

# 탄소나노섬유가 강화된 하이브리드 복합재료의 기계적 물성

공진우\*·정상수\*·김태욱\*

## Mechanical Properties of Carbon Nanofiber Reinforced Hybrid Composites

Jin-Woo Kong\*, Sang-Su Chung\*, and Tae-Wook Kim\*

**Key Words:** Carbon nanofiber, Hybrid composite, Mechanical properties, Scanning electron microscope(SEM)

### Abstract

Carbon nanofiber exhibits superior and often unique characteristics of mechanical, electrical chemical and thermal properties. In this study, For improvement of the mechanical properties of composites, carbon nanofiber reinforced hybrid composites was investigated. For the effect of dispersion, The dispersion methods of solution blending and mechanical mixing were used. The mixing of solution blending method was used using ultrasonic. Dispersion of carbon nanofiber was observed by scanning electron microscope (SEM). Mechanical properties were measured by universal testing Machine (UTM).

## 1. 서 론

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[5] 및 초음파 분산[6] 등의 두가지 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 VGCF이다. 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 연구

에 맞게 특별히 제작하였으며, 에폭시 수지는 탄소나노섬유 첨가를 위해 직접 배합하여 제조하였다. 표 1은 사용된 카본나노섬유의 기본 물성을 나타내며 그림 1은 SEM을 통해 촬영된 섬유 형상 및 탄소섬유 직물을 나타내었다.

Table 1 카본나노섬유의 기본 물성

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

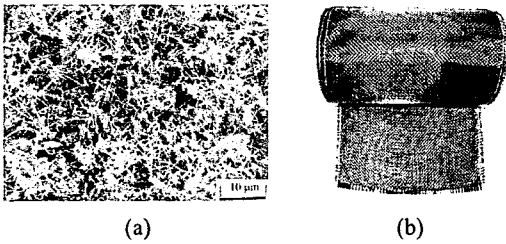


Fig. 1 (a) 카본나노섬유(VGCF)의 SEM사진 및 (b) 탄소섬유 직물

탄소나노섬유를 에폭시내에 균일 분산시키기 위해서 그림 2와 같은 공정으로 분산을 실시하였다. 먼저 Ethyl alcohol에 분산된 VGCF를 수지와 30분간 mixing한 후 층간 분리된 Ethyl alcohol을 제거한 뒤 80°C 분위기에서 1시간 교반하여 남은 Ethyl alcohol을 휘발시켰다. 이후 경화제를 섞어 최종적으로 탄소나노섬유가 분산된 에폭시 수지를 제조하였다.

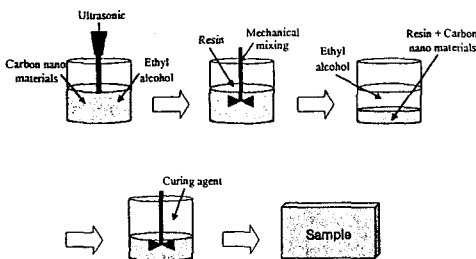


Fig. 2 탄소 나노섬유의 수지 내 최적 분산방법

## 2.2 하이브리드 복합재료의 제조

하이브리드 프리프레그를 제조하기 위하여, 그림 3에서 보는 바와 같이 Solution dip type의 프리프레그 장치를 구축하였다. 수지 함침을 위한 Resin Bath에 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.

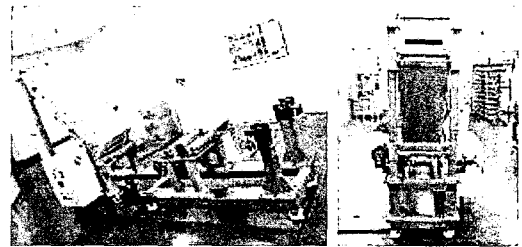


Fig. 3. Solution dip type의 프리프레그 장치

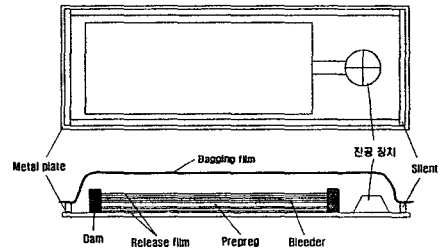


Fig. 4. 하이브리드 복합재료의 성형 방법

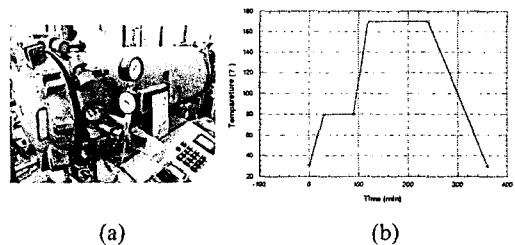


Fig. 5 하이브리드 복합재료의 (a) 성형 장치 및 (b) Cure Cycle

수지의 특성에 따른 경화조건 및 생산속도 결정을 통해 수지내에 존재하는 solvent를 제거하여 최종 B-stage의 프리프레그를 제조하였다. 제조된 프리프레그를 시편 크기에 맞게 적층하고, Autoclave로 성형하여 하이브리드 복합재료 시편을 제작하였다. 그림 4는 하이브리드 복합재료의 성형 방법을 나타낸 것이며, 그림 5는 성형 장치

와 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. 그림 6, 7은 하이브리드 복합재료의 인장시험(ASTM D3039)과 전단시험(ASTM D5379)을 위한 시편을 나타낸 것이다. 그림 7은 탄소나노 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

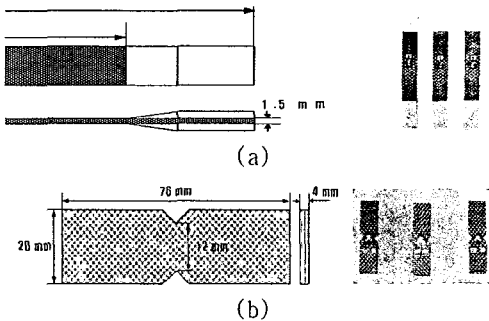


Fig. 6 기계적 물성 측정을 위한 시편; (a) 인장시험 and (b) 전단시험

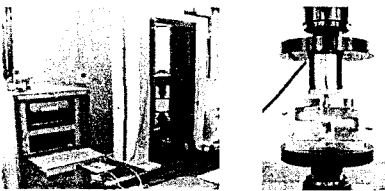


Fig. 7 UTM을 이용한 기계적 특성시험

에폭시 수지에 탄소나노섬유(3 wt%)를 혼합하고 마이크로 탄소섬유 직물에 함침 한 하이브

리드 복합재료를 UTM 이용한 기계적 특성시험을 실시하여, 그 결과 값을 표 2와 3, 그리고 그림 8에 나타내었다.

Table 2 하이브리드 복합재료의 인장시험 결과

| 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 하이브리드 복합재료의 전단시험 결과

| 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 |

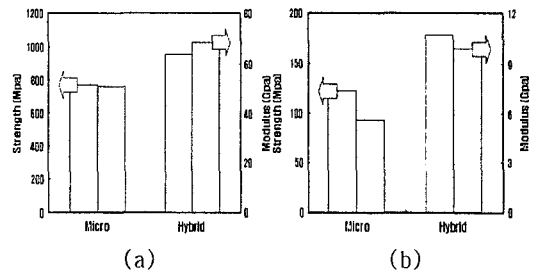


Fig. 8 하이브리드 복합재료의 기계적 물성 결과; (a) 인장시험 and (b) 전단시험

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 층간결합력이 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 SEM을 이용

하여 관찰한 결과를 그림 9에 나타내었다. 하이브리드 복합재료의 파단면을 관찰하기 위해 시험시편을 절단한 뒤 산처리를 통해 표면을 etching한 뒤 SEM을 통해 관찰하였는데, 그림 9에서 보는바와 같이 에폭시 수지 내에 탄소나노섬유가 골고루 분산되어 있음을 확인할 수 있었다.

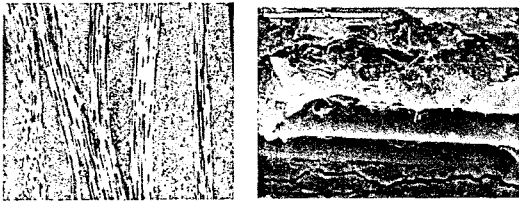


Fig. 9 하이브리드 복합재료의 파단면 분석

#### 4. 결론

에폭시 수지의 특성을 고려하여 최적화된 분산 방법을 확인하였고, 최적화된 분산방법을 통해 프리프레그용 에폭시 수지를 제조하였다. 하이브리드 복합재료를 제조하기 위해 우선 B-stage의 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 강화효과를 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 21세기 프론티어 연구사업인 '나노소재기술개발사업단'의 지원(과제번호 M102KO010006-04K1501-006)으로

수행되었습니다.

#### 참고문헌

- (1) Hongming Ma, "Processing, structure, and properties of fibers form polymer/carbon nanofiber composites", *Comp. Sci. & Tech.*, 2003(65), 1617-1628.
- (2) Joel A. Johnson, "Dispersion and film properties of carbon nanofiber pigmented conductive coatings", *Progress in organic Coatings*, 2003(47), 198-206.
- (3) Seim-Hwan Lee, "Tensile properties and fatigue characteristics of hybrid composites with non-woven carbon tissue", *International Journal of Fatigue*, 2002(24), 397-405.
- (4) Amy J. Wagner, "Processing and properties of carbon nanofiber/epoxy vinyl est resin composites", *SAMPE*, 2003.
- (5) A. Allaoui, "Mechanical and electrical properties of a MWNT/epoxy composite", *Comp. Sci. & Tech.*, 2002(62), 1993-1998.
- (6) Jin-Woo Kong, "A study on mechanical properties of carbon nanofiber/epoxy composites with dispersion methods", *한국복합재료학회 춘계 학술논문집*, 2004, 151-154.
- (7) Manwar Hussain, "Mechanical property improvement of carbon fiber reinforced epoxy composites by AL203 filler dispersion", *Materials Letters* 1996(26), 185-191.