

다중벽 나노튜브가 첨가된 유리 직물 복합재료의 미세구조 및 전자기적 물성

이상의*, 이원준*, 김천곤**

Microstructure and Electromagnetic Property of MWNT-added Glass Fabric/Epoxy Composites

Sang-Eui Lee*, Won-Jun Lee*, Chun-Gon Kim**

Key Words: Multi-walled carbon nanotube (MWNT), glass/epoxy fabric composite, electromagnetic characteristics, permittivity, X-band (8.2~12.4 GHz)

Abstract

We fabricated MWNT-added glass fabric/epoxy composites. We observed the distribution of MWNTs in the composites using scanning electron microscopy and conformed that most of MWNTs exist in matrix rich region and interface between yarns in warp and fill directions. We also investigated the change of permittivities with MWNT concentrations. Only 1wt% MWNTs leads to high permittivity and electromagnetic waves are impossible to be transmitted to more than 3wt% MWNT-added composites, which means the characteristics of these composites are comparable to those of metals or carbon fiber-reinforced composites.

1. 서론

최신의 전투기나 선박, 자동차 등에는 비강성, 비강도가 아주 뛰어난 섬유강화 복합재료의 적용이 증가되는 추세이다. 섬유강화 복합재료들에는 전자파 흡수에 사용될 수 있는 좋은 전자기적 특성들을 가지고 있는 재료들이 있다. 유리섬유 계열의 섬유강화 복합재료는 전자파를 잘 투과시키는 특성이 있으며, 탄소 섬유강화 복합재료는 전자파를 금속과 같이 대부분 반사시키는 특성을 가지고 있다. 그리고 섬유강화 복합재료는 제조시 모재(matrix)와 혼합하여 제조하는 공정을 거치기 때문에, 이 공정 중에 전자기적 특성이 우수한 필러(filler)를 모재에 혼합하여 섬유강화 복합재료의 전자기적 물성을 조절할 수 있다. 이러

한 특징을 가진 섬유강화 복합재료를 이용하여 전자파 흡수 구조(RAS, radar absorbing structure)를 제작한다면, 하중을 지지할 수 있는 전자파 흡수 구조의 제작이 가능하다. 또한 섬유강화 복합재료는 일정한 두께를 가지는 프리프레그(prepreg)로 사용되므로 중요한 설계요소 중 하나인 두께를 조절하기가 용이하다. 그리고 다층구조로 적층·제작할 수 있으며, 설계에 따라 성능이 우수한 전자파 흡수 구조의 제작이 가능하다.

일반적으로 복합재료를 이용한 전자파 흡수 구조는 전자파가 입사하는 면은 필러를 첨가한 유리섬유강화 복합재료를 사용하여 전자파를 흡수하며, 이것의 배면에 탄소 섬유강화 복합재료를 덧댈으로써 투과되는 전자파를 없애는 구조로 제작되어진다[1,2].

필러는 자성손실을 가진 재료와 유전손실을 가진 재료로 나뉘어지며, 자성손실을 이용한 재료로는 페라이트(ferrite)가, 유전손실을 이용한 재료로는 카본블랙, 탄소필라멘트, 탄소 단섬유 등이

* KAIST, 항공우주공학전공 대학원

** KAIST, 항공우주공학전공 교수,
교신저자(cgkim@kaist.ac.kr)

사용되어왔다[3,4]. 페라이트는 고주파에서의 흡수 성능이 떨어지고, 철 계열의 재료이기 때문에 무게가 많이 나가는 단점이 있어, 복합재료의 특성을 살리기 위해서는 유전손실재가 더 적합하다. 일반적으로 복합재료의 전자기적 물성은 필러의 전기전도도 및 형상에 주로 영향을 받는다. 형상면에서 볼 때 세장비(aspect ratio)가 크고, 직경이 작을수록 전자파 흡수 및 반사에 효율적이라고 알려져 있다[3,4]. 1991년 Iijima에 의해 발견된 탄소나노튜브(CNT, carbon nanotube)는 구조상으로 크게 단일벽 탄소나노튜브(SWNT, single-walled carbon nanotube)와 다중벽 탄소나노튜브(MWNT, multi-walled carbon nanotube)로 나뉘어지며, 어떤 필러보다도 기계적·전자기적 물성이 우수하고, 직경은 수 nm, 세장비는 거의 1000에 이른다. 따라서 CNT를 필러로 사용할 경우, 기존의 필러보다 뛰어난 전자기적 특성을 보일 것으로 예상된다.

이런 특성들로 인해 MWNT를 첨가한 섬유강화 복합재료는 적은 양으로도 우수한 전자기적 물성을 가질 것으로 보인다. 일반적으로 필러의 첨가가 복합재료의 기계적 물성의 저하로 이어지므로, 이 사실은 매우 중요하다. 또한 MWNT의 형상은 크랙(crack)의 진전을 막는 데 효과적일 것으로 기대되어, 기계적 물성도 우수할 것으로 보인다.

이전 연구에서는 MWNT를 에폭시에 첨가하여, MWNT의 손실재료로서의 가능성을 살펴보았으며,[5] 본 연구에서는 이를 바탕으로 MWNT가 첨가된 유리 섬유강화 직물 복합재료의 MWNT 첨가량에 따른 유전율의 변화를 고찰하고, 복합재료 내의 MWNT의 분산 특성을 관찰하였다.

2. MWNT가 첨가된 유리섬유 직물 복합재료의 제작

2.1 재료

본 연구에서 사용한 MWNT는 일진나노텍에서 구입한 것으로 화학기상증착법(chemical vapor deposition, CVD)에 의해 제작된 것이다. Fig. 1은 투과전자현미경 (transmission electron microscopy, TEM)을 이용하여 얻은 MWNT의 형상을 보여주며, 다중벽으로 되어 있고, 직경이 10~20 nm, 세

장비는 1000 이상임을 확인하였다. 또한 Fig. 2에 보여지는 EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) 분석을 통하여 순도가 95 wt% 이상임을 확인하였다. EDS 분석에서 나타난 미량의 Al 및 Fe는 MWNT를 제작하기 위해 사용된 금속 촉매의 잔류량이며, wt%는 무게 백분율(weight percent)을, at%는 원자 백분율(atomic percent)을 나타낸다. 복합재료 프리프레그는 (주)한국화이버에서 제작한 유리직물 에폭시 프리프레그 K618을 사용하였다.

2.2 제작

MWNT를 무게비로 1wt%, 3wt%, 5wt%가 첨가된 유리 직물 복합재료를 제작하였으며, 프리프레그 제작시 MWNT를 에폭시 수지 내에 잘 분산시켜 직물에 도포하였다. 이들 복합재료를 각각 MWNT1, MWNT3, MWNT5로 나타냈으며, 비교를 위해 MWNT를 넣지 않은 순수 유리 직물 복합재료도 제작하였으며, MWNT0로 표기하였다. 첨가량이 증가할수록 에폭시 수지의 점도가 증가하여, 도포 작업이 어려웠다. 제작된 프리프레그는 Fig. 3의 경화 공정을 거쳐 성형하였다.

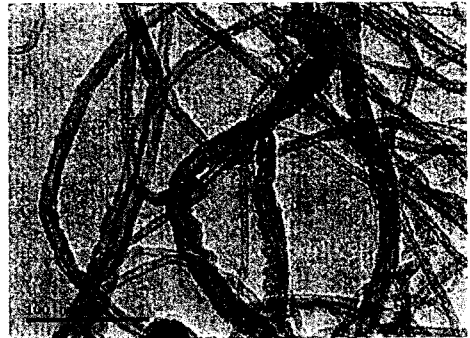


Fig. 1 TEM image of MWNT in use.

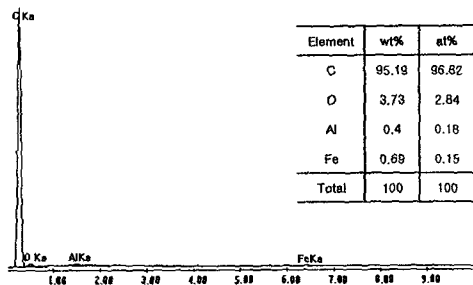


Fig. 2 Energy dispersive spectroscopy of MWNT in use.

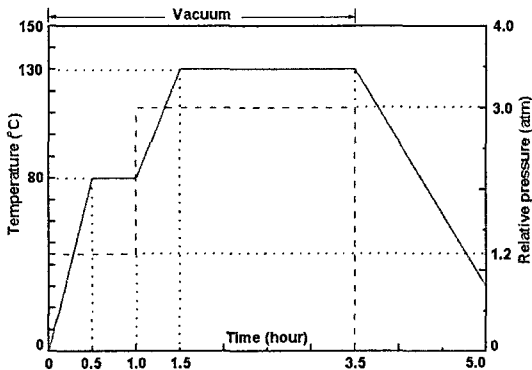


Fig. 3 Curing cycle of MWNT-added composites.

3. MWNT가 첨가된 유리섬유 직물 복합재료의 미세구조

제작된 복합재료의 미세구조를 주사 전자 현미경(scanning electron microscopy, SEM)을 이용하여 관찰하였다. Fig. 4과 MWNT의 SEM 사진이다. 사진에서 원형단면은 warp 방향의 유리섬유이며, 세로방향으로 길게 배열되어 있는 것이 fill 방향의 유리섬유이다. MWNT가 주로 모재 과잉 영역(matrix rich region)이나 warp과 fill 방향의 유리섬유 안(yarn)들의 계면에 분포하고 있음을 알 수 있다. Fig. 5는 Fig. 4에 나타내어진 각 부분을 확대한 그림이다. Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)로부터 모재 과잉 영역이나 계면에 MWNT가 응집되어 있으나, 사이사이로 모재가 잘 분포되어 있음을 확인할 수 있다. Fig. 5(c)에서는 안의 중심으로 들어갈수록 MWNT의 양이 급속하게 줄어들며, 섬유와 섬유의 접촉이 MWNT가 안의 내부로 들어가는 것을 방해하는 것을 알 수 있다.

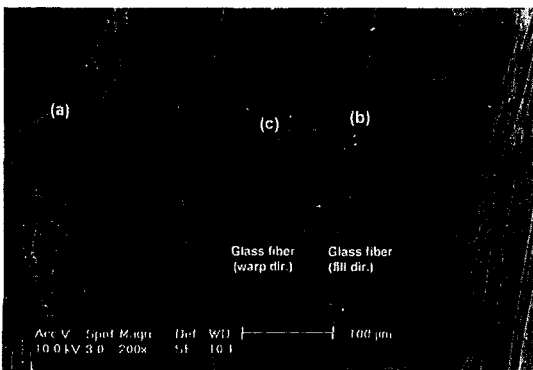
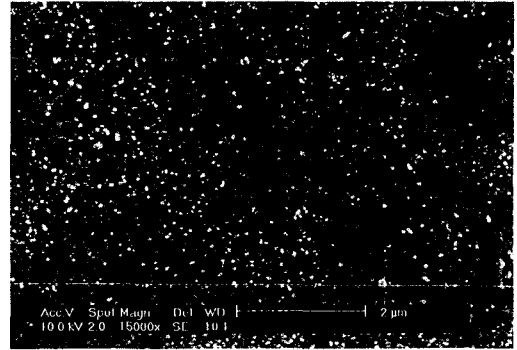
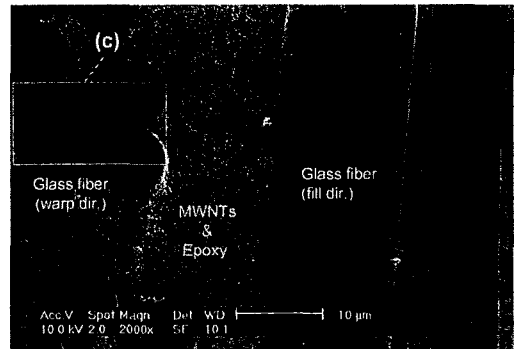


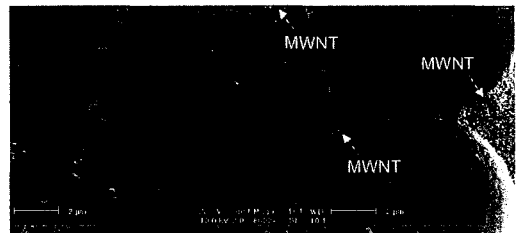
Fig. 4 SEM image of MWNT-added composites.



(a) matrix rich region



(b) interface between yarns in warp and fill direction



(c) MWNTs between glass fibers

Fig. 5 Zoomed SEM image of MWNT-added composites.

3. MWNT가 첨가된 유리섬유 직물 복합재료의 유전율

3.1 유전율의 측정 방법

유전율은 먼저 산란계수(scattering parameter, S-parameter)를 측정 한 후, 이를 후처리하여 계산하여 얻는다. 크게 유전율은 S_{11} 과 S_{21} 을 측정하여 투과계수와 반사계수로 부터 얻는 방법과 S_{21} 의 고려 주파수대역에서의 위상(phase)의 변화로부터 얻는

방법이 있으며, 본 연구에서는 두 번째 방법을 이용하여 유전율을 계산하였다.

X-band용 도파관(waveguide)에 제작된 시료를 넣고 HP 8722ES 회로망 분석기(network analyzer)를 이용하여 S_{21} 을 측정하였다. Fig. 6은 측정 시스템의 개요도이다.

3.2 복합재료의 유전율

위에서 서술한 방법으로 계산된 유전율을 Fig. 7에 나타내었다. MWNT0의 유전율은 약 $3.7 - j0.0$ 이었으며, MWNT1의 유전율은 약 $9.2 - j4.2$ 이다. MWNT1은 오정훈[1]의 연구에서 6wt%의 카본블랙이 첨가된 유리직물 복합재료의 유전율과 거의 비슷한 것으로, 적은 양으로도 높은 유전율을 나타냈다. MWNT3과 MWNT5는 S_{21} 이 $-70 \sim -80$ dB로 측정되었다. 이는 전자기파를 모두 반사시키는 것을 의미하는 것으로, 전자기적 특성이 금속과 유사하다는 것을 의미한다.

4. 결론

본 연구에서는 MWNT가 에폭시에 첨가된 유리섬유강화 복합재료의 미세구조를 SEM을 이용하여 확인하였고, MWNT의 첨가량에 따른 유전율의 변화를 고찰하였다. 1wt%의 MWNT만으로도 높은 유전율을 나타내었으며, 3wt% 이상의 MWNT가 첨가될 경우는 금속과 같이 대부분의 전자기파를 반사시켜, 유전율을 언급할 수 없는 전기전도도를 가지게 되었음을 확인할 수 있었다.

후 기

이 연구(논문)은 과학기술부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 연구사업(스마트무인기기술개발)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) 오정훈, 오경섭, 김천곤, 홍창선, 이동민, “적층 복합재 판을 이용한 전자기파 흡수 구조체의 설계,” 한국복합재료학회지, 제15권, 제2호, 2002, pp. 18 - 23.
- (2) 홍주화, 김성수, 강호중, RCS 감소성 복합재료

연구, 국방과학연구소 연구보고서, 1996.

- (3) D.D.L. Chung, “Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Materials”, *Carbon*, 2001, Vol. 39, pp. 279-285.
- (4) Shui X, et al., “Submicron Diameter Nickel Filaments and Their Polymer-Matrix Composites”, *Journal of Materials science*, 2000, Vol. 35, pp. 1773-1785.
- (5) 이상의, 박기연, 이원준, 김천곤, 한재홍, “다중벽 나노튜브/에폭시 복합재의 제작과 전자기적 특성,” 한국복합재료학회 추계학술대회 논문집, 한국과학기술원, 2003.10.17.

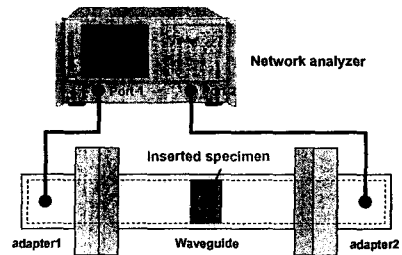


Fig. 6 Schematic of S-parameter measurement system.

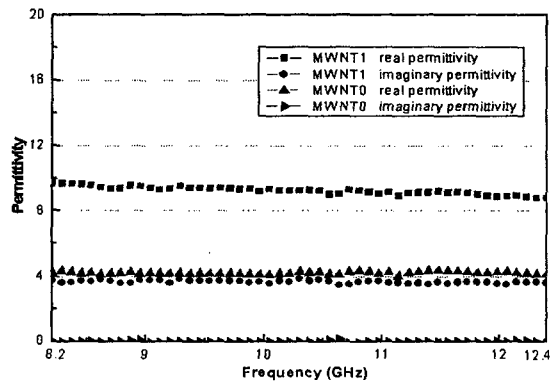


Fig. 7 Permittivities of MWNT-added composites.