

KARBON LİFLERİNİN ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM OLANAKLARI

PROPERTIES OF CARBON FIBERS AND USAGE POSSIBILITIES

Ar. Gör. Yük. Müh. Necla YAMAN
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Tülin ÖKTEM
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Necdet SEVENTEKİN
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Performans/fiyat oranının değişimi ile karbon lifleri hızla kompozit materyallerde kullanılan metallerin yerini almaya başlamıştır. Daha hafif, dayanıklı ve daha etkili ticari ürün olan karbon liflerin kompozisyonları artık sadece uzay araçlarında değil otomotiv, inşaat ve kağıt endüstrisi gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Germe dayanımı, karbon lif kullanımı, izotrop-anizotrop karbon

ABSTRACT

Carbon fibers have been used to supersede metals used for composite materials because of changing of performance/price rate. Carbon fibers that have been lighter, more strength and more efficient as commercial materials have been used not only space but also a good number of areas as automotive, civil engineering and paper industry.

Key Words: Tensile strength, carbon fiber usage, isotrop-anisotrop carbon

1. GİRİŞ

İnsanların kültür ve gelir seviyelerinin artması ile tekstil sektöründen beklentileri de değişmiştir. Amaç, örtünmek olmaktan çıkmış, konfor ve üstün özelliklere sahip ürünlerin kullanılması durumuna gelmiştir. Bunun sonucu olarak da yeni materyallerin üretilmesi veya mevcut materyallerin özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Karbon liflerinin gelişimi ve uygulanabilirliğinin sağlanması ile kullanım alanı genişlemiştir. Başlıca kullanım alanları, savunma amaçlı giysiler, uzay araçları, otomobil sektörü, medikal kullanımlar (özellikle ortopedik operasyonlarda) olan karbon liflerinin üretiminde farklı hammaddeler kullanılmaktadır.

Karbon liflerinin üretiminde, organik kökenli hammaddelerin ısıtılması sonucu karbon dışındaki diğer atomlar uzaklaşmakta böylece karbon atomlarından oluşmuş filamentler elde edilmektedir. Bu filamentlerin kristalizasyonundan sonra yüksek mukavemetli lifler elde edilmektedir.

Poliakrilnitril liflerinden, bitkisel esaslı hammaddelerden, katran tortusu ve

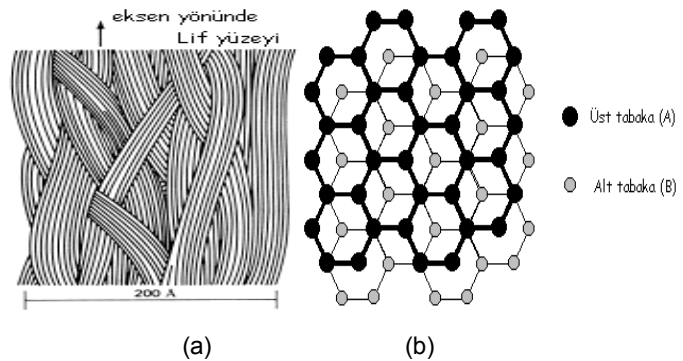
ziftten, polivinilden klorür veya polivinilidenklorür kopolimerlerinden üretilen karbon liflerinin özellikleri kullanılan hammaddeye, işlem sıcaklığına ve üretim aşamalarına bağlı olarak değişmektedir. Üretim koşullarına göre farklılık gösteren karbon liflerinin özellikleri ve kullanım alanları birbirlerinden farklı olmaktadır.

2. KARBON LİFİNİN ÖZELLİKLERİ

Karbon liflerinin yoğunluğu kullanılan hammadde ve işlem sıcaklığına bağlı olarak 1,6-2,2 g/cm³ arasında değişiklik göstermektedir. Karbon lif üretiminde kullanılan hammadde yoğunluğu 1,14-1,19 g/cm³ arasında değiş-

mektedir. Elde edilen lif modülündeki artış grafitizasyon sıcaklığının artışı ile artmaktadır (1).

Karbon liflerinden yapılmış kompozitler 1020 çelik konstruksiyonlarda 5 kat daha dayanıklı ve 1/5 ağırlığındadır. Aynı şekilde 6061 alüminyum konstruksiyonlarda 7 kat daha dayanıklı iken, 2 kat daha sert ve 1,5 kat daha hafiftir. Karbon liflerinin yorulma davranışı bilinen tüm metallerden daha iyidir. Uygun reçine ile kaplandığı zaman elde edilen kompozitin korozyona karşı dayanımı iyi olmaktadır. Katran esaslı karbon liflerinin elektriksel iletkenliği bakırdan 3 kat daha fazladır. Karbon lifleri kolaylıkla erimedikleri için yüksek sıcaklıkla-



Şekil 1. (a) PAN esaslı karbon liflerin eksen yönündeki bir modeli (2), (b) Grafen düzlem (3)

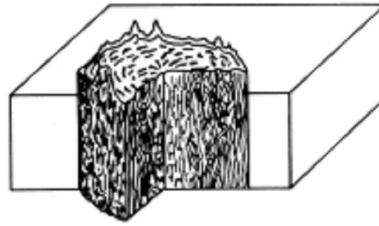
rın olduğu uçak frenlerinde ve roketlerde kullanılmaktadır. Karbon liflerinin özelliklerini dikey ve yatay olarak kristalitlerin mikroyapıdaki yerleşimi etkilemektedir. Kurdela benzeri kristalitler az veya çok eksene paralel şekilde yerleşmiştir. Bu kristalitlerin uzunluğu ve düzlüğü lif modülünü etkilemektedir. Şekil 1'de PAN esaslı karbon liflerin eksen yönündeki bir modeli görülmektedir (2).

Her bir kristalit, çoklu tabakadan oluşmaktadır. Her bir tabaka, grafen tabaka olarak isimlendirilen hegzagonal yapı şeklinde düzenlenmiş karbon atomlarından meydana gelmektedir. Tabaka içindeki güçlü C-C bağları life, yüksek dayanım ve sertlik verirken, tabakalar arasındaki zayıf van der Waals bağları kayma direncinin artmasına sebep olurken, ısı ve elektrik iletkenliğinin yüksek olmasına neden olmaktadır. Kristalitlerin kalınlığı ve uzunluğu karbon liflerinin elektriksel, ısı özelliklerini ve modülünü etkilemektedir. Daha büyük ve daha oryante olmuş grafen düzlemi daha yüksek termal ve elektriksel iletkenlik sağlamaktadır. Mikro yapının oryantasyonu plastik deformasyon veya ısı işlemler ile değiştirilebilmektedir (2).

Yatay düzlemde karbon lif yapısında bulunan grafen tabakalar soğan katmanları gibi görünmektedir. Lifin orta kısmı rasgele yerleşmiş durumdadır. Mikroyapıdaki gözenek ve çatlakların çoğunluğu düzenli yerleşmiş yüzeyden rasgele yerleşmiş kor kısmına geçerken veya kor kısmında meydana gelmiştir. Karbon lif üretimi sırasında meydana gelen çatlaklar yüzeyde gözlenmektedir. Katrandan üretilmiş karbon lifleri daha büyük grafen tabakaya sahiptirler. Aksiyal yapıdan farklı olarak, radyal yapı hammaddeye ve işlem koşullarına bağlıdır. Kompozit içinde binlerce karbon lifi bağlandığından mukavemet ortalama bir değer olmasına rağmen, çatlak büyüklüğü ve yoğunluğu karbon liflerinin dayanımını düşürmektedir (2).

PAN esaslı karbon lifleri katran esaslı karbon lifleri ile karşılaştırıldığında, da-

ha yüksek germe ve sıkıştırma dayanımına, daha fazla kopma uzamasına ve daha düşük modüle sahiptir. PAN esaslı karbon lifleri kullanım sırasında optimum lif özelliklerini sağlamaktadır. Tabaka yerleşimlerinin iyi olması kristalit yığınlarının boylarının kısa olması kayma zararını minimize etmektedir. Bu durumda sıkıştırma ve germe dayanımı iyi olmaktadır (2). Şekil 2'de PAN esaslı karbon lifinin görünüşü ve- rilmektedir.



Şekil 2. PAN esaslı karbon lif görünüşü (400 GPa Modüle sahip) (2)

PAN liflerinden elde edilen karbon lifleri standart, orta ve yüksek modüllü olmak üzere 3 kategoridedir. Kategoriler arasındaki farklar mekanik germe, ısı işlem ve poliakrilnitril liflerinin iplik eğirme sistemlerinden kaynaklanmaktadır. PAN esaslı karbon lifleri havacılıkta ve ticari ürünlerde kullanılmaktadır (2). Tablo 1'de PAN esaslı karbon liflerinin özellikleri verilmektedir.

Daha büyük kristalitlere ve daha iyi oryantasyon derecesine sahip olmaları nedeniyle katran esaslı karbon lifleri çok yüksek modüle, iyi derecede elektriksel ve termal iletkenliğe sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı uydu yapımında kullanılmaktadır (2). Tablo 2'de katran esaslı karbon liflerinin özellikleri verilmektedir.

Karbon liflerinin en önemli özelliklerinden birisi de çok iyi yorulma direncine

Tablo 1. PAN esaslı karbon liflerinin özellikleri (2)

Özellik	Birim	Ticari		Uzay Endüstrisi	
		Standart Modül	Standart Modül	Orta Modül	Yüksek Modül
Germe Modülü	GPa	228	220-241	290-297	345-448
Germe Dayanımı	MPa	380	3450-4830	3450-6200	3450-5520
Kopma uzaması	%	1,6	1,5-2,2	1,3-2,0	0,7-1,0
Elektriksel özdirenç	$\mu\Omega \cdot \text{cm}$	1650	1650	1450	900
Isıl iletkenliği	W/m ² K	20	20	20	50-80
Eksen yönünde elektriksel uzama katsayısı	$10^{-6} \cdot \text{K}$	-0,4	-0,4	-0,55	-0,75
Yoğunluk	g/cm ³	1,8	1,8	1,8	1,9
Karbon içeriği	%	95	95	95	+99
Lif çapı	μm	6-8	6-8	5-6	5-8

Tablo 2. Katran esaslı karbon liflerinin özellikleri (2)

Özellik	Birim	Düşük Modül	Yüksek Modül	Ultra-Yüksek Modül
Germe Modülü	GPa	170-241	380-620	690-965
Germe Dayanımı	MPa	1380-3100	1900-2750	2410
Kopma uzaması	%	0,9	0,5	0,4-0,27
Elektriksel özdirenç	$\mu\Omega \cdot \text{cm}$	1300	900	220-130
Isıl iletkenliği	W/m ² K	----	----	----
Eksen yönünde elektriksel uzama katsayısı	$10^{-6} \cdot \text{K}$	----	----	----
Yoğunluk	g/cm ³	1,9	2,0	2,2
Karbon içeriği	%	+97	+99	+99
Lif çapı		11	11	10

Tablo 3. Karbon Liflerinin ve Grafitwhisker'lerin Mekaniksel Özellikleri (2)

Madde	Modül (N/mm ²)	Kopma Dayanımı (N/mm ²)	Yoğunluk (g/cm ³)	Spesifik Modül (N*m/g)	Spesifik Kopma Dayanımı (N*m/g)
Standart Tip III	200,000	2000	1,7	120,000	1200
Standart Tip II	250,000	3000	1,8	140,000	1700
Standart Tip I	400,000	2500	1,9	210,000	1300
Grafitwhisker	720,000	20000	2,2	330,000	9100

sahip olmasıdır ki, bu özellik aramid ve cam liflerinden karbon lifini ayırmaktadır. 2200°C altındaki sıcaklıklarda karbon liflerinde büzülme davranışı gözlenmemektedir.

Düşük modüllü karbon liflerinde karbon içeriği % 99'un altındadır ve geri kalan miktarda azottur. Karbon içeriğinin ve lif yoğunluğunun artması yüksek sıcaklıklarda azotun uzaklaştırılması ile gerçekleştirilmektedir (2). Tablo 3'de karbon liflerinin ve grafitwhisker'in mekanik özellikleri verilmektedir.

Karbon lifleri, lif yapısı ve kristalit oryantasyonu bakımından iki gruba ayrılmaktadır. (İzotrop ve Anizotrop lifler):

a) İzotrop Karbon Lifleri: Bu tip karbon liflerinde oryantasyon iyi değildir. Cam tipi karbon atomlardan oluşan bu lifler, turbo statik yapıları nedeniyle polikristalin özellik gösterirler. Kristalitlerin büyüklüğü 1,5-3 nm, gözenek hacmi % 30-40 civarında, yoğunluğu 1,4-1,5 g/cm³ olan liflerdir. Bu liflerin elastik modülleri ve kopma dayanımları düşüktür. Bu liflerden yapılmış kumaşlar, keçeler ve bağlama iplikleri izolasyon maddesi olarak kullanılırlar.

b) Anizotrop Karbon Lifleri: Anizotrop karbon liflerinde tabakalar, az veya çok lif eksenine paralel konumda bulunmaktadır. Kristalitlerin düzgün yönelmesi ve düşük lif gözenekliliği nedeniyle yüksek modül gösterirler, Anizotrop karbon liflerinde kristalitlerin genişlikleri 6 nm ve uzunlukları 100 nm den daha fazladır. Yani kristalitler band şeklindedir.

Karbon liflerindeki yapı farklılıkları, mekanik özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır. Elastisite modülü, karbon

tabakalarının lif içerisindeki dalgalı yapısına bağlıdır (4).

Karbon liflerinin inert ve polar olmayan yüzey özellikleri nedeniyle, reçine ve erimiş haldeki metaller karbon liflerini kolaylıkla ıslatamamaktadır. Karbon lifleri asla güçlü bağlar oluşturmamaktadır. Bu nedenle karbon liflerinin yüzeyinde hidrofil gruplar oluşturmak için yüzey işlemleri uygulanmalıdır. Lif ile reçine arasındaki adhezyon kuvvetinde bağ sayısı bağ, kuvvetinden daha etkilidir (2).

3. KİMYASAL MADDELERİN KARBON LİFLERİNE ETKİSİ

İnorganik bir materyal olan karbon lifleri nem, açık hava, çözgen, baz ve zayıf asitlerden oda sıcaklığında etkilenmemektedir. Ancak yüksek sıcaklıklarda oksidasyondan oldukça fazla etkilenmektedir (2).

Silizan, boralizan, SiCN, SiBCN, SiCO, silikon veya fenolik reçineler ile karbon liflerinin sıvı fazda kaplanması ile SiC

kompozitlerin bağlanması ve metal matrikslerin lif ile güçlendirilme işlemi düşük maliyet ile elde edilebilmektedir (5).

Lif ile kuvvetlendirilmiş metal matriks kompozitlerde, lifler yüksek statik dayanım sağlarken metal matriks lifi dış etkilere karşı korumaktadır. Bu tür kompozitler yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özellikler, yüksek sertlik, yüksek dayanım, eğilme rijitliği ve iyi derecede oksidasyon ve korozyon dayanımı göstermektedir (6).

Aktive edilmiş karbon lifleri klasik granüllü karbon liflerine göre daha yüksek spesifik yüzey bölgesine ve daha yüksek absorpsiyon ve desorpsiyon oranına sahiptir. Fenolik reçinelerden üretilmiş aktive edilmiş karbonların spesifik yüzey alanı daha fazla olmaktadır. 300°C'da ön oksidasyon işlemi yapılmış taş kömürü katranından üretilen aktive edilmiş karbon liflerinin üretim miktarı artırılabilir (7).

Karbon liflerinin metan absorpsiyon kapasitesi incelendiği zaman gözenek büyüklükleri 1-2 nm olduğu zaman maksimum olduğu görülmüştür (8).

4. KARBON LİFLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Karbon lif üretimi için yıllar boyunca pek çok hammadde denenmiş ancak hammadde olarak rayon, poliakrilnitril lifleri, katran ve ziftin daha uygun

Tablo 4. Çeşitli hammaddelerden üretilmiş karbon liflerinin özellikleri (9)

	Tip	Yoğunluk (mg/m ³)	Germe dayanımı (GPa)	Germe modülü (GPa)	Uzama (%)	Elektriksel özdirenç (μOhm*m)
Rayon	50S	1,67	1,9	390	0,5	10
	75S	1,82	2,5	520	0,5	-
PAN	T800	1,80	5,6	290	1,9	13
	M50	1,91	2,4	490	0,4	7,6
İzotropik katran	T101F	1,65	0,8	33	2,4	150
	T201F	1,57	0,7	33	2,1	50
Mezofaz katran	P25	1,90	1,4	160	0,9	13
	P120	2,18	2,2	830	0,3	2,2
Tek kristal grafit		2,25	-	1000	-	0,4

olduğu belirlenmiştir. Farklı hammadde-lerden üretilmiş karbon liflerinin bazı özellikleri Tablo 4'de verilmektedir. P120 kodlu mezofaz esaslı karbon liflerinin modülü PAN esaslı T800 kodlu karbon liflerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Rayondan üretilmiş 75 S kodlu karbon lifinin germe dayanımı ile M50 kodlu poliakrilnitril esaslı karbon liflerinin germe dayanımı yakındır (9).

Tablo 5. Karbonizasyonda hammaddenin karakteristikleri (9)

	Karbon verimi (%)	Germe modülü (GPa)
Rayon	10-30	100 ¹⁾ 390-520 ²⁾
PAN	40-45	150-500
İzotropik katran	80-85	30-80 ¹⁾ 400-600 ²⁾
Mezofaz katran	80-85	120-830

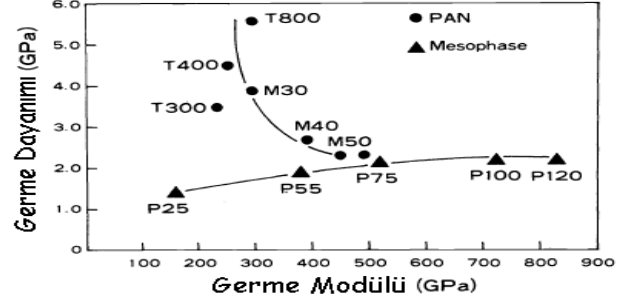
1) sıcak germe yapılmadan önce,

2) 2500°C'da germe yapılmış

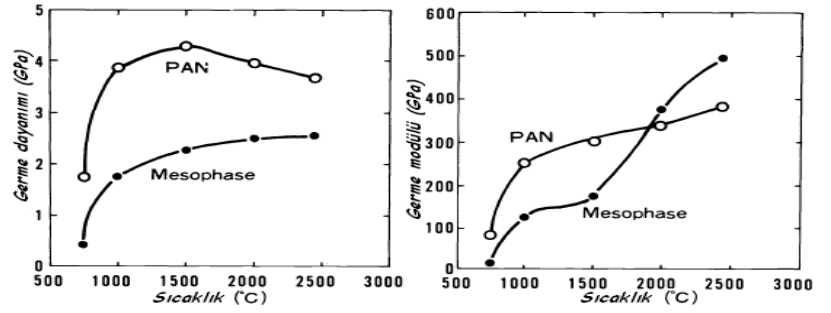
Tablo 5'de görüldüğü gibi yüksek derecede oryantasyonu sağlayabilmek için rayon ve izotropik katrandan elde edilen karbon liflerine oldukça yüksek sıcaklıklarda germe yapılması gerekmektedir. Ancak mezofazdan üretilen karbon liflerinde oryantasyon yeterli olduğundan karbonizasyon işlemi izotropik hammaddeden elde edilene göre daha ekonomik olmaktadır. Mezofaz'ın grafitizasyonu sırasındaki karakteristikleri nedeniyle, mezofazdan elde edilen yüksek performanslı karbon liflerinin daha iyi karakteristiklere sahip olmaktadır. Teorik olarak hesaplanan grafit kristalin germe modülüne en yakın germe modülü mezofaz esaslı karbon liflerinde elde edilmektedir.

Şekil 3'de PAN esaslı ve mezofaz esaslı karbon liflerinin germe davranışları verilmektedir. Mezofaz esaslı karbon liflerinin germe dayanımı PAN esaslı olanlardan daha düşük olurken, germe modülü daha yüksek olmaktadır. Germe dayanımı uzamaya bağlı olarak değişmektedir ve bu durum zarar derecesi ile belirlenebilmektedir.

Uzama sabit olduğu zaman yüksek germe modülü 2000°C



Şekil 3. PAN ve mezofazdan üretilmiş karbon liflerinin germe özellikleri (9)



Şekil 4. Karbonizasyon sıcaklığı ile karbon liflerinin germe özellikleri arasında ilişki

Tablo 6. Karbon liflerinin karakteristikleri ve uygulama alanları

1. Fiziksel dayanım, özel tokluk ve düşük ağırlık	Uzay, yol ve liman yapımlarında, spor malzemelerinde
2. Yüksek boyut stabilitesi, düşük termal uzama katsayısı ve düşük aşınma	Füze, uçak frenlerinde, uzay antenlerinde ve destek yapılarında, büyük teleskoplarda
3. İyi mukavemet	İşitsel ekipmanlar, Hi-fi ekipmanları için hoparlör, loudspeakers for Hi-fi equipment, pikap kolu, robot kolu
4. Elektriksel iletkenlik	Otomobil, elektronik ekipmanlar için kaplamalar, EMI ve RF koruyucu kılıf, fırçalar
5. X-ray geçirgenliği ve biyolojik hareketsizlik	Protez gibi tıbbi uygulamalar, araştırma ve x-ray cihazları, implantlar, tendonlar
6. Yorulma direnci, kendi kendini yağlama, yüksek sönüm	Tekstil makineleri
7. Kimyasal hareketsizlik, yüksek korozyon direnci,	Kimyasal endüstri, nükleer alan, valfler, yelkenler, pompa bileşenleri
8. Elektromanyetik özellik	Zincir koparan büyük jeneratörler, radyolojik ekipmanlar

modüllü lif yüksek dayanım göstermektedir.

Mezofaz hammaddeden karbon lifinin karbonizasyonunda karbonizasyon sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 4'de verilmektedir. Karbonizasyon sıcaklığı artışı ile mezofaz esaslı karbon liflerinin germe dayanımı artarken, PAN esaslı liflerde 1500°C sıcaklıkta maksimum germe dayanımı göster-

sıcaklıkta mezofaz esaslı karbon liflerinde oldukça fazla artmaktadır.

5. KARBON LİFİNİN KULLANIM ALANLARI

Karbon lifleri kompozit yapılardan inşaat sektörüne kadar, peyzajdan tıbbi kadar oldukça değişik alanlarda kullanılmaktadır. Düşük yoğunluğu ve yüksek mukavemet değerleri sayesinde

oldukça fazla kullanım alanı bulmaktadır. Tablo 6'da karbon liflerinin karakteristik özellikleri ve kullanım alanları verilmektedir.

Karbon filament ve kablolar yüksek mekanik dayanımları nedeniyle epoksi, poliester, poliamid ve fenol reçineleri gibi sentetik maddeler ile kompozit yapımında kullanılmaktadır. Reçineler ile bağ yapmaya uygun olmayan karbon liflerinin yüzey özelliklerini geliştirmek için, %1-5 oranında su içeren azot atmosferinde 1400-1500°C'da 28 sn ısıtma işlemi tabii tutulur. Isıtma işlemi ile lif yüzeyi aktif hale geldiği gibi, lif özelliklerindeki bozulma minimum olmaktadır. Aynı zamanda lifin özgül yüzeyinde de büyük artış olur. Epoksi ve poliimid reçineleri ile elde edilen kompozit materyaller uzay endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Uzay ve uçak sanayinde kullanılan alüminyum gibi hafif metallerin takviyesinde, spor malzemelerinin (tenis, buz hokeyi, kayak gibi) çok hareketli kısımlarında karbon lifleri kullanılmaktadır. Ortopedik malzeme üretiminde sağlamlığı ve yanmazlığı arttırmak amacıyla karbon lifleri kullanılmaktadır. Yoğunluğu 0,05-0,2 g/cm³, ısı iletkenliği 20°C'de 6.10⁻⁵-3.10⁻⁴ W/m.K olan karbon keçeleri ısı izolasyon maddesi olarak kullanılmaktadırlar. Karbon kumaşlar elektrik fırınlarında 3000°C'a kadar elektrik izolasyonunda kullanılmaktadır.

Ses hızının üstünde uçan uçakların fren disklerinde takviye maddesi olarak karbon dokumalar kullanılabilmektedir. Termik olarak sağlam olan fren diskleri yüksek ısı iletim ve ısı kapasiteleriyle en ufak bir tesirde bile çok iyi bir fren tesiri göstermektedir.

Yarış arabalarındaki yakıt tanklarında daha hafif olması nedeniyle kullanılmaktadır. X-ray ekipmanlarında, enerji depolama bataryalarında, yer merkezli antenlerde, rüzgar değirmenlerinde pervane ve endüstride kullanılmak üzere silindirik üretilmesinde kullanılmaktadır.

Daha yüksek spesifik yüzey bölgesine ve daha yüksek absorpsiyon ve desorpsiyon oranına sahip oldukları için, ak-

tive edilmiş karbon lifleri su arıtmada, SO_x, NO_x ve toksik gazların tutulmasında ve son zamanlarda ise metan depolamada ve polarize elektrod olarak kullanılmaktadır (10). Diğer taraftan agresif gaz ve sıvılar için filtre, katalizör taşıyıcısı, yakıt kabı, akümülatör için elektrot olarak kullanılmaktadır.

Membranlar birçok endüstriyel ve medikal uygulamalarda da kullanılmaktadır. Kimyasal işlemlerde, atık su tutma, ilaç sektöründe, yapay insan organları vb. gibi uygulamalarda membranlar kullanılmaktadır (11).

Karbon lifi ve termoplastik bir reçine ile oluşan kompozit malzemeler notebook parçalarında ve elektronik parçalarda kullanılabilmektedir (12).

Karbon lifi ile kuvvetlendirilmiş polimer sensör olarak kullanılmaktadır. Normal karbon lifine göre mükemmel mekanik dayanım, sertlik ve elektrik iletkenliğine sahiptir (13).

İnorganik lif ve karbon liflerinin bir organik latex ile bağlanması sonucu elde edilen kompozit materyal otomobil hava yastıklarında hava ile şişirme ünitesinde filtre materyali olarak kullanılmaktadır (14).

Karbon lifi ile kuvvetlendirilmiş polimer reçine esaslı kompozitler vakum pompası ve kompresör pervanesi olarak da kullanılmaktadır (15).

Karbon lifi bitki yetiştirme için hazırlanan kaplar içine yerleştirilerek de ziraat alanında kullanılmaktadır.

Karbon lifleri ile kuvvetlendirilmiş polimerden yapılmış kirişler yüksek dayanıma, modüle ve yüksek korozyon dayanımına sahiptir. Karbon lifi ile kuvvetlendirilmiş polibütillenterefalat çeşitli kemik yapılarında kullanılmaktadır. İmplantasyon sırasında kemik kayıplarını azaltmak için kemik içerisine yerleştirilmektedir. Toksik olmaması ve vücuda minimum zararı nedeniyle bu uygulamalarda önemli bir kullanım alanı bulmaktadır. Şekil 5'de ortopedide kullanılan biyomateryalin reçine

doldurulmadan önceki durumu verilmiştir (16).



Şekil 5. İmplantasyon işlemi (17)

Karbon lifleri havacılıkta Boeing ve Airbus tipi uçaklarda, uluslararası uzay istasyonlarında, uydularda, uçak motor kaplamalarında ve Boeing delta programları gibi uzatılabilir taşıma araçlarında kullanılmaktadır.

Bunun yanında spor alanında ise golf sopalarında, rüzgar sörfü ekipmanlarında, bisiklet bileşenlerinde, kayak ekipmanlarında ve tenis raketlerinde kullanılmaktadır.

6. KARBON LİFLERİNİN ÖZELLİKLERİNİ GELİŞTİRMEK İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

PAN ham madde CoSO₄ ile işlem görürse, karbon lifi oluşumu sırasında düşük sıcaklıklarda karbonizasyon işlemi yapılmaktadır. Bu şekilde yük-sek germe mukavemetli ve modüllü karbon lifi üretilmektedir (17).

Karbon liflerinin mukavemetini artırmak için, asit çözeltisi (sülfat asit gibi) ile elektrokimyasal olarak işlem yapılmaktadır (18).

Polimer materyalin elektrik iletkenliği karbon liflerinin ilave edilmesi ile artmaktadır (19).

Glutarik dialdehit ile işlendikten sonra nitrik asit ile oksidasyon işlemi uygulanmış karbon liflerinin mekanik özellikleri ve elektrik iletkenliği çok iyi olmaktadır. Glutarik dialdehit, fenolik reçine ile karbon lifleri arasında kimyasal bağ oluşumuna yardımcı olmaktadır (20).

Beton bloklar içerisine yerleştirilmiş olan karbon lifleri pozitif elektrik yükleri sayesinde hava ve su molekülü ile sarılmaktadır. Bu şekilde azot bakımından zengin olan çamur içerisinde bitkilerin filizlenmesi daha kolay olmaktadır (21).

Karbon lifi ve nitril bütadien kauçuk ile oluşturulan kompozit iyi antistatik özellik göstermektedir. Antistatik özellik kompozitteki karbon lifi miktarı ile değişmektedir. Kritik miktar aşıldığı zaman elektriksel direnç ve statik voltaj aşırı miktarda düşmektedir (22).

Karbon lifi üretimi için kullanılan katran ham maddesinin molekül ağırlığı ve eriyik viskozitesi kontrol edilerek lif çekimi kolaylaştırılmaktadır (23).

Delikli karbon liflerine yüksek sıcaklıklarda oksidasyon işlemi yapıldığında lifteki gözenek büyüklükleri artar ve gözenekler lif merkezinde yoğunlaşırken mekanik özellikleri düşmektedir. Düşük sıcaklıklarda oksidasyon yapılırsa mekanik özelliklerde iyileşme olmaktadır (24).

Karbon liflerindeki pek çok gelişme günümüzde maliyet düşürmeye yöneliktir. Karbon liflerinin üretim maliyetinin dü-

şürülmesi ile karbon liflerinin kullanımının artacağı bir gerçektir. Karbon lif üretim hızı da bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Karbon lif teknolojisinde meydana gelen yeni buluşlar karbon liflerinin kullanımının artmasına ve cam liflerinin trendine ulaşmasına yardımcı olmaktadır. Kompozit materyallerin kullanımı gittikçe artmaktadır, ancak hala metal kullanımının oldukça altındadır. Karbon liflerinin kullanım kompozisyonlarının geliştirilmesi lif teknolojisinin gelişimi için büyük bir adım olacaktır.

KAYNAKLAR

1. http://www.eng.uab.edu/epcl/b_fiber.htm#carbon
2. Walsh P.J., Carbon Fibers, ASM Handbook, 2001, 21, 35-40
3. <http://www.spmtips.com/products/hopg/>
4. Seventekin, N., Kimyasal Lifler, 2001, İzmir, s: 136.
5. Zhou Y., Yang W., Xia Y. ve Mallick PK., An Experimental Study On The Tensile Behavior Of A Unidirectional Carbon Fiber Reinforced Aluminum Composite at different Strain Rates, Materials Science and Engineering, 2003, 362, 112-117.
6. Li JJ., Qiao ZJ., Zhao NQ., Shi CS., A Theoretic Calculation of Methane Adsorption By Activated Carbon Fibers, Journal of Tianjin Institute of Textile Science and Technology, 2002, 21(2), 1-3.
7. <http://www.technica.net/NF/NF2/efibreinorganiche.htm>
8. Wu Q., Pan D., A New Cellulose Based Carbon Fiber From a Lyocell Precursor, Textile Research Journal, 2002, 72(5), 405-410.
9. Matsumoto T., Mesophase pitch and its carbon fibers, Pure&Appl. Chem., 1985, 57(11), 1553-1562.
10. Worasuvannarak N., Hatori S., Nakagawa H. ve Miura K., Effect of Oxidation Pre-treatment at 220-270 °C on The Carbonization And Activation Behavior of Phenolic Resin Fiber, Carbon, 2003, 41, 933-944.
11. Barbosa-Coutinho E., Salim VMM. ve Borges CP., Preparation of Carbon Hollow Fiber Membranes by Pyrolysis of Polyetherimide, Carbon, 2003, 41, 1707-1714.
12. Schueler R., Joshi SP. ve Schulte K., Damage Detection In CFRP By Electrical Conductivity Mapping, Composites Science and Technology, 2001, 61(6),921-930.
13. Lintz TS., Robinson CB. ve Stahlman MD., Carbon Fiber and Ceramic Fiber Paper Composites and Uses Therefor, Unifrax Corporation, 1997, Patent Number: USP 5989736.
14. Pauljuchkou A., Industrial: Wear-resistant Vanes, Advanced Composites Bulletin, 1999, AUGUST 5.
15. Noisternig JF. ve Jungwirth D., Design and Analysis of Anchoring Systems For a Carbon Fiber Composite Cable, 2nd-Int. Conf. on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Montreal, August 1996.
16. Brooks RA., Jones E., Storef A. ve Rushton N., Biological Evaluation of Carbon Fibre Reinforced Polybutylenterephthalate (CFRPBT) Employed in a Novel Acetabular Cup, Biomaterials, 2004, 25, 3429-3438.
17. Zhang Z., Liu Y., Huang Y., Liu L. ve Bao J., The Effect of Carbon-Fiber Surface Properties on The Electron-Beam Curing of Epoxy Resin Composites, Composites Science and Technology, 2002, 62(3), 331-337.
18. Clingerman ML., King JA., Schulz KH. ve Meyers JD., Evaluation of Electrical Conductivity Models for Conductive Polymer Composites, Journal of Applied Polymer Science, 2002, 83(6), 1341-1356.
19. Choi MH., Jeon BH. ve Chung IJ., The Effect of Coupling Agent on Electrical and Mechanical Properties of Carbon Fiber/Phenolic Resin Composites, Polymer, 2000, 41(9), 3243-3252.
20. Kojira K. ve Kiryu-shi, Agriculture and Horticulture: Plant Growth Promoted By Carbon Fibers, High Performance Textiles, 1999, 3-4.
21. Gao-Feng, Yao-Mu, Huo-Qunli, Electrical Properties of Short Carbon Fiber/Nitrile Butadiene Rubber (SCF/NBR) Composites, Xibei Fangzhi Gongxueyuan Xuebao. 1998, 12(2), 103-105.
22. Murakami K., Toshima H. ve Yamamoto M., Effect of Mesophase Pitches on Tensile Modulus of Pitch-Based Carbon Fibers, Sen-i Gakkaishi, 1997, 53/3,73-78.
23. Ming-Chien-Yang ve Da-Guang-Yu, Influence of Oxidation Conditions on Polyacrylonitrile-Based Activated Hollow Carbon Fibers, Textiles Research Journal, 1996, 66(2), 115-121.
24. Hampl V.Jr., Schweitzer Mauduit International Inc.,Cigarette Paper Containing Carbon Fibers for Improved Ash Characteristics, U.S Patent and Trademark Office, 2001, Patent Number: USP 6314964.