

탄소섬유복합소재 (CFRP)의 비틀림 특성 및 고온 노화 거동 평가 (406건)



[복합소재 시편 제작]

- 자동차, 항공우주 분야 적용 CFRP 부품의 비틀림 하중 거동 및 장기 내열 신뢰성을 평가하고자 함. 이를 위해 금속 소재 비틀림 표준(ISO 18338)을 준용하여 중공축 시편의 비틀림 시험법을 확립하고 고온 노화(Aging) 시간에 따른 물성 저하 경향을 분석함.
- Toray T700SC 섬유와 SKR-K51수지(36%)를 사용하여 $0^\circ, \pm 30^\circ, \pm 60^\circ$ 등의 적층각으로 와인딩 공법을 통해 중공축(외경 10mm, 내경 5mm) 시편을 제작함.

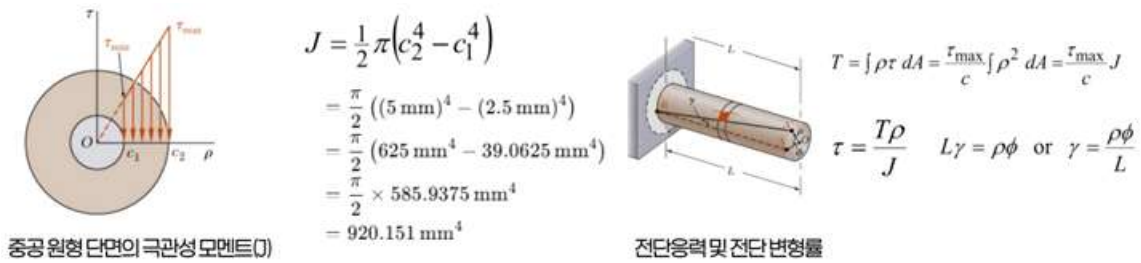


[비틀림 시험 장비]



[가속 노화 장비]

- E2000 회전피로시험기 및 V자홈 그립을 사용하여 표점거리 90mm 조건에서 $0.5^\circ/\text{s} \sim 1^\circ/\text{s}$ 의 비틀림 속도로 비틀림 시험을 수행함. 하중-각도 데이터를 기반으로 극관성모멘트(J)를 계산하고 최종적으로 전단응력(MPa), 전단변형률(%), 전단탄성계수(GPa)를 산출함.



[전단 응력 및 변형률 계산]

- 시편을 실제 사용 환경(Tg근접)모사를 위해 80°C~110°C 의 온도 조건에서 최대 7일 노화시킴. 24시간, 72시간, 168시간 시점별로 시편을 확보하여 상기 비틀림 시험을 동일하게 수행함.
- 노화 온도 및 시간에 따른 전단 탄성계수, 초기 파단 응력, 파단 변형률의 변화 추이를 분석함.

[30도 적층 CFRP (노화 0시간)]

구분		온도 (° C)	노화 시간 (시간)	전단 탄성 계수 (GPa)	초기 파단 전단 응력 (MPa)	초기 파단 전단 변형률 (%)	(최종) 파단 전단 응력 (MPa)	(최종) 파단 전단 변형률 (%)	최대전 단응력 (MPa)	최대 전단 변형률 (%)	평균 전단 변형률 (%)
시 료 #2	#1	-	0	9120.75	340.78	4.97	322.04	6.30	350.75	6.30	3.05
	#2	-	0	9298.59	226.13	3.01	320.57	5.89	324.96	5.89	2.95
	#3	-	0	9962.69	261.83	3.09	298.83	4.00	303.44	4.01	1.97
	#4	-	0	9717.89	253.05	2.81	360.42	4.91	360.42	4.94	2.44
	#5	-	0	9658.13	251.36	2.90	320.08	4.86	335.00	4.86	2.36
	#6	-	0	9104.66	228.98	2.79	252.44	3.92	292.42	3.92	1.93
	#7	-	0	10305.16	266.61	2.85	318.46	3.89	321.66	3.90	1.96
	#8	-	0	9665.85	246.98	2.93	302.0823	4.51	315.50	4.52	2.23

[30도 적층 CFRP (노화 24시간)]

구분		온도 (° C)	노화 시간 (시간)	전단 탄성 계수 (GPa)	초기 파단 전단 응력 (MPa)	초기 파단 전단 변형률 (%)	(최종) 파단 전단 응력 (MPa)	(최종) 파단 전단 변형률 (%)	최대전 단응력 (MPa)	최대 전단 변형률 (%)	평균 전단 변형률 (%)
시 료 #2	#1	80	24	9485.00	241.06	2.88	327.83	4.72	333.95	4.73	2.31
	#2	80	24	9163.05	241.50	2.82	309.23	4.39	318.49	4.39	2.19
	#3	90	24	8714.05	237.65	3.09	270.37	3.91	270.37	3.94	1.94
	#4	90	24	9306.70	246.97	2.79	273.67	4.69	334.02	4.69	2.30
	#5	100	24	8853.53	223.95	2.74	236.75	3.38	245.48	3.41	1.65
	#6	100	24	9052.40	228.51	2.85	241.79	3.24	243.10	3.27	1.59
	#7	110	24	9287.38	231.89	2.56	342.73	4.76	349.34	4.7	2.34
	#8	110	24	9107.60	265.92	3.05	317.27	4.85	324.86	4.86	2.38

[30도 적층 CFRP (노화 72시간)]

구분		온도 (° C)	노화 시간 (시간)	전단 탄성 계수 (GPa)	초기 파단 전단 응력 (MPa)	초기 파단 전단 변형률 (%)	(최종) 파단 전단 응력 (MPa)	(최종) 파단 전단 변형률 (%)	최대전 단응력 (MPa)	최대 전단 변형률 (%)	평균 전단 변형률 (%)
시 료 #2	#1	80	72	9502.95	266.92	3.17	310.42	4.26	319.74	4.27	2.11
	#2	80	72	9279.53	239.29	2.73	340.55	4.74	346.14	4.74	2.34
	#3	90	72	9036.11	223.14	2.56	160.03	4.11	313.92	4.11	2.01
	#4	90	72	9315.76	239.90	2.72	341.86	4.97	350.38	5.01	2.47
	#5	100	72	9199.94	237.50	2.77	286.83	3.88	295.69	3.90	1.94
	#6	100	72	8957.16	208.36	2.44	166.91	3.94	288.34	3.94	1.93
	#7	110	72	8899.81	199.64	2.27	290.10	3.87	290.99	3.88	1.91
	#8	110	72	9124.88	219.00	2.58	232.12	5.02	306.06	5.03	2.39

[30도 적층 CFRP (노화 168시간)]

구분		온도 (° C)	노화 시간 (시간)	전단 탄성 계수 (GPa)	초기 파단 전단 응력 (MPa)	초기 파단 전단 변형률 (%)	(최종) 파단 전단 응력 (MPa)	(최종) 파단 전단 변형률 (%)	최대전 단응력 (MPa)	최대 전단 변형률 (%)	평균 전단 변형률 (%)
시 료 #2	#1	80	168	9493.27	235.39	2.62	366.97	5.31	373.36	5.31	2.65
	#2	80	168	8787.74	206.15	2.49	241.18	3.51	243.84	3.52	1.73
	#3	90	168	8081.57	213.46	2.74	244.43	3.54	246.62	3.54	1.75
	#4	90	168	9017.66	234.38	2.74	138.00	3.74	283.26	3.74	1.86
	#5	100	168	9276.44	215.83	2.62	296.49	4.35	296.49	4.44	2.25
	#6	100	168	8273.42	212.30	2.75	266.14	4.19	269.78	4.19	2.06
	#7	110	168	9115.87	196.49	2.38	288.41	4.16	288.41	4.19	2.07
	#8	110	168	8279.20	179.62	2.31	236.85	3.74	237.23	3.76	1.86

[60도 적층 CFRP (노화 0시간)]

구분		온도 (° C)	노화 시간 (시간)	전단 탄성 계수 (GPa)	최대 전단 응력 (MPa)	최대 전단 변형률 (%)	초기 파단 전단 응력 (MPa)	초기 파단 전단 변형률 (%)
시료 #2	#1	-	0	9.14	305.04	4.17	254.97	3.01
	#2	-	0	8.97	324.71	5.13	233.89	2.72
	#3	-	0	9.14	373.80	6.84	262.46	3.25
	#4	-	0	9.35	370.05	7.77	200.78	2.28
	#5	-	0	9.35	372.42	6.77	276.60	3.54
	#6	-	0	8.99	369.62	6.74	364.68	4.68

[60도 적층 CFRP (노화 24시간)]

구분		온도 (° C)	노화 시간 (시간)	전단 탄성 계수 (GPa)	최대 전단 응력 (MPa)	최대 전단 변형률 (%)	초기 파단 전단 응력 (MPa)	초기 파단 전단 변형률 (%)
시 료 #2	#1	80	24	9.18	352.93	8.32	226.04	2.84
	#2	80	24	8.69	371.96	9.98	223.48	3.31
	#3	90	24	9.55	401.68	11.45	336.72	3.96
	#4	90	24	10.56	356.87	6.10	273.28	3.23
	#5	100	24	9.43	381.30	6.71	347.18	4.17
	#6	100	24	9.39	366.08	6.03	329.12	4.50
	#7	110	24	9.64	332.89	5.76	252.77	2.77
	#8	110	24	9.24	377.32	5.30	377.17	4.93

[60도 적층 CFRP (노화 72시간)]

구분		온도 (° C)	노화 시간 (시간)	전단 탄성 계수 (GPa)	최대 전단 응력 (MPa)	최대 전단 변형률 (%)	초기 파단 전단 응력 (MPa)	초기 파단 전단 변형률 (%)
시 료 #2	#1	80	72	9.90	360.96	6.83	213.41	2.32
	#2	80	72	9.31	371.15	7.35	238.64	2.95
	#3	90	72	9.60	315.21	4.16	258.29	3.10
	#4	90	72	9.33	320.32	3.84	175.68	3.84
	#5	100	72	9.50	378.73	7.45	323.31	3.81
	#6	100	72	9.75	377.42	6.43	305.89	3.34
	#7	110	72	9.38	380.15	7.24	315.50	3.59
	#8	110	72	9.35	366.15	6.35	301.37	4.10

[60도 적층 CFRP (노화 168시간)]

구분		온도 (° C)	노화 시간 (시간)	전단 탄성 계수 (GPa)	최대 전단 응력 (MPa)	최대 전단 변형률 (%)	초기 파단 전단 응력 (MPa)	초기 파단 전단 변형률 (%)
시 료 #2	#1	80	168	9.53	363.07	6.37	283.02	3.81
	#2	80	168	8.76	347.44	7.01	187.66	2.41
	#3	90	168	9.35	352.07	6.88	209.77	2.40
	#4	90	168	9.12	307.40	3.82	277.31	3.22
	#5	100	168	9.42	373.79	7.12	218.73	2.71
	#6	100	168	9.27	409.72	7.77	299.32	3.67
	#7	110	168	8.77	353.67	7.18	256.70	3.65
	#8	110	168	8.44	346.97	6.42	229.37	2.95