

신소재 산업으로의 확장(12)

3.5 세라믹 섬유

세라믹 섬유는 점토(Glaze)나 무기물을 여러가지 열처리 공정을 거쳐 섬유상으로 뽑은 것을 말한다. 인간이 만든 최초의 섬유는 장식용품으로 사용되었던 유색 유리실(colored glass threads)이었다. 1940년대에 유리섬유를 열처리한 다음 밀도화 시킴으로서 본격적인 세라믹 섬유가 개발되었는데 이때의 세라믹 섬유는 보강재라기 보다는 단열재로서의 역할이 지배적이었다.

1950년대에 이르러서는 여러가지 세라믹 섬유의 제조기술이 개발되었는데 카올린(kaolin, 점토의 형태)이나 여러가지 광물질로부터 단열섬유들이 제조되었다. 1960년대 이후로는 보론(boron)화합물을 이용한 세라믹 섬유와 금속산화물(metallic oxide)을 이용한 섬유, 질화물(nitride)을 이용한 섬유, 실리콘 카바이드(SiC) 섬유 등이 개발되어 오늘날까지 고온용 단열소재나 보강재, 우주항공용 소재로서 각광을 받고 있다.

세라믹 섬유는 일반적으로 산화(oxide) 섬유와 비산화(nonoxide) 섬유로 구분되는데 각각의 섬유는 연속(continuous) 섬유와 불연속(discontinuous) 섬유로 나눌 수 있다.

연속 산화 섬유는 금속산화물을 포함하고 있어 높은 탄성계수와 녹는점을 가지며 내부식성이 좋고 가공성이 우수하다. 특히 고온에서의 열안정성이 우수하여 고온용 소재로 사용되고 있다. 또한 실이나 직물, 로빙형태로 제조되기도 하여 레이다, 프로펠러, 블레이드 등에 이용된다. 현재 상업적으로 이용되고 있는 몇가지 연소산화 세라믹 섬유의 특성은 다음 <표 6>과 같다.

불연속 산화 섬유는 금속산화물을 포함하고 있으나 섬유의 평균길이가 짧다. 그러나 고온에서의 역학적 성질이 우수하다. 덩어리(bulk), 매트(mat), 조각(chop), 천(fabric) 등으로 제조되어 군사, 우주항공, 자동차등에 이용되며 특성은 다음 <표 7>과 같다.

<표 6> 연속 산화 세라믹 섬유의 성질

섬유	제조사	구성 (wt %)	밀도 (g/cm ³)	평균지름 (μ m)	인장강도 (GPa)	인장계수 (GPa)	사용온도 (℃)
파이버(Fiber)FP	듀폰	Al ₂ O ₃ ; >99	3.95	20	1.38	379	1320
넥스텔(Nextel)440	3M	Al ₂ O ₃ ; 70 B ₂ O ₃ ; 2 SiO ₂ ; 28	3.05	11	2.07	193	1430
넥스텔(Nextel)Z-11	3M	SiO ₂ ; 32 ZrO ₂ ; 68	3.7	14	1.31	76	1000
아스트로쿼츠 (Astroquartz)	J.P.스티 븐스	SiO ₂ ; 99.95	2.2	9	3.45	69	1050

<표 7> 불연속 산화 세라믹 섬유의 성질

섬유	제조사	구성 (wt %)	밀도 (g/cm ³)	평균지름 (μ m)	인장강도 (GPa)	인장계수 (GPa)	사용온도 (℃)
세라파이버 (Cerafiber)	맨빌 (Manville)	Al ₂ O ₃ ; 47 SiO ₂ ; 52.8	2.54	3.5	-	-	1315
넥스텔(Nextel)440	3M	Al ₂ O ₃ ; 70 B ₂ O ₃ ; 2 SiO ₂ ; 28	3.10	3.3	1.31	207-241	1430
파이버맥스 (Fibermox)	소하이오 (Sohio)	SiO ₂ ; 28	3.0	2.5-3.5	1.03	150	1130
지르카(Zircar)	지르카 프로덕트 (Zircar- Product Inc)	SiO ₂ ; 32 Al ₂ O ₃ ; 72 Y ₂ O ₃ ; 8 ZrO ₂ ; 92	5.6-5.9	4-6	-	-	2200

연속 실리콘 카바이드(SiC) 섬유는 고분자를 열분해하거나 화학적 증착 (chemical deposition)에 의하여 제조되며 높은 강도와 탄성계수를 갖는다. 또 고온에서의 열안정성과 내산화성이 우수하다. 실, 직물, 로빙 등으로 제조되며 미사일의 수직 안전판, 터빈 디스크 등에 이용된다. 이들 섬유의 특성은 <표 8>에 보인 바와 같다.

<표 8> 연속 실리콘 카바이드 섬유(continuous SiC fiber)의 성질

섬유	제조사	구성 (wt %)	밀도 (g/cm ³)	평균지름 (μ m)	인장강도 (GPa)	인장계수 (GPa)	사용온도 ($^{\circ}$ C)
니칼론 SiC	니폰카본사 (Nippon Carbon)	Si : 54.3 O : 11.8 C : 30.0 잔류물 : 3.9	2.55	10-15	2.5-3.3	180-200	1200
티라노 Si-Ti-C	우베산업 (Ube-industries)	Si : 44.2 O : 12.3 C : 24.5 Ti : 11.0 H : 0.6 N : 3.4 잔류물 : 4.0	2.3	10-15	1.99	117	1300

불연속 실리콘 카바이드 및 질화물 휘스커(whiskers)는 단결정으로 이루어졌으며 인장강도 및 탄성계수가 매우 높고 내열성이 우수하다. 특히 산화성 분위기에서 사용이 가능하며 비중이 작고 전기적으로 안정하다. 조각(chop)이나 매트(mat) 상태로 제조되어 FRM, FRC, FRP 등 고온용 복합재료에 이용되며 미사일의 날개, 항공 구조물등에도 응용된다. 이들 섬유의 특성은 <표 9>에 보인 바와 같다.

<표 9> 불연속 실리콘 카바이드 및 질화물 휘스커 섬유(continuous SiC fiber)의 성질

섬유	제조사	구성 (wt %)	밀도 (g/cm ³)	평균지름 (μ m)	인장강도 (GPa)	인장계수 (GPa)	사용온도 ($^{\circ}$ C)
실라(Sillar) SC-9	Arco- Metals Co.	SiC	3.2	0.6	6.9	690	1760
토카휘스커 (Toka-whisker)	Tokai- Carbon Co.	SiC	3.19	0.1-0.5	3-14	400-700	1600
타테호(Tateho) Si ₃ N ₄	Tateho- Chemical Co.	Si ₃ N ₄	3.18	0.1-0.16	-	-	1430

보론 섬유는 텅스텐 금속 섬유(직경 10 μ m)와 염화 보론을 원료로 하여 화학적

증착(CVD)방법으로 제조한 약 100정도의 직경에 2.62g/cm^3 정도의 밀도를 가지는 섬유를 말하는데 1960년경 개발되었으며 인장강도, 인장탄성률이 높고 녹는점이 높아서 섬유강화 복합재료의 보강재로 사용되고 있다.

특히 항공용 재료로 많이 사용되고 있으며 스포츠용품(tennis racket, golf shaft)등에도 광범위하게 이용되고 있다.