

◆특집◆ 나노복합재의 제작과 응용

VGCF 강화 Carbon Fabric/Ep의 기계적 물성

박지상*, 공진우**, 정상수*, 김태욱**, 김병선*

Mechanical Properties of VGCF reinforced Carbon Fabric/Ep

Ji-Sang Park*, Jin-Woo Kong**, Sang-Soo Jung*, Tae-Wook Kim**, Byung-Sun Kim*

Key Words: VGCF(카본나노섬유), Carbon Fabric(카본패브릭), Dispersion(분산), Mechanical Properties(기계적 특성)

1. 서론

일반적으로 널리 이용되고 있는 복합재료의 성형공정에서 프리프레그를 이용한 복합재료는 뛰어난 기계적 물성으로 인해 널리 이용되고 있으나 두께 방향으로의 보강섬유가 없기 때문에 이 방향으로의 물성이 아주 취약하다. 본 논문에서는 이러한 복합재료의 구조적 단점을 극복하기 위해 아주 단단하고 높은 강도와 우수한 열적, 전기적 물성을 가지는 탄소나노섬유를 이용하여 기계적인 물성향상에 대한 연구를 수행하였다. 일반 마이크로 탄소섬유에 탄소나노섬유를 첨가한 하이브리드 복합재료의 제조에 있어서 탄소나노섬유의 우수한 물성을 활용하기 위해서는 탄소나노섬유의 균일한 분산과 탄소나노섬유와 수지간의 계면결합력 향상이 중요한 요인으로 작용한다. 본 연구에서는 기계적 분산^{4,5} 및 초음파 분산⁶ 등의 두 가지 방법을 통해 탄소나노섬유를 분산하였고, 탄소나노섬유가 분산된 에폭시 수지를 이용하여 프리프레그를 제조 및 성형하여, 하이브리드 복합재료를 제조하였다. 제조된 하이브리드 복합재료의 물성을 측정하였고, 순수 마이크로 탄소섬유 복합재료의

물성과 상호 비교하였다. 또한 주사전자현미경을 통해 파단된 시편 단면을 촬영하여 분산 정도를 확인하였다.

2. 하이브리드 복합재료 제조

2.1 탄소나노섬유의 분산

분산 시험에 사용된 카본나노섬유는 기상증착법에 의해 생성된 일본의 Showa Denko 사의 VGCF 이다. 위사의 카본나노섬유는 섬유의 형태가 꼬임이나 휘어짐이 없고 거의 곧은 직선의 형태를 가지고 있어 고강도용 재료로 적합함을 알 수 있다. 탄소섬유직물은 K.P.I. (주)에서 본 연구에 맞게 특별히 제작하였으며, 에폭시 수지는 탄소나노섬유 첨가를 위해 직접 배합하여 제조하였다. Table 1 은 사용된 카본나노섬유의 기본 물성을 나타내며 Fig. 1 은 SEM 을 통해 촬영된 섬유 형상 및 탄소섬유 직물을 나타내었다.

Table 1 Basic Properties of VGCF

VGCF (Showa Denko, Japan)		
Fiber diameter	μm	0.15
Fiber length	μm	10 ~ 20
Aspect ratio	-	10 ~ 500
Real density	g/cm ³	2.0
Bulk density	g/cm ³	0.04
Specific surface area	m ² /g	13

* 한국기계연구원 복합재료실

** inocom.

Tel: 055-280-3310, Fax: 055-280-3498

Email kbs@kims.re.kr

당 연구실에서는 복합재료와 관련된 제조공정, 구조해석, 시험 평가등을 수행하고 있다.

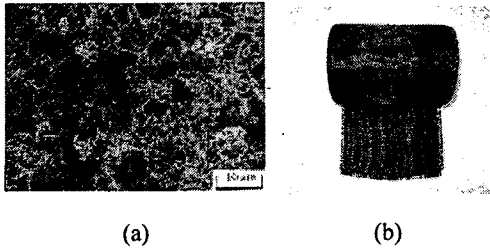


Fig. 1 (a) SEM view of VGCF and (b) Carbon Fabric

탄소나노섬유를 에폭시내에 균일 분산시키기 위해서 Fig. 2 와 같은 공정으로 분산을 실시하였다. 먼저 Ethyl alcohol 에 분산된 VGCF 를 수지와 30 분간 mixing 한 후 층간 분리된 Ethyl alcohol 을 제거한 뒤 80°C 분위기에서 1 시간 교반하여 남은 Ethyl alcohol 를 휘발시켰다. 이후 경화제를 섞어 최종적으로 탄소나노섬유가 분산된 에폭시 수지를 제조하였다.

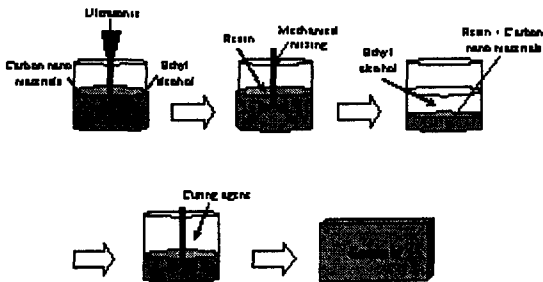


Fig. 2 Optimal Dispersion of VGCF in Epoxy

2.2 하이브리드 복합재료의 제조

하이브리드 프리프레그를 제조하기 위하여, Fig. 3 에서 보는 바와 같이 Solution dip type 의 프리프레그 장치를 구축하였다. 수지 함침을 위한 Resin Bath 에 가압을 위한 롤러, 경화를 위한 Oven 및 생산 속도 조절이 가능한 실험실 스케일의 장비를 구축하였다. 앞서 제조된 탄소나노섬유가 분산된 에폭시 수지를 이용하여 하이브리드 프리프레그를 제조하였다.

수지의 특성에 따른 경화조건 및 생산속도 결정을 통해 수지내에 존재하는 solvent 를 제거하여 최종 B-stage 의 프리프레그를 제조하였다. 제조된 프리프레그를 시편 크기에 맞게 적층하고, Autoclave 로 성형하여 하이브리드

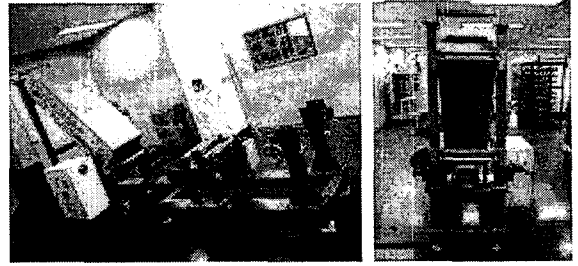


Fig. 3 Prepping M/C (Solution dip type)

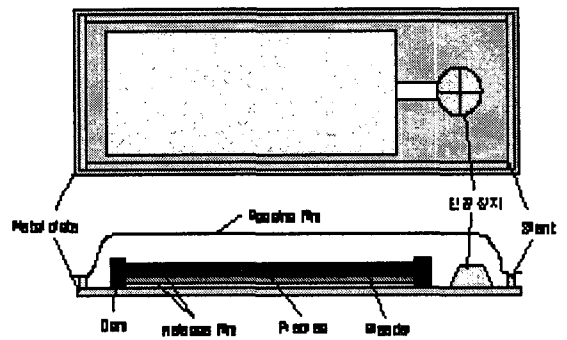


Fig. 4 Processing of Hybrid Composite

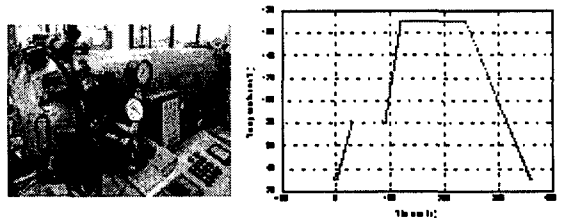


Fig. 5 (a) Autoclave and (b) Cure Cycle

복합재료 시편을 제작하였다. Fig. 4 는 하이브리드 복합재료의 성형 방법을 나타낸 것이며, Fig. 5 는 성형 장치와 경화 사이클을 나타낸 것이다.

3. 기계적 물성

3.1 하이브리드 복합재료의 기계적 물성

하이브리드 복합재료의 기계적 물성을 측정하기 위해 UTM(Universal Testing Machine)을

이용하여 시험을 실시하였다. Fig.6, 7 은 하이브리드 복합재료의 인장시험(ASM D3039)과 전단시험(ASM D5379)을 위한 시편을 나타낸 것이다. Fig. 7 은 카본나노 복합재료의 기계적 특성 평가를 위한 UTM 시험장비를 나타낸 것이다. 시험조건은 다음과 같다.

- ▶ Test Machine:
Universal Test Machine (UTM)
Shimadzu co. LTD.
- ▶ Load Cell: Max. 10 ton
- ▶ Test Speed: 1 mm/min
- ▶ Data Rate: 10 pts/sec

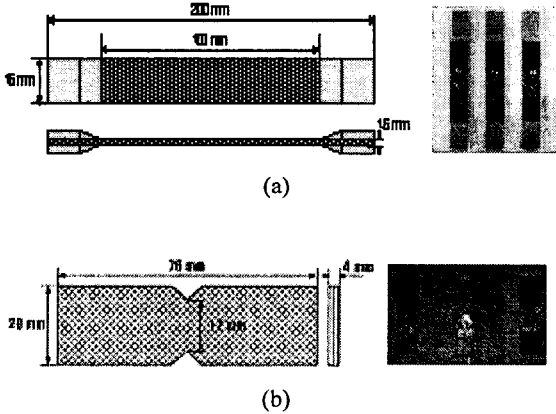


Fig. 6 Test Specimens; (a) Tensile and (b) Interlaminar shear



Fig. 7 Testing by UTM

에폭시 수지에 탄소나노섬유(3 wt%)를 혼합하고 마이크로 탄소섬유 직물에 함침 한 하이브리드 복합재료를 UTM 이용한 기계적 특성시험을 실시하여, 그 결과 값을 Table 2 와 3, 그리고 Fig. 8 에 나타내었다.

Table 2 Tensile test Results of Hybrid Composites

Sample	Load (kgf)	Strength (MPa)		Modulus (GPa)	
		Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Micro	2273	771.7	35.1	50.6	0.8
Hybrid	2773	952.5	27.2	68.2	1.5

Table 3 Interlaminar shesr test Results of Hybrid Composites

Sample	Load (kgf)	Strength (MPa)		Modulus (GPa)	
		Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Micro	541	122.1	3.4	5.56	0.36
Hybrid	761	177.6	9.5	9.90	0.81

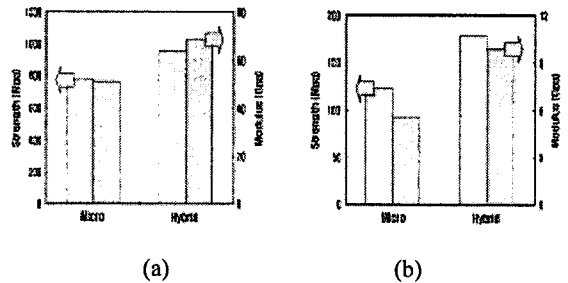


Fig. 8 Mechanical test Results of Hybrid Composites; (a) Tensile and (b) Interlaminar shear

하이브리드 복합재료의 기계적 물성 측정 결과 인장 및 전단 시험 모두에서 탄소나노섬유를 함유하지 않은 순수 마이크로 복합재료에 비해 높은 강도 및 강성도 값을 보였다. 특히 하이브리드 복합재료의 경우 인장력보다 전단력의 물성이 더 효과적으로 나타났는데, 이는 마이크로 탄소나노섬유 복합재료가 가지고 있는 층간 결합력이 약한 단점을 극복한 것에 기인한다고 볼 수 있다. 즉, 에폭시 수지 내에 분산된 탄소나노섬유가 계면결합력을 향상시키는 결과를 보임을 알 수 있다.

3.2 하이브리드 복합재료의 파단면 결과

하이브리드 복합재료의 파단면을 SEM 을 이용하여 관찰한 결과를 Fig. 9 에 나타내었다. 하이브리드 복합재료의 파단면을 관찰하기 위해 시험 시편을 절단한 뒤 산처리를 통해 표면을 etching 한 뒤 SEM 을 통해 관찰하였는데, Fig. 9 에서 보는 바와 같이 에폭시 수지 내에 탄소나노섬유가 골고루 분산되어 있음을 확인할 수 있었다.

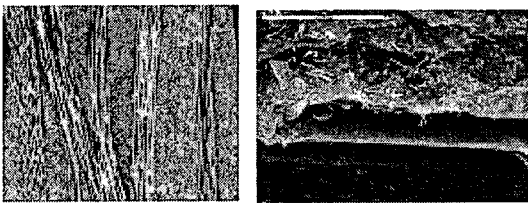


Fig. 9 Fracture surface of Hybrid Composite

4. 결 론

에폭시 수지의 특성을 고려하여 최적화된 분산방법을 확인하였고, 최적화된 분산방법을 통해 프리프레그용 에폭시 수지를 제조하였다. 하이브리드 복합재료를 제조하기 위해 우선 B-stage 의 프리프레그를 제조하여야 하는데, 다양한 환경 변수를 고려하여 프리프레그를 제조하였다. 구축된 프리프레그 장비를 통해 프리프레그를 제조하고 인장 시험과 전단시험을 실시하여 그 물성을 비교하였는데, 탄소나노섬유가 분산된 하이브리드 복합재료의 경우 인장 및 전단 시험 모두에서 높은 향상된 물성값을 보였다. 탄소나노섬유가 강화된 하이브리드 복합재료의 경우 일반 마이크로탄소섬유 복합재료의 비해 인장의 경우 23 %, 전단의 경우 45 %이상의 물성향상을 보였는데, 이러한 결과로 비추어 탄소나노섬유의 강화효과가 뚜렷함을 알 수 있다. 탄소나노섬유의 강화효과는 전단의 경우가 더 크게 나타나는데, 이러한 결과에 비추어 탄소섬유 복합재료의 단점인 층간 강도 향상에 크게 기여한다고 볼 수 있다.

후 기

이 연구(논문)은 과학기술부 21 세기 프론티어 연구사업인 ‘나노소재기술개발사업단’의 지원 (과제번호 M102KO010006-04K1501-006)으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Ma, H., "Processing, structure, and properties of fibers form polymer/carbon nanofiber composites," *Comp. Sci. & Tech.*, Vol. 65, No. 1, pp.1617-1628, 2003.
2. Johnson, J. A., "Dispersion and film properties of carbon nanofiber pigmented conductive coatings," *Progress in organic Coatings*, Vol. 47, No. 1, pp.198-206, 2003.
3. Lee, S. H., "Tensile properties and fatigue characteristics of hybrid composites with non-woven carbon tissue," *International Journal of Fatigue*, Vol. 24, No. 1, pp.397-405, 2002.
4. Wagner, A. J. "Processing and properties of carbon nanofiber/epoxy vinyl ester resin composites," *SAMPE Symposium Proceeding, Long Beach*, pp. 278-205, 2003.
5. Allaoui, A., "Mechanical and electrical properties of a MWNT/epoxy composite," *Comp. Sci. & Tech.*, Vol.62, pp.1993-1998, 2002.
6. Kong, J. W, Wo, J., "A study on mechanical properties of carbon nanofiber/epoxy composites with dispersion methods," *Proceeding of The Korean Society for Composite Materials Spring Conference*, pp.151-154, 2004.
7. Hussain, M., "Mechanical property improvement of carbon fiber reinforced epoxy composites by AL203 filler dispersion," *Materials Letters*, Vol. 26, pp.185-191, 1996.