

나노입자 첨가 유리섬유강화 복합재료의 전자기파 차폐 특성

정우균*(서울대 대학원), 안성훈(서울대 기계항공공학부), 원명식(국방과학연구소)

Electromagnetic-wave Shielding by Nano Particles-contained Glass Fiber Reinforced Composite Materials

W. K. Jung(School of Mechanical & Aerospace Engineering, Seoul National University),

S. H. Ahn(School of Mechanical & Aerospace Engineering, Seoul National University),

M. S. Won(Agency for Defence Development)

ABSTRACT

The research on electromagnetic shielding has been advanced for military applications as well as for commercial products. Utilizing the reflective properties and absorptive properties of shielding material, the replied signal measured at the rear surface or at the signal source can be minimized. The shielding effect was obtained from materials having special absorptive properties or from structural characteristics such as stacking sequence. Recently researchers studied the electromagnetic properties of nano size particles. In this research {glass fiber}/{epoxy}/{nano particle} composites(GFR-Nano composites), was fabricated using various nano particles, and their properties in electromagnetic shielding were compared. For the visual observation of the nano composite materials, SEM(Scanning Electron Microscope) and TEM(Transmission Electron Microscope) were used. For the measurement of electromagnetic shielding, HP8719ES S-parameter Vector Network Analyser System was used on the frequency range of 8 GHz ~12GHz. Among the nano particles, carbon black and Multi-Walled Carbon Nano-Tube (MWCNT) revealed outstanding electromagnetic shielding. Although silver nano particles (flake and powder) were expected to have effective electromagnetic shielding due to their excellent electric conductivities, test showed little shielding effect.

Key Words : Electromagnetic-wave Shielding (전자기파 차폐), Glass Fiber Reinforced Composite Material (유리섬유 강화 복합재료), Nano composites (나노 복합재)

1. 서론

전자기파 차폐는 전자기파의 유용한 사용과 더불어 인체에 위해한 전자파로부터의 차단이라는 상업적인 목적뿐만 아니라 레이더 탐지 회피 등의 군사적 목적으로도 중요한 의미를 가진다. 전자기파 차폐는 재료의 반사특성과 흡수특성을 이용하여 차폐층의 배면 또는 신호발생지로의 수신신호를 최소화하는 것으로, Fig. 1 과 같이 다층의 구조로 구성된 물질을 통과하는 전자기파는 물질의 표면에서 반사와 투과가 발생하며 다시 내부에서 반사와 소멸간섭, 투과를 반복하여 최종적으로 입사방향으로 반사신호를, 배면층으로 투과신호를 방출하게 되는데,

전자기파가 재료를 투과하는 과정에서 흡수 및 소멸 시키거나 재료의 표면에서 임피던스 부정합을 통하여 전반사를 유도함으로써 차폐하게 된다.

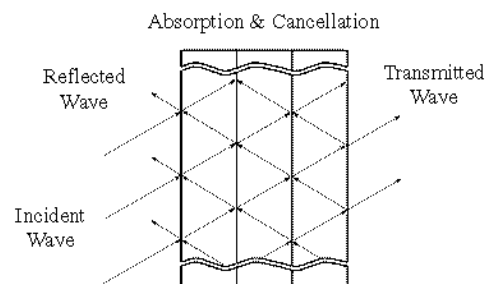


Fig. 1 Schematic structure of multilayer material

전자기파로부터의 영향을 최소화하기 위한 노력으로 높은 전자기파 흡수특성을 지닌 페라이트, 카본블랙등의 재료^{1,3}를 이용하거나, 전자기파 입사각의 영향이나 다층의 적층구조 등의 구조특성^{1,4,5}을 이용하여 전자기파를 흡수하는 연구가 이미 수행되어 왔으며, 근래에는 나노입자의 전자기적 특성에 대한 다양한 연구⁶⁻⁸가 활발하게 진행되고 있다.

본 연구에서는 다양한 나노입자를 첨가하여 전자기파 차폐특성을 지닌 유리섬유강화 복합재료를 제작하여 전자기파 차폐효율을 측정하고 기존의 연구결과와 비교하였다.

2. 실험

2.1 재료

실험에 사용된 에폭시 수지는 Br 계 수지를 사용하였으며, 첨가된 4 종의 나노 재료는 Table 1 과 같다. 나노입자가 분산된 에폭시를 KPI 의 KN1800 평직유리섬유에 도포시켜 프리프레그를 제작하고 이를 적층하여 시편을 제작하였다.

Table 1 Nano particles used in this study

Nano Particle	Average Diameter (nm)
Multi-Walled Carbon Nano-Tube(MWCNT)	15
Carbon Black(CB)	40
Silver Nano Flake(SNF)	40
Silver Nano Powder (SNP)	40

2.2 시편 제작

시편은 에폭시 수지에 나노 입자를 각각 5wt%로 첨가하여 초음파분산기를 이용, 2 시간 동안 분산 후 유리섬유직물에 균질하게 도포하여 제작한 프리프레그를 Fig. 2 의 성형과정을 통해 제작하였다.

섬유강화 복합재료의 전자기파 차폐특성은 적층된 매질의 두께와 섬유 방향성에 영향을 받으므로¹ 대칭구조를 유지하며 각각 8 장 / 16 장의 프리프레그를 적층하여 두께가 다른 2 종과 프리프레그의 적층각도를 변화시킨 2 종의 시편을 제작하였다. 제작된 시편의 종류를 Table 2 에 정리하였다.

2.3 나노입자 및 복합재 시편의 구조

제작된 시편의 나노 첨가제의 균질한 분산여부 및 섬유와 수지의 분포를 확인하기 위하여 SEM (Scanning Electron Microscope) 사진을 촬영하였다 (JSM-5600). 또한, 나노 재료들의 결정형태와 크기 및 구조를 확인하기 위하여 TEM(Transmission Electron Microscope) 사진을 촬영하였다(JEM-3000F).

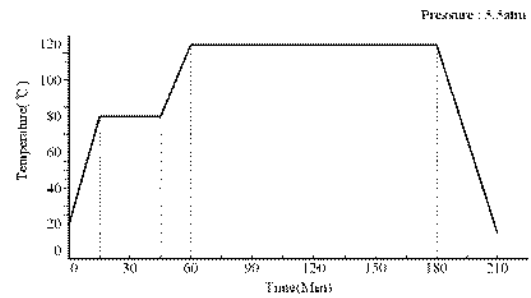


Fig. 2 Curing cycle of GFR-Nano composites

Table 2 Specimens tested in this experiment

No	Specimens Name	Added Nano Material	No. of Ply / t (mm)	Lay-up
1	G-8-C	None	8 / 1.25	Cross-ply
2	G-16-C		16 / 2.40	
3	G-8-Q		8 / 1.30	Quasi-isotropic
4	G-16-Q		16 / 2.40	
5	CNT-8-C	MW-CNT	8 / 1.25	Cross-ply
6	CNT-16-C		16 / 2.40	
7	CNT-8-Q		8 / 1.30	Quasi-isotropic
8	CNT-16-Q		16 / 2.40	
9	CB-8-C	CB	8 / 1.30	Cross-ply
10	CB-16-C		16 / 2.35	
11	CB-8-Q		8 / 1.25	Quasi-isotropic
12	CB-16-Q		16 / 2.45	
13	SNF-8-C	SNF	8 / 1.35	Cross-ply
14	SNF-16-C		16 / 2.60	
15	SNF-8-Q		8 / 1.35	Quasi-isotropic
16	SNF-16-Q		16 / 2.60	
17	SNP-8-C	SNP	8 / 1.40	Cross-ply
18	SNP-16-C		16 / 2.65	
19	SNP-8-Q		8 / 1.40	Quasi-isotropic
20	SNP-16-Q		16 / 2.65	

2.4 전자기파 차폐효과 측정

전자기파 차폐효과는 HP8719ES S-parameter Vector Network Analyzer System 을 이용하여 측정하였다. 시편을 2-Ports Flanged Coaxial Line Holder 에 고정시키고 HP8719ES 회로망 분석기를 통하여 반사신호인 S_{11} 과 투과신호인 S_{21} 을 측정하여 투과계수와 반사계수를 구하고 이를 계산하여 시편의 흡수에 의한 차폐효과와 반사에 의한 차폐효과를 구하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 형태 분석

TEM 사진을 통하여 실험에 사용된 나노입자들의 형태를 확인하였다. MWCNT는 평균 15nm의 직경을 보이며 세장비(Aspect ratio)는 1000 이상으로 나타났으며, 카본블랙은 얇은 쉘의 형태를 나타내었으며 평균 40nm의 직경을 보였다. SNF와 SNP는 제조공정상의 차이로 SNF는 얇은 박편 형상을 나타내었고, SNP는 변형된 타원의 구와 같은 형상을 보였다. 두 종류의 은 나노입자는 모두 평균 40nm의 직경을 보였다.

Fig. 3은 실험에 사용된 재료의 TEM 사진이다.

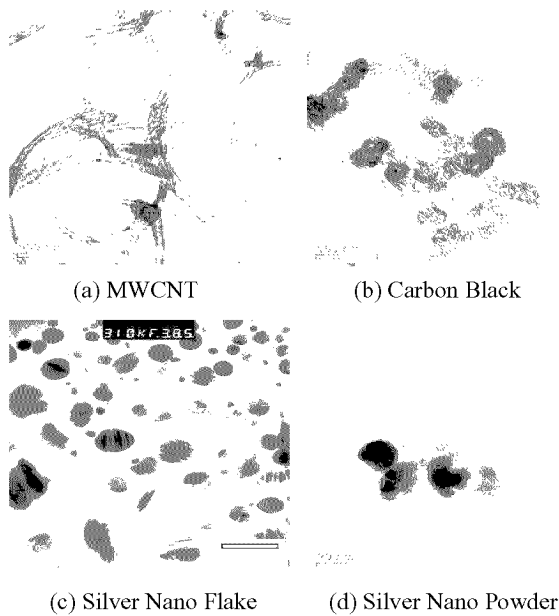


Fig. 3 TEM pictures of Nano particles

SEM 사진을 통하여 GFR-나노 복합재의 구조를 확인하였다. 1,000 배 및 2,000 배의 배율에서 수지와 섬유 배열을 확인할 수 있었으나 첨가된 재료들의 분산여부는 확인이 불가하여 10,000 배의 배율로 관찰한 결과 나노 재료들의 분산모습을 일부 확인할 수 있었다. 은 나노입자들은 SEM을 통하여 분산된 모습을 확인할 수 없었으나 EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)를 통하여 복합재내에 존재함이 확인되었다.

Fig. 4 (a)는 1,000 배의 배율로 섬유의 측면을 길이방향으로 촬영한 사진으로 섬유와 섬유 사이에 충전되어 있는 것은 나노 재료가 첨가된 수지이며, Fig. 4 (b)는 2,000 배로 섬유를 수직 절단한 단면을 촬영한 사진으로 흰색의 조각들은 시편을 절삭 가공하는 과정에서 발생된 유리섬유의 조각이다.

Fig. 4 (c)는 MWCNT가 함유된 시편을 10,000 배의 배율로 촬영한 사진이다. 사진에서 수지에 분포되어 있는 튜브형상의 MWCNT를 확인할 수 있다.

Fig. 4 (d)는 카본블랙이 함유된 시편을 10,000 배

의 배율로 촬영한 사진으로 카본블랙과 에폭시 수지가 혼합된 상태로 경화되어 카본블랙의 입자의 확인이 제한되었다.

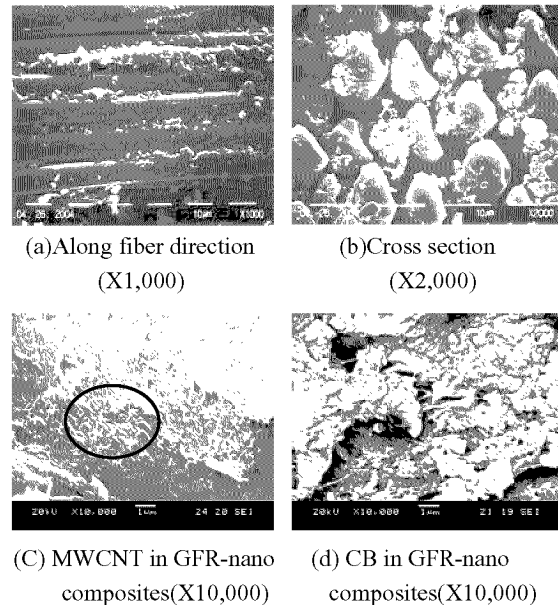


Fig. 4 SEM pictures of GFR-Nano composites

3.2 전자기파 차폐효과 분석

측정된 전자기파 차폐효과를 재료에 따른 특성과 두께에 따른 특성, 그리고 재료의 방향성에 따른 특성으로 구분하여 분석하였다. Fig. 5는 10GHz를 기준으로 8~12GHz에서의 전자기파 차폐효율 측정결과이다.

3.2.1 재료에 따른 차폐 효율 비교

첨가제가 미첨가된 유리섬유강화 복합재료를 기준으로 4종의 첨가제를 첨가한 각각의 유리섬유강화 나노 복합재의 전자기파 차폐효과를 비교하였다. 각각의 재료는 대칭구조로 설계되어 양 방향의 차폐효율은 동일하게 나타났다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 첨가제가 포함되지 않은 유리섬유강화 복합재료는 약간의 차폐특성만을 보였으나 카본블랙과 MWCNT를 첨가한 유리섬유강화 나노 복합재료의 경우 두드러진 차폐효과를 나타내었다. 특히, MWCNT의 경우 카본블랙의 3배 가까운 33dB 이상의 탁월한 차폐특성을 보였다.

SNF와 SNP를 첨가한 재료의 경우는 나노재료를 포함하지 않은 경우보다 약간의 차폐특성이 보였으나 주목되는 결과를 나타내지는 않았다.

3.2.2 두께에 따른 차폐 효율 비교

은(Ag) 나노입자를 첨가한 시편을 제외한 나머지 시편은 프리프레그의 적층수에 의한 두께에 따

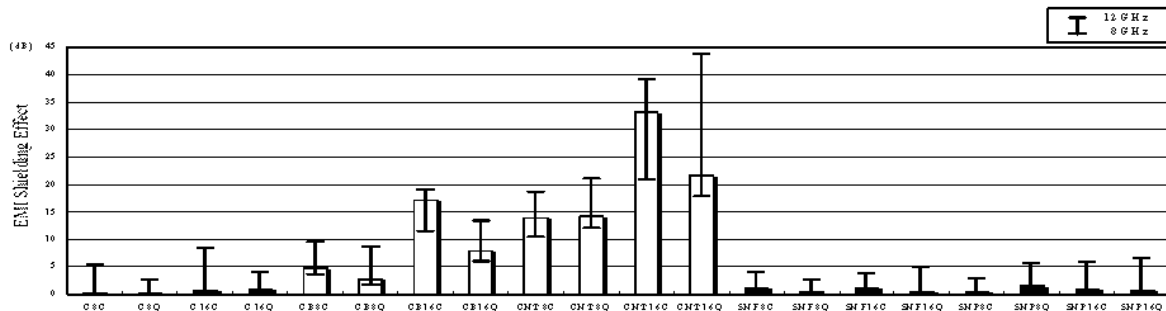


Fig. 5 EM shielding effect of each nano composites

라 차폐효과에 영향을 받는 것으로 나타났다. Fig. 5에서 볼 수 있듯이 Glass fiber, CB, MWCNT의 경우 두께가 두 배 증가함에 따라 차폐효율도 두 배 이상 증가함을 확인할 수 있었다.

3.2.3 재료의 방향성에 따른 차폐효율 비교

시편제작시 Cross-ply는 $[0_s]$ 로, Quasi-isotropic은 $[(0/45)_2]_s$ 각도의 대칭구조로 적층하였다. Glass fiber와 CB의 경우 Cross-ply로 적층한 구조가 Quasi-isotropic의 구조로 적층한 시편보다 우수한 차폐특성을 보이는 것을 알 수 있으며, MWCNT의 경우는 8장의 적층구조에서는 Cross-ply의 차폐효과가 Quasi-isotropic의 경우보다 높은 것으로 나타났다. 16장의 적층구조에서는 10GHz를 기준으로 Cross-ply가, 이후 높은 주파수 대역으로 갈수록 Quasi-isotropic의 구조가 더 높은 차폐효과를 나타내었다. SNF 및 SNP는 두께의 경우와 마찬가지로 재료의 적층구조에 따른 특별한 전자기파 차폐효과의 차이를 보이지는 않았다.

4. 결론

실험적 방법을 통하여 유리섬유로 강화된 다양한 나노복합재의 전자기파 차폐특성에 대하여 비교하였다. 선행되었던 연구결과와 같이 카본블랙이나 카본나노튜브가 첨가된 재료는 높은 차폐특성을 나타내었으나 은 나노입자는 전자기파에 대하여 특별한 반사 또는 흡수특성을 보이지 않았다.

본 실험을 통하여 섬유강화 복합재료와 나노복합재료의 접목으로 나노 물질의 특성을 기존의 섬유강화 복합재료에 적용하여 보다 우수한 전자기파 차폐 특성을 가진 재료를 확인할 수 있었다.

후 기

이 연구는 국방과학연구소와 BK21의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한 실험에 조언해 주신 KPI의 김영근, 김영민에게 감사드립니다.

참고문헌

- Oh, J. H., Oh, K. S., Kim, C. G. and Hong, C. S., "Design of radar absorbing structures using Glass/epoxy composite containing carbon black in X-band frequency ranges," *Composites Part B*, Vol. 35, pp. 49 - 56, 2004.
- Pinho, M. S., Gregori, M. L., Nunes, R. C. R. and Soares, B. G., "Performance of radar absorbing materials by waveguide measurements for X-and Ku-band frequencies," *European Polymer Journal*, Vol. 38, pp. 2321 - 2327, 2002.
- Chung, D. D. L., "Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials," *Carbon*, Vol. 39, pp. 279 - 285, 2001.
- Tretyakov, S. A. and Maslovski, S. I., "Thin Absorbing Structure for all incidence angles based on the use of a high-impedance surface," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 38, pp. 175 - 178, 2003.
- Matous, K. and Dvorak, G. J., "Optimization of Electromagnetic Absorption in Laminated Composite Plates," *Transactions on Magnetics*, Vol. 39, pp. 1827 - 1835, 2003.
- Kajima, A., Nakayama, R., Fujii, T. and Inoue, M., "Variation of dielectric permeability by applying magnetic field in nano-composite $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ sputtered films," *Journal of magnetism and magnetic materials*, Vol. 258, pp. 597 - 599, 2003.
- Trakhtenberg, L. I., Axelrod, E., Gerasimov, G. N., Nikolaeva, E. V. and Smirnova, E. I., "New nano-composite metal-polymer materials : dielectric behaviour," *Non-Crystalline Solids*, Vol. 305, pp. 190 - 196, 2002.
- Talbot, P., Konn, A. M. and Brosseau, C., "Electromagnetic characterization of fine-scale particulate composite materials," *Journal of magnetism and magnetic materials*, Vol. 249, pp. 481 - 485, 2002.