘트 와인딩(Filament winding)공법이 사용되며, 직경이나 길이에도 특별한 제한이 없이 제작이 가능하다. 또한 제작한 제품의 품질을 검사하는 NDT(non destructive test) 기법도 성숙 단계에 있다.

우주 발사체 추진기관의 최근 로드맵 상에 나타난 첨단 고체 추진기관의 기술의 하나로 필라멘트 와인딩 모터 케이스가 포함되어 있음을 볼 때 탄소 섬유를 이용한 추진기관은 점차로 증가할 것이다. 금속재 케이스에 비하여 압력과 내부 부피의 곱으로 표시되는 값이 5배에 달하여, 자연적으로 고강도의 탄소 복합재로 이동할 것이라 밝히고 있다.

탄소섬유 복합재의 큰 비강도(specific strength)는 금속 재료에 비하여 상대적인 최적 운용 압력을 증가시켜 주고 있다. 특히 분리 조각형(segment)보다는 단일 형으로 제작한 것이 효과적이다. 이러한 특성은 적당한 크기의 단일 형까지는 탄소 섬유 복합재의 장점이다.

Table 1. 모터 케이스 사용 압력 비교

Optimum pressure vs. case design parameter.

Case design	Range of pressure (MPa)	International SRM examples
Metallic	6-7	RSRM, MPS
Segmented composite	8-9	SRMU
Monolithic composite	9-11	Castor 120, M25, SRB-A, P80

탄소 섬유 복합재 연소관을 사용한 대표적인 대 발사체를 보면, DELTA 2, TITAN, H-II, 그리고 상업용에는 EELV ATLAS 5 , DELTA 4 발사체 등이 있고 유럽의 Ares 5가 있다.

우주용으로 사용하는 강화 탄소섬유는 탑재물에도 사용되고 있다. 특히 우주용 카메라는 당연히 가볍고 견고해야 하며 안정성이 필요하다. 이러한 면에서 카메라 틀에 새로이 적용되기 시작하였다. 원격 측정 장치에도 계속적으로 사용 용도가 늘어 날 것이다.

#### 4. 학술 정보 분석

ISI Web of Knowledge 플랫폼에서 Web of science를 활용하여 1986년부터 현재(2011.4)까지 발표된 탄소섬유 적용에 관한 학술 정보를 조사하였다. "Carbon fiber"를 토픽으로 검색한 결과는 610편이 검색되어 이를 분석하였다. 참고로 본 학술정보 분석은 항공우주뿐만 아니라 전반적인 첨단 탄소 섬유의 응용에 관한 것이다.

논문 발표가 활발한 연도를 10대 연도로 조사해 본 결과 2002년부터 2011년까지 한 해도 빠질 않고 모두 포함 되어있다. 한, 두해(2003, 2007)를 제외하고 매년 논문 수효가 늘어나 고 있다. 이는 새로운 기술 개발 동향 및 응용과 무관하지 않은 것 같다.

국가별로 논문 발표가 활발했던 10 대 국가를 Fig. 3에 표시하였다. 역시 미국이 단연 우위를 차지하고 있고 뒤이어 중국, 일본, 독일 순으로 나타나고 있다. 미국은 39%를 차지하여 235 편이 넘어 다음 순위의 60편대와 비교하면 큰 차이를 보인다.

우리나라의 발표 현황은 10대 국가 중에 포함되어 있지 않고 25대 연구기관에도 들어 있지 않았다. 이는 우리나라에는 아직 이렇다할 탄소섬유 공장조차 없는 형편과 무관하지 않을 것이나, 새로 설립된 회사들과 연구에 그만큼 기대가 된다.

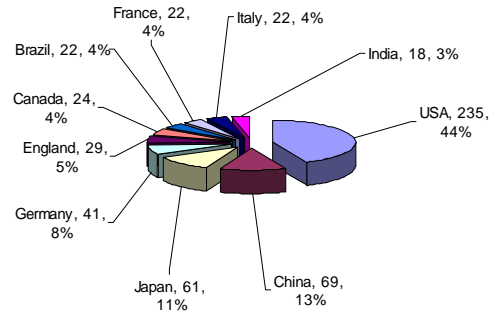


Fig. 3 Top 10 countries which published articles

#### 결 론

탄소섬유는 소재가 가져야 할 장점, 즉 가볍고 강하며, 내 침식성과 고 탄성 을 등을 두루 가지고 있어 그 활용 범위가 최첨단 기술을 요하는 항공우주에서 부터 자동차, 선박 철도 등 주요 운송기관을 포함한 산업 전반과 의료, 스포츠, 악기까지 모든 분야에 걸쳐 활용되고 있다.

따라서 이러한 탄소 섬유는 앞으로의 시장 전망은 더 커질 것이 자명하다. 세계 굴지의 탄소 섬유회사인 Toray 회사에서는 세계 시장 전망을 2011년에 연 6만 톤 소요에서 10년 후인 2020년에는 두 배가 넘는 12만 톤으로 급속한 증가를 예측하고 있다.

#### 참 고 문 헌

1. Vince Kelly, [www.carbon-fiber.com](http://www.carbon-fiber.com), "A review of feedstock for making carbon fiber, a material cutting edge of efficient energy technologies", Carbon fiber Technology, Ireland
2. Jean-Francois Guery et al 의 논문 등