

스테인레스 섬유를 충전제로 사용한 섬유강화 복합재료의 전자파 차폐 효과

Electromagnetic Interference Shielding Effect of Fiber Reinforced Composites with Stainless Fiber Conductive Filler

한길영^{1,✉}, 송동한², 안동규¹
Gil Young Han^{1,✉}, Dong Han Song² and Dong Gyu Ahn³

¹ 조선대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Chosun Univ.)

² 조선대학교 기계공학과 대학원 (Department of Mechanical Engineering, Graduate school of Chosun Univ.)

✉ Corresponding author: kybhan@chosun.ac.kr, Tel: 062-230-7130

Manuscript received: 2010.1.28 / Revised: 2010.4.21 / Accepted: 2010.5.6

The objective of this research is to investigate the influence of material characteristic and design on to the electromagnetic interference (EMI) shielding characteristics. Basalt glass fiber reinforced composite specimens with stainless fiber conductive filler were manufactured to perform the electromagnetic interference shielding effectiveness(SE) experiments. In order to reflection and absorb the specimen in electromagnetic fields, flanged coaxial transmission line sample holder was fabricated according to ASTM D 4935-89. Electromagnetic shielding effectiveness(EMSE) was measured quantitatively to examine the electromagnetic shielding characteristics of designed specimens. The result of EMI shielding experiments showed that maximum EMSE value of sandwich type specimens with GSG(basalt glass fiber/stainless fiber/basalt glass fiber) and SGS(stainless fiber/basalt glass fiber/stainless fiber) were 65dB and 80dB at a frequency of 1,500MHz, respectively.

Key Words: Electromagnetic Interference (전자파 장애), Electromagnetic Interference Shielding (전자파 차폐), Shielding Effectiveness (차폐 효과), Basalt Glass Fiber (현무암유리섬유)

1. 서론

최근 전기·전자, 통신 산업의 발달로 인하여 일상생활에 사용되고 있는 전기·전자, 통신, 정밀 기기 제품 등의 사용이 급속히 증가하고 있으며, 이러한 기기들은 일상생활에 많은 편의를 제공하고 있으나 기기들에서 발생하는 전자파는 서로 다른 기기들에게 상호 간섭을 일으켜 기기의 오작동을 일으키기도 한다. 또한 인체에 여러 가지 악영향을 미쳐 불면, 신경 예민, 두통, 어지러움, 호르몬의 감소, 생체리듬의 변화, 기형아 출산, 수정체

이상 등 여러 질병들을 유발시킬 수 있다고 보고되고 있다.¹ 전자파의 원래 명칭은 전자기파(Electromagnetic wave)로서, 공간상에서 전기장이 시간적으로 변화하게 되면 그 주위에 자기장이 발생하고, 발생한 자기장이 시간적으로 변화하면 그 주위에 전기장이 발생하게 되어 전기력선과 자력선이 서로 유도되는 동일한 진행방향과 서로 직각을 이루고 전파되는 합성 파동이다. 이처럼 전자기기에서 방사 또는 전도되는 전자파가 다른 기기의 기능에 장애를 주거나 인체에 악영향을 미치는 것을 전자파장해(Electromagnetic interference, EMI)라

한다. 이러한 전자과장해에 대한 대책 방안으로 엄격한 규제가 마련되어 시행되어지고 있으며, 전자과 차폐에 관한 연구와 관심이 증가하고 있다.^{2,6} 나라마다 약간의 차이가 있으나 일반적으로 국제 전자과장해 특별위원회(International Special Committee on Radio Interference, CISPR)의 규격을 채택하고 있다. 전자과 차폐(Electromagnetic interference shielding, EMI shielding)란 전기·전자 제품 등에서 발생하는 불필요한 전자파를 차단하여 전자회로나 인체를 보호, 또는 내부에서 발생하는 전자파를 외부로 방사시키지 않는 것을 말한다.

전자과 장해를 해결하기 위해서는 크게 두 가지 측면으로 접근할 수 있다. 하나는 개개의 기기가 다른 기기나 인체에 나쁜 영향을 줄 가능성이 있는 전자파를 방사하지 않도록 하는 것이고, 다른 하나는 기기나 인체가 외부 전자파에 영향을 받지 않고 정상적인 작동과 인체에 장애가 발생하지 않도록 하는 것이다. 이런 두 가지 측면을 양립하도록 하는 것을 전자과양립성(Electromagnetic compatibility, EMC)이라 한다.

전자과 차폐에 대한 연구로서 Cheng⁷ 등은 구리 및 유리섬유 등을 직조하여 만든 재료에 대해 주파수 0.3 MHz ~ 3,000 MHz 범위에서 전자과 차폐효과(Shielding effectiveness)에 관한 연구를 실행하여 직물 합성물의 전자과 차폐효과를 확인할 수 있었다. Dou⁸ 등은 알루미늄 합금 재를(Aluminum alloy-fly ash) 이용한 복합재료와 2024 알루미늄의 전자과 차폐효과를 실험하여 30.0KHz ~ 600MHz 범위에서 2024 알루미늄과 알루미늄 합금 재를 이용한 복합재료는 각각 약 34dB ~ 46dB 과 40dB ~ 102dB 의 차폐효과를 얻을 수 있었다고 보고하였다.

모재인 에폭시에 전도성 충전제를 사용한 섬유 강화 복합재료는 균열의 진전을 막고 기계적 성질을 향상시켜 전자과 차폐효과를 가져올 수 있기 때문에 가전제품이나 통신장비의 하우징 재료로 사용되기에 적합할 것으로 생각된다.

그러나, 대부분의 연구들이 고분자 재료의 전자과 차폐특성에 관한 것으로 스테인레스 섬유를 전도성 충전제로 사용한 섬유강화 복합재료의 전자과 차폐효과에 관한 정량적인 실험적 연구는 아직 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 전기, 전자제품 등의 전자과 차폐용 하우징재로 활용할 수 있는 스테인레

스 섬유를 충전제로 사용한 현무암 유리섬유강화 복합재료를 제작하였다. 전자과 차폐효과(Shielding effectiveness, SE)를 측정하기 위하여 ASTM D4935-89 규격을 참고한 시험편을 제작하여, 플랜지형 동축 전송선 측정 치구(Flanged coaxial transmission line sample holder)를 이용하여 현무암 섬유강화 복합재료의 전자과 차폐특성을 고찰하였다.

2. 시험편 제작 방법

2.1 재료 선정

시험편 제작에 사용된 강화재인 현무암섬유는 ㈜Y.J.C 회사의 제품으로 친환경적인 현무암섬유를 사용하였다. 스테인레스 섬유 형태는 두 종류로 Fig. 1 과 같은 베카르트(Bakaert) 사의 부직포(Non-woven fabric) 형태의 AISI 316 L 제품과 Fig. 2 와 같은 우양 신소재 사의 직물(Woven fabric) 형태 구조를 가진 제품을 사용하였다.

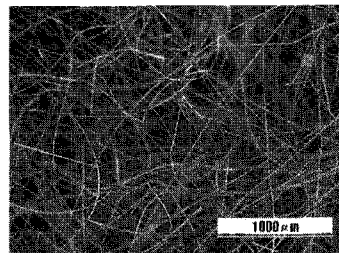


Fig. 1 Microstructure of Non-woven fabric stainless fiber (× 100)

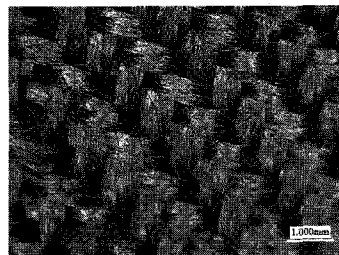


Fig. 2 Microstructure of woven fabric stainless fiber (× 40)

기지재인 에폭시와 경화제는 각각 LR-67 과 LH-33 으로 K 사의 제품이며, 주로 섬유강화 복합재료의 기지재로 사용되거나 코팅 등에 사용되는 재료를 사용하였다.

Fig. 3 은 시험편 제작에 사용된 현무암유리섬유의 직조 형상을 확대한 사진이다.

시험편 제작에 사용된 현무암유리섬유, 부직포 형태의 스테인레스 섬유와 직물형태의 스테인레스 섬유의 특성은 Table 1, 2 및 3 에 각각 나타내었다. 부직포 형태의 스테인레스 섬유의 경우 섬유직경과 평량에 따라 섬유직경 6.5 μm , 평량 75 g/sq.M 인 스테인레스 섬유, 섬유직경 6.5 μm , 평량 150 g/sq.M 인 스테인레스 섬유, 섬유직경 8 μm , 평량 150 g/sq.M 인 스테인레스 섬유를 사용하였다.

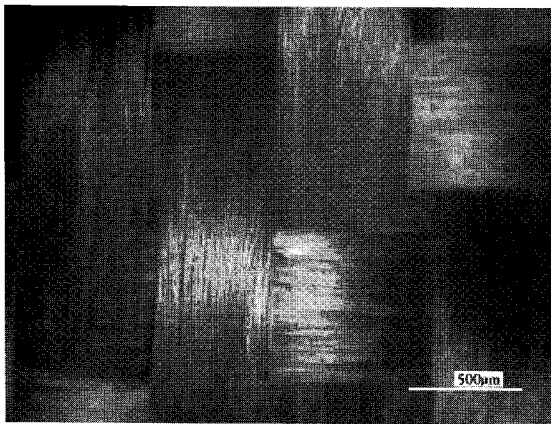


Fig. 3 Microstructure of basalt glass fiber ($\times 100$)

Table 1 Typical properties of Basalt glass fiber

Fiber diameter [μm]	Tensile strength [MPa]	Melting temperature [$^{\circ}\text{C}$]
9 ~ 10	3,100	1,350

Table 2 Chemical Composition of non-woven fabric stainless fiber

Materials	C	Mn	P	S	Si
Component (%)	0.03	2.00	0.045	0.03	1.00
Materials	Cr	Ni	Mo	Fe	
Component (%)	16.00 ~ 18.00	10.00 ~ 14.00	2.00 ~ 3.00	Balance	

Table 3 Typical properties of woven fabric stainless fiber

Material	Fiber diameter [μm]	Structure	Thickness [mm]	Weight [g/m ²]
Stainless Steel (SUS316L)	12	Twill	0.8	750~800

2.2 시험편 제작 과정

에폭시와 경화제를 2:1 비율로 교반기(Homogenizer)를 이용하여 혼합물(Mixture)을 제작하였다. 스테인레스 섬유를 혼합물에 함침시킨 후 80 $^{\circ}\text{C}$ 의 고온 프레스(Hot press)를 사용하여 시험편을 압축 성형하였다. 제작된 시험편은 부직포 형태인 스테인레스 섬유의 직경과 평량에 따라 Table 4 와 같이 각각 NSG-1 시험편, NSG-2 시험편, NSG-3 시험편, 직조 형태의 스테인레스 섬유를 이용한 시험편의 경우 에폭시와 경화제를 혼합한 혼합물에 직조 형태의 스테인레스 섬유를 함침 시킨 S 시험편, 현무암유리섬유와 직조 형태의 스테인레스 섬유를 함침시킨 SG 시험편, 현무암유리섬유를 코어재로 하고 면재를 직조형태의 스테인레스 섬유로 SGS 시험편, 직조 형태의 스테인레스 섬유를 코어재로 하고 면재를 현무암 유리섬유로 한 GSG 시험편을 제작하였다.

Table 4 Materials of specimen

Specimen	Materials
NSG-1	Stainless (Non-woven fabric) Diameter : 6.5 μm , Weight : 75 g/sq.M
NSG-2	Stainless (Non-woven fabric) Diameter : 6.5 μm , Weight : 150 g/sq.M
NSG-3	Stainless fiber (Non-woven fabric) Diameter : 8 μm , Weight : 150 g/sq.M
S	Stainless fiber (Woven fabric)
SG	Stainless fiber (Woven fabric) / Basalt Glass fiber
GSG	Glass fiber / Stainless fiber (Woven fabric) / Basalt Glass fiber
SGS	Stainless fiber (Woven fabric) / Basalt Glass fiber / Stainless fiber (Woven fabric)

Fig. 4 에 각각의 시험편의 제작과정을 도시하였다.

Fig. 4 와 같은 방법으로 제작된 시험편을 전자파 차폐효과 측정 규격인 ASTM D 4935-89 규격에 따라 제작한 플랜지형 동축 전송선 측정 치구(Flanged coaxial transmission line sample holder)에 맞게 직경 133 mm 로 기준(Reference) 시험편과 부하(load) 시험편을 각 조건 별로 각각 3 개씩 제작하였다.

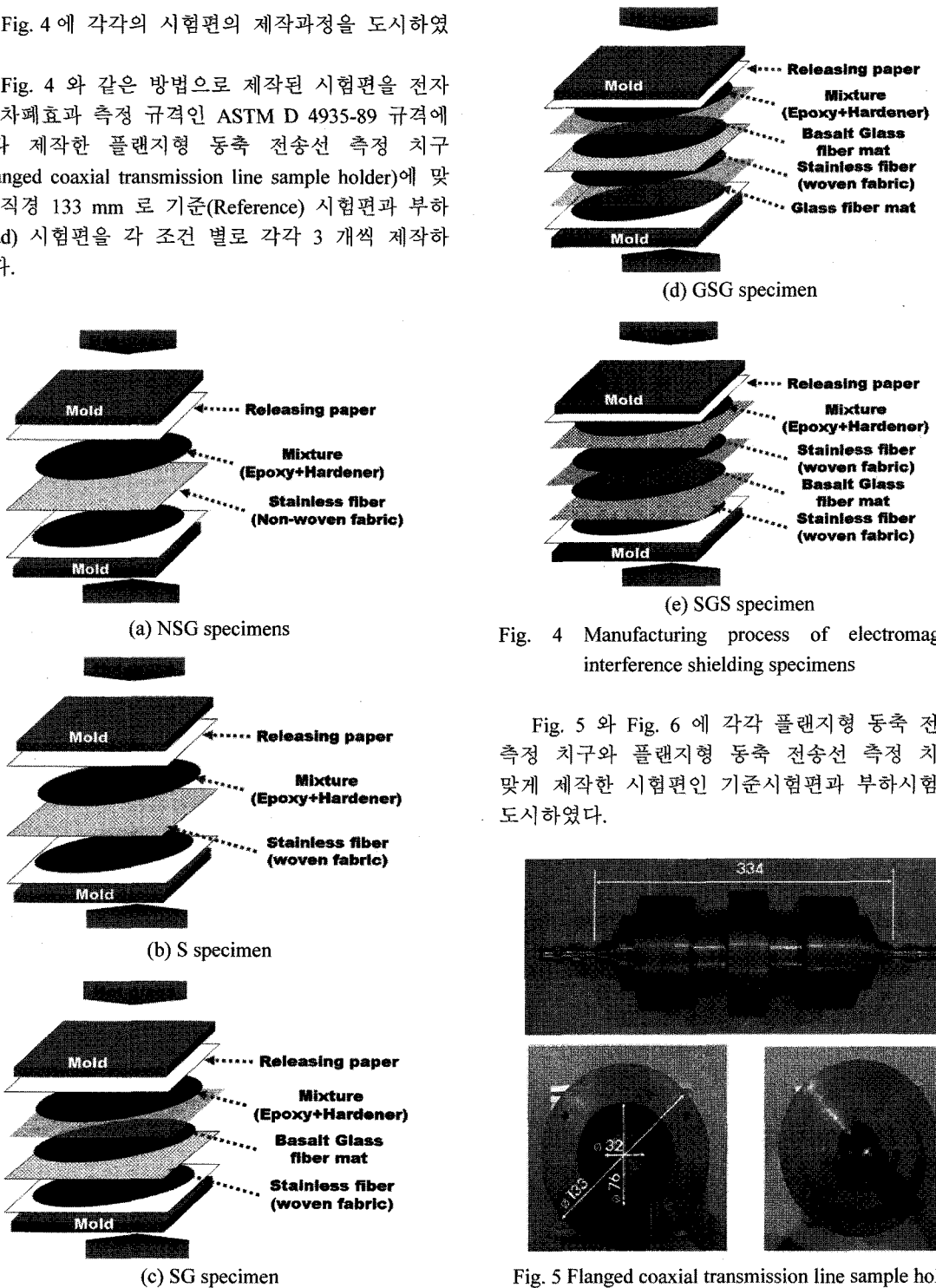


Fig. 4 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens

Fig. 5 와 Fig. 6 에 각각 플랜지형 동축 전송선 측정 치구와 플랜지형 동축 전송선 측정 치구에 맞게 제작한 시험편인 기준시험편과 부하시험편을 도시하였다.

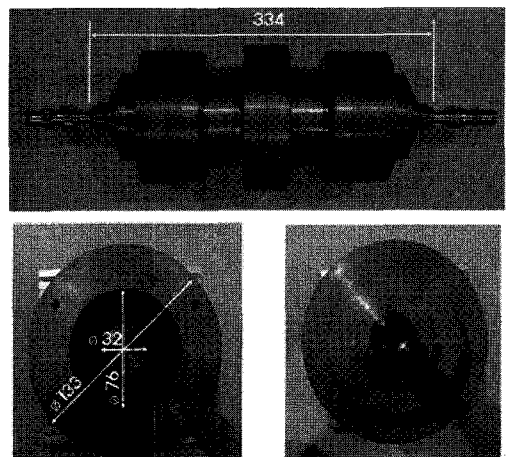


Fig. 5 Flanged coaxial transmission line sample holder

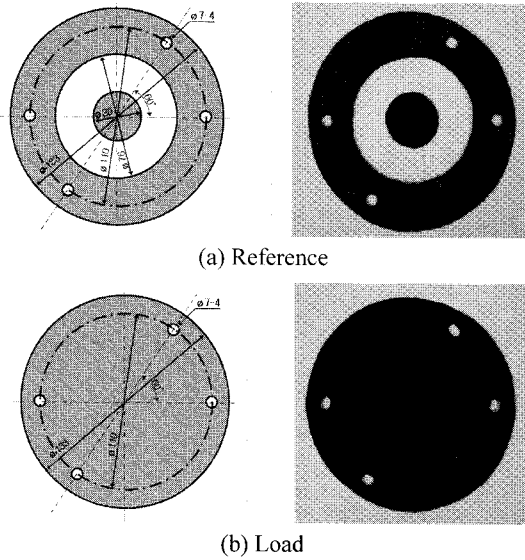
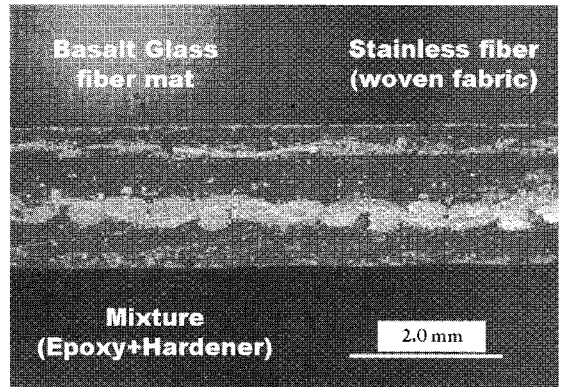


Fig. 6 Dimensions of reference and load specimens

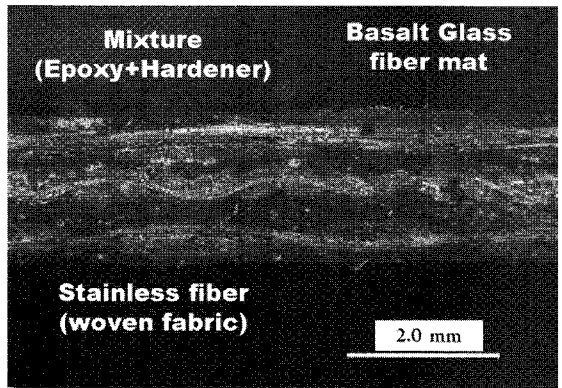
직조형태의 스테인레스 섬유를 사용하여 제작한 시험편의 경우 사용재료의 적층 단면을 관찰하기 위하여 다이아몬드 휠톱을 사용하여 시험편을 절단하였다. Fig. 7 에 제작한 시험편의 단면사진을 나타내었다.

3. 전자파 차폐효과 측정 방법

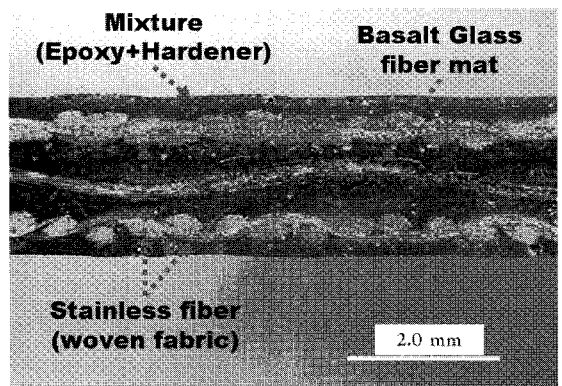
본 연구에서는 직접 측정방법으로 ASTM D4935-89 규격에 따른 전자파 차폐효과를 측정하기 위해 전자파 측정 실험장치 시스템(EMC test system : Rohde & Schwarz)의 전자파 시험 수신기(EMI test receiver), 신호발생기(Signal generator) 및



(b) SG specimen

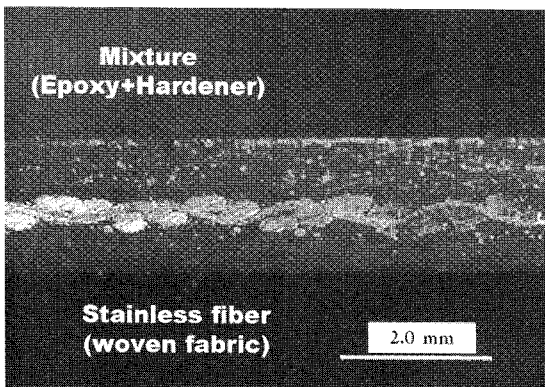


(c) GSG specimen



(d) SGS specimen

Fig. 7 Microstructure of specimens cross section



(a) S specimen

플랜지형 동축 전송선 치구를 사용하여 각 시험편의 전자파 차폐효과를 측정하였다.

Fig. 8 에 사용된 전자파 측정 실험장치 시스템을 나타내었다.

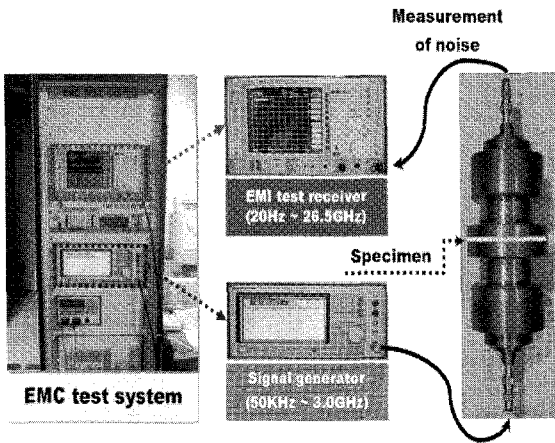


Fig. 8 Experimental set-up electromagnetic compatibility test system

전자파 신호 수신기와 신호발생기의 사용 주파수 범위는 각각 20 Hz ~ 26.5 GHz, 50 KHz ~ 3.0 GHz 이다. 제작한 시험편을 플랜지형 동축 전송선 치구의 중앙에 위치시킨 후 전자파 측정장치 시스템의 신호발생기를 이용하여 실험 주파수 범위인 300 MHz ~ 1.5 GHz 까지 주파수를 발생시키고, 시험편이 장착된 플랜지형 동축 전송선 치구를 통과하여 전자파 신호 수신기에 나타나는 전자파 수신량을 측정하였다.

전자파 차폐효과는 동일한 조건에서 만들어진 기준시험편과 부하시험편의 전자파 수신량을 측정하여 부하시험편 장착 시 측정된 전자파 수신량과 기준시험편 장착 시 측정된 전자파 수신량의 차이를 얻음으로써 전자파 차폐효과를 측정하였다. 전자파 차폐효과는 다음과 같은 (1)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$SE(dB) = 10 \log (P_1 / P_2) \quad (1)$$

여기서 P_1 은 차폐효과 측정 전 측정점에서 전력밀도이며, P_2 는 차폐효과 측정 후 측정점에서의 전력밀도이다.

전자파 차폐효과의 측정결과는 동일 조건에서 3 개의 시험편에 대하여 측정한 결과 각각의 측정값이 $\pm 2\%$ 이내의 오차범위에 있었다. 따라서 차폐효과 값은 각 조건의 측정값의 평균값으로 나타내었다.

4. 전자파 차폐효과 측정 결과

Fig. 9 는 스테인레스 섬유직의 직경과 평량(m^2 당 중량) 에 따른 NSG-1, NSG-2, NSG-3 시험편의 전자파 차폐효과를 측정한 결과이다. 섬유 직경이 가장 크고, 무게가 무거운 NSG-1 시험편이 측정 주파수 범위에서 시험편 중 가장 높은 차폐효과 값을 나타내었으며, 무게가 가장 가벼운 NSG-3 시험편이 측정 주파수 범위에서 가장 낮은 차폐효과 값을 나타냄을 확인할 수 있었다. NSG-1 시험편의 경우 600 MHz 에서 가장 높은 57 dB 정도의 차폐효과를 보였으며, NSG-2 시험편도 동일 주파수에서 가장 높은 50 dB 정도의 차폐효과를 보였다. NSG-3 시험편은 1.5 GHz 에서 가장 높은 41 dB 정도의 차폐효과를 나타내었다. 이는 NSG-1 시험편 제작에 사용된 부직포 형태의 스테인레스 섬유가 다른 시험편 제작에 사용된 부직포 형태의 스테인레스 섬유보다 더 섬유간의 연결성이 우수하기 때문에 많은 도전통로가 생성된 것으로 생각된다.

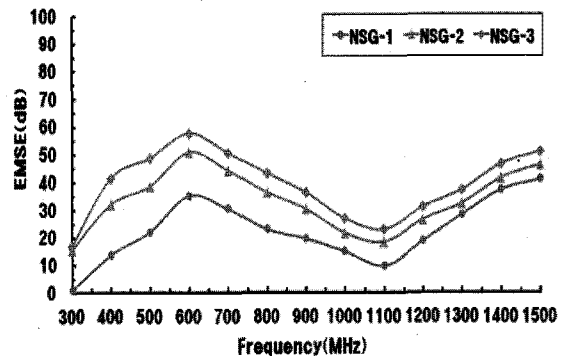


Fig. 9 SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1.5 GHz range of NSG-1, NSG-2 and NSG-3 specimens

Fig. 10 은 현무암유리섬유를 코어재로 하고 면재를 스테인레스 직조섬유로 제작한 SGS 시험편과 스테인레스 직조섬유를 코어재로 하고 면재를 현무암유리섬유로 제작한 GSG 시험편의 전자파 차폐효과를 측정한 결과이다.

300 MHz ~ 1.5 GHz 주파수 범위에서 SGS 시험편은 33 ~ 80 dB, GSG 시험편은 15 ~ 65 dB 의 차폐효과를 보였으며, SGS 시험편이 GSG 시험편 보다 8 ~ 24 dB 정도 높은 차폐효과를 보였다. 특히 300

MHz ~ 500 MHz, 900 MHz ~ 1.1 GHz 에서는 21 ~ 24 dB 정도의 많은 차이를 나타내었다. 이는 스테인레스 직조섬유를 면재로 사용한 경우가 현무암유리섬유를 면재로 사용한 경우보다 전자파 차폐에 효과가 있기 때문인 것으로 판단된다.

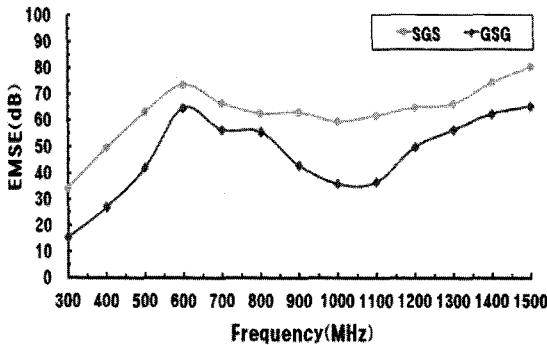


Fig. 10 SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1.5 GHz range of GSG and SGS specimens

Fig. 11 은 S 시험편, SG 시험편, GSG 시험편의 전자파 차폐효과를 비교한 결과이다. 3 종류 시험편의 전자파 차폐효과를 비교한 결과 300MHz ~ 1.5GHz 주파수 범위에서 시험편 모두 유사한 차폐효과를 나타내었다. SG 시험편은 현무암 유리섬유가 직접 전자파를 받는 경우이다. 이 결과를 통해 유리섬유보다는 스테인레스 직조 섬유 배치가 전자파 차폐효과 값에 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

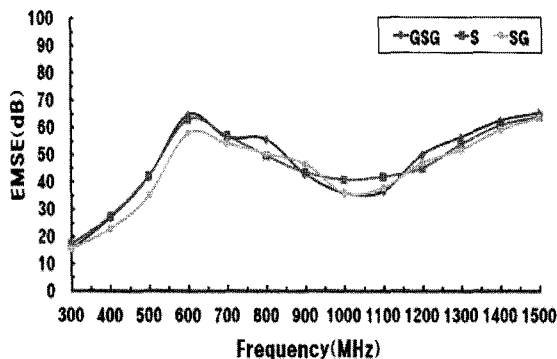


Fig. 11 SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1.5 GHz range of GSG, S and SG specimens

5. 결론

금속 섬유인 스테인레스 섬유와 친환경 소재인 현무암 유리섬유를 이용하여 샌드위치 시험편과 각각의 재료들의 시험편을 제작하여 전자파 차폐효과를 측정된 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 스테인레스 섬유를 전도성 충전제로 사용할 경우 섬유의 직경이 크고 무게가 무거운 스테인레스 섬유를 사용한 경우가 전자파 차폐효과가 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 섬유간의 연결성이 우수한 직조섬유가 많은 도전통로를 생성할 수 있기 때문으로 판단되었다.

(2) GSG 시험편과 SGS 시험편의 전자파 차폐효과 측정결과 1.5 GHz 범위에서 각각 65dB, 80dB 의 우수한 차폐효과를 나타내었다.

(3) S 시험편, SG 시험편, GSG 시험편의 전자파 차폐효과를 비교한 결과 스테인레스 직조 섬유가 면재인 경우와 코어재인 경우에 따라서 전자파 차폐효과 값에 영향을 미칠 수 있음을 확인할 수 있었다.

후 기

본 논문은 2009 년도 조선대학교 교비 연구비의 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- Han, G. Y., Kim, J. S. and Ahn, D. G., "A study on Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of the Metal Powders and Nano Carbon black/Fiber Reinforced Epoxy composites," Journal of the Korea Society for Precision Engineering, Vol. 23, No. 8, pp. 100-107, 2006.
- Jung, W. K., Ahn, S. H. and Won, M. S., "Comparison of Electromagnetic-wave Shielding Effect in Glass Fiber Reinforced Nano Composites," Journal of the Korea Society for Precision Engineering, Vol. 22, No. 10, pp. 121-128, 2005.
- Kim, W. M., Ku, D. Y., Lee, I. K., Seo, Y. W., Cheong, B. K., Lee, T. S., Kim, I. H. and Lee, K. S., "The electromagnetic interference shielding effect of

- indium-zinc oxide/silver alloy multilayered thin films,” *Thin Solid Films*, Vol. 473, No. 2, pp. 315-320, 2005.
4. Barnes, F. S. and Greenebaum, B., “Biological and medical aspects of electromagnetic fields,” CRC Press, 2007.
 5. Lee, S. J. and Lee, T. I., “A Study on the Effects of Electroencephalogram of Blocking Electromagnetic Wave materials by using the Nano Silver,” *J. of the KSCI*, Vol. 6, No. 2, pp. 810-813, 2004.
 6. Polk, C. and Postow, E., “Handbook of biological effects of electromagnetic fields, 2nd Edition,” CRC Press, 1995.
 7. Cheng, K. B., Ramakrishna, S. and Lee, K. C., “Electromagnetic shielding effectiveness of copper/glass fiber knitted fabric reinforced polypropylene composites,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 31, No. 10, pp. 1039-1045, 2000.
 8. Dou, Z., Wu, G., Huang, X., Sun, D. and Jiang, L., “Electromagnetic Shielding Effectiveness of Aluminum Alloy-Fly Ash Composites,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 38, No. 1, pp. 186-191, 2006.