

피치계 탄소섬유 개발

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 고종성
(jsko1@reseat.re.kr)

알루미늄보다 가볍고 철보다 강한 소재인 탄소섬유는 낚싯대, 골프 샤프트만이 아니라 교량, 항공기, 우주 로켓, 천체용 대형 안테나, 가스 터빈 등, 대형구조 분야에도 널리 활용되는데, 이면에는 과학자들의 노고와 관찰 능력이 있었음을 기억해야 한다. 피치계 탄소섬유는 첨단분야에서 사용되는 복합재료 중에서 높은 강성, 높은 전도율 및 낮은 열팽창률은 타의 추종을 불허하는 우수한 특성을 갖고 있다.

탄소섬유는 레이온을 원료로 하는 미국 UCC의 개발에서 시작된다. Osaka 공업시험소에서 PAN계 탄소섬유, Gunma University의 Ohtani 연구실에서 피치계 탄소섬유가 개발되었다. 이외에 페놀을 원료로 하는 것 및 기상성장 흑연섬유 등도 개발되었다.

양산되고 있는 탄소섬유는 PAN계, 피치계 모두 하이 그레이드와 로우 그레이드로 분류되고, 하이 그레이드는 역학적 특성에서 고강도 타입과 고탄성 타입으로 분류된다. 로우 그레이드의 피치계는 범용 타입과 고성능 타입이 있다. 탄소섬유 직경은 미세할수록 강도는 올라간다. 대부분의 탄소섬유의 열팽창계수는 마이너스의 특징이 있다.

피치 원료는 석유계와 석탄계가 있고 내부구조적으로 등방성(비결정성)의 피치와 메조페이스로 처리한 피치(액정피치)로 분류할 수 있다. 특히 메조페이스화한 피치는 방사 시 결정이 배향하므로 등방성에 비하여 높은 강도를 갖는 섬유가 된다. PAN계는 섬유를 연신하여 결정배향을 높이므로 인장강도와 연신율이 큰 것에 대해서 피치계는 인장탄성률이 크고 연신율이 작은 특징이 있다.

피치 탄소섬유는 피치를 용융방사 한다. 제1공정은 공기 중 250~400℃에서 불융화 처리한다. 제2공정은 불활성 분위기 중 탄소화 처리(1000~1500℃)하

면 탄소섬유가 된다. 등방성의 경우 GP 그레이드로 시장화 된다. 구조용 FRP로서 사용되는 HP는 더욱 제3공정으로 흑연화 처리(2000~2500℃) 된다. GP, HP 각각 표면처리 되어 제품이 된다. 방사 시의 섬유의 단면형상의 설계도 섬유특성을 좌우하는 중요한 기술이 된다.

Ohtani 연구실은 리그닌을 플라스크에서 소량 공기 중 가열하니 숯이 되고 표면에 위스커 유사물이 부착되었다. 리그닌의 일부가 용융하여 분말 전체가 탈 때 인장되어 실로 되고 소량의 산소로 불용이 된 것이다. 도가니 중에서 리그닌을 가열하여 용융 후 성냥개비로 끌어당기니 20cm 정도의 검은 실이 생겼다. 이것을 1000℃까지 가열하여 짧고 광택 있는 탄소섬유를 만들었다.

PVC 피치도 270℃에서 잘 용융한다. 이것을 성냥개비로 끌어당기면 실 모양으로 늘어나며 다시 1000℃까지 가열하면 레이온 및 PAN에 뒤지지 않는 탄소섬유가 되었다. 1963년 세계 최초의 피치계 탄소섬유가 탄생한 것이다. 피치계 탄소섬유가 되기 위한 조건은 용융물을 당기면 실이 되는 성질이 좋고 산화처리로 쉽게 불용화하는 것이 필요하다. 1965년에는 PVC보다 저가인 석유 및 석탄 피치로 탄소섬유를 개발하였다.

Nippon Kayaku(주)는 리그닌을 NaOH에 녹여서 방사성을 쥐기 위해 PVA를 첨가하여 방사 및 열처리로 탄소섬유를 만들었으나 생산중지 되었다. Kureha Kagaku는 Ohtani 연구실과 함께 아세틸렌 및 에틸렌 등의 원료를 카바이드에서 석유로 전환하였는데 부생물인 다량의 피치를 이용한 탄소섬유를 1969년 개발하였다.

피치계 탄소섬유는 탄소의 육각망을 형성하는 분자가 작고 방향성이 일정하지 않아 섬유 축으로 연신하면 끊어져버린다. 무연신 탄소섬유는 등방성으로 GP 그레이드로 부른다. Kureha Kagaku의 개발품은 GP 그레이드이다.

테트라벤조페나진은 벤젠 고리가 축합한 다환 방향족 화합물이다. 480℃에서 용융, 500℃ 이상에서 검은 액체상, 580℃를 넘으면 단단한 코크스가 된다. 이것은 메조페이스의 액정상 피치이다. 이것을 방사하면 탄소의 육각망의 결정이 섬유축으로 배향한다. 이것을 참고로 Ohtani 연구실은 용융방사 가능한 메조페이스 피치의 개발에 성공하였다. 초고탄성률 탄소섬유의 탄생인 것이다.

현재 HP는 Mitsubishi Kagaku Sanshi(주)와 Nippon Graphite Fiber(주)가 생산한다. GP는 Kureha(주), Osaka Gas Chemical에서 연산 1400톤, HP는 1120톤으로 PAN계에 비하면 적다. GP는 고온단열재 및 시멘트 첨가재(석면 대체, 전자흡수), 연료전지의 전극 및 대전방지재료, 활성탄소섬유부터 사용되기 시작했다. 탄소섬유는 Gobe 대지진에서 파괴된 시멘트 교각 및 고가도의 보강에 위력을 발휘하고 다리 및 건축으로 용도가 커지고 있다.

PAN계의 특징은 인장강도와 탄성률이 높고 피치계는 탄성률과 열전도도가 높고 열팽창률이 낮다. 강도와 탄성의 균형이 요구되는 항공기는 주로 PAN계, 높은 탄성률과 열전도율에 저열팽창률이 요구되는 우주 로켓 및 인공위성, 로봇 암에는 피치계가 사용되고 있다. HP-CFRP는 열팽창률을 제로로 하는 것도 가능하다. 우주공간의 심한 온도차에 견딜 수 있는 것 및 대형 전파망원경의 높은 요구에 응할 수 있는 재료로서 최적이다.

구조재료로 쓰이는 CFRP의 매트릭스는 에폭시 수지가 많다. 파이프 등의 성형법인 필라멘트 감기를 제외하고 대부분의 경우 프리프레그로 성형한다. 이것은 광폭의 연속 천을 에폭시 수지에 함침, 반 건조 상태(B단계)에서 감고 필요에 따라 잘라서 성형용으로 쓰는 것이다. CFRP를 분쇄하여 전자파 흡수재 및 정전기 방지재료 등으로 재이용도 가능하다.

출처 : 相馬 勳, "Pitch系炭素纖維開發物語", 「纖維學會誌(日本)」, 67(8), 2011, pp.218~221

이 분석물은 **교육과학기술부 과학기술진흥기금**을 지원받아 작성하였습니다.