



### 저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2010년 2월  
박사학위논문

복합전도성 충전재를 사용한 섬유강화  
복합재료의 전자파 차폐 특성에 관한 연구

조 선 대 학 교 대 학 원

기계공학과

배 지 수

복합전도성 충전재를 사용한  
섬유강화 복합재료의 전자파  
차폐 특성에 관한 연구

A Study on the Electromagnetic Interference  
Shielding Characteristics of Fiber Reinforced  
Composites with Hybrid Conductive Filler

2010 년 2 월 25 일

조 선 대 학 교 대 학 원

기계공학과

배 지 수

복합전도성 충전재를 사용한  
섬유강화 복합재료의 전자파  
차폐 특성에 관한 연구

지도교수 한 길 영

이 논문을 공학박사학위신청 논문으로  
제출함.

2009 년 10 월

조 선 대 학 교 대 학 원

기계공학과

배 지 수

# 배지수의 박사학위 논문을 인준함.

위원장    조선대학교    교수    이    행    남    ㉠

위    원    조선대학교    교수    김    종    관    ㉠

위    원    조선대학교    교수    권    영    섭    ㉠

위    원    남부대학교    교수    김    상    복    ㉠

위    원    조선대학교    교수    한    길    영    ㉠

2009 년    12월

조    선    대    학    교    대    학    원

# 목 차

LIST OF TABLES .....	I
LIST OF FIGURES .....	II
NOMENCLATURE .....	V
ABSTRACT	
제 1 장 서론 .....	1
1.1 연구배경 및 동향 .....	1
1.2 연구목적 및 방법 .....	2
제 2 장 전자파차폐 이론 .....	4
2.1 전자파란 .....	4
2.2 전자파 차폐이론 .....	6
2.3 재료의 전자기적 물성 .....	9
2.4 전자파 반사, 투과, 흡수 .....	10
제 3 장 전자파 차폐효과 측정법 .....	14
3.1 Half-wave dipole 안테나를 이용한 전자파 차폐효과 측정 .....	14
3.2 ASTM-D-4935 방법을 통한 전자파 차폐효과 측정 .....	14

3.3 전자파 차폐 재료의 임피던스 측정에 의한 간접 측정 .....	16
제 4 장 시험편 제작 .....	18
4.1 메탈파우더와 카본블랙을 충전제로 사용한 섬유강화 복합재료 제작 .....	18
4.2 알루미늄 필름, 도전성 직조섬유 / 나노카본블랙 복합 재료 시험편 제작 .....	24
4.3 스테인레스 직조섬유 구조에 따른 섬유강화 복합재료 시험편 제작 .....	28
4.4 Fine copper mesh, General copper mesh, Aluminum film을 사용한 유리 섬유강화 복합재료 시험편 제작 .....	37
제 5 장 전자파 차폐효율 측정 .....	43
5.1 Half-wave dipole 안테나를 이용한 전자파 차폐효과 측정 .....	43
5.2 플랜지형 동축 전송선 치구를 이용한 차폐 효율 측정 .....	44
제 6 장 실험결과 및 고찰 .....	46
6.1 GF 시험편과 CF 시험편의 전자파 차폐효과 .....	46

6.2	메탈 파우더의 첨가량에 따른 전자파 차폐효과	47
6.3	카본블랙의 첨가량에 따른 전자파 차폐효과	51
6.4	알루미늄 필름, 도전성 직조섬유/나노카본블랙 복합 재료 시험편의 차폐효과	53
6.5	스테인레스 직조섬유 구조에 따른 섬유강화 복합재료 시험편의 차폐효과	56
6.6	Fine copper mesh, General copper mesh, Aluminum film 을 이용한 시험편의 전자파 차폐효과	60
제 7 장 결론		63
REFERENCES		64



## LIST OF TABLES

Table 1 Typical properties of carbon black .....	18
Table 2 Mesh of metal powder .....	18
Table 3 Specification of direct driven digital stirrer .....	21
Table 4 Specification of heating mantle .....	21
Table 5 Specification of electric muffle furnace .....	21
Table 6 Materials of specimen .....	22
Table 7 Typical properties of Aluminum Panel .....	25
Table 8 Typical properties of Conductive Fabric .....	25
Table 9 Materials of specimen .....	27
Table 10 Typical properties of Basalt glass fiber .....	29
Table 11 Chemical composition of non-woven fabric stainless fiber .....	29
Table 12 Typical properties of woven fabric stainless fiber .....	29
Table 13 Materials of specimen .....	36
Table 14 Typical properties of fine copper mesh and general copper mesh .....	38
Table 16 Materials of specimen .....	42

# LIST OF FIGURES

Fig. 1 Magnetic, Electric fields and wavelength of electromagnetic waves .....	4
Fig. 2 Frequency spectrum of electromagnetic wave .....	5
Fig. 3 A typical arrangement for measuring the shielding effectiveness of a material .....	6
Fig. 4 Schematic of reflection, absorption and multi-reflection of electromagnetic wave .....	8
Fig. 5 An apparatus of electromagnetic wave reflection by metal .....	9
Fig. 6 Schematic description of reflection and transmission of electromagnetic wave .....	11
Fig. 7 Attenuation of electromagnetic wave in a lossy media .....	12
Fig. 8 Photographs of Half-wave dipole antenna .....	14
Fig. 9 ASTM 4935-89 .....	15
Fig. 10 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens .....	19
Fig. 11 Electric muffle furnace .....	20
Fig. 12 Homogenizer and temperature control system .....	20
Fig. 13 Microstructures of carbon black powder .....	23
Fig. 14 Dispersion of carbon black powder .....	23
Fig. 15 15 Shape of electromagnetic interference shielding specimens .....	24
Fig. 16 Microstructure of conductive fabric .....	25
Fig. 17 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens .....	26
Fig. 18 Shape of electromagnetic interference shielding specimens .....	27
Fig. 19 Microstructure of Non-woven fabric stainless fiber .....	28
Fig. 20 Microstructure of woven fabric stainless fiber .....	29
Fig. 21 Microstructure of Basalt glass fiber .....	29

Fig. 22 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens .....	31
Fig. 23 Microstructure of specimens cross section .....	34
Fig. 24 Optical micrographs of Fine copper mesh and General copper mesh .....	37
Fig. 25 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens .....	39
Fig. 26 Microstructure of specimens cross section .....	40
Fig. 27 Photographs of EMC test system(Half-wave dipole antenna) .....	43
Fig. 28 Photographs of EMC test system .....	45
Fig. 29 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1000MHz range of CF and GF specimens .....	46
Fig. 30 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 800MHz range of GTi(30 wt%) and CTi(30 wt%) specimens .....	48
Fig. 31 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 800MHz range of GNi(30 wt%) and CNi(30 wt%) specimens .....	49
Fig. 32 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of GMg(30 wt%) and CMg(30 wt%) specimens .....	50
Fig. 33 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of GF/carbon black and GF/carbon black specimens .....	51
Fig. 34 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of CF/carbon black(1.3 wt%) and CF/carbon black(1.6 wt%) specimens .....	52
Fig. 35 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of Al specimen .....	53
Fig. 36 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of ACA specimen .....	54
Fig. 37 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of ACA/carbon black(2 wt%) specimen .....	55
Fig. 38 SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1.5 GHz range of NSG-1, NSG-2 and NSG-3 specimens .....	56
Fig. 39 SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1.5 GHz range of S, and SG specimens .....	57

Fig. 40 SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1.5 GHz range  
of GSG and SGS specimens .....58

Fig. 41 SE as a function of frequency measured in the 300MHz ~ 1.5GHz range of  
GSG, S and SG specimens .....59

Fig. 42 SE as a function of frequency measured in the 300MHz ~ 1.5GHz range of  
FG and GG specimens .....60

Fig. 43 SE as a function of frequency measured in the 300MHz ~ 1.5GHz range of  
AG and GAG specimens .....61

Fig. 44 SE as a function of frequency measured in the 300MHz ~ 1.5GHz range of  
AG, FG and GG specimens .....62

# NOMENCLATURE

EMI	Electromagnetic Interference
EMS	Electromagnetic susceptibility
EMC	Electromagnetic compatibility
EMSE	Electromagnetic shielding effectiveness
SE	Shielding effectiveness
dB	Decibel
K	Ratio of wave impedance and shielding material impedance
$\alpha$	Damping coefficient of electromagnetic wave
$Z_w$	Wave impedance
$Z_m$	Characteristic impedance
t	Thickness of shielding materials
$SE_R$	Shielding effectiveness of reflection
$SE_A$	Shielding effectiveness of absorption
$SR_M$	Shielding effectiveness of multi reflection
$\delta$	Skin depth
d	Thickness of samples
$\mu$	Permeability of free space
$\omega$	Frequency of electromagnetic wave
$\sigma$	Conductivity of electrics
$\epsilon_r$	Dielectric constant
$\tan\delta$	Loss tangent
$T_R$	Transmittance
$R_e$	Reflectance
$A_b$	Absorbance

# ABSTRACT

## A Study on the Electromagnetic Interference Shielding Characteristics of Fiber Reinforced Composites with Hybrid Conductive Filler

Bae Jee Soo

Advisor : Prof. Han, Gil-Young, Ph. D

Dept. of Mechanical Engineering

Graduate School of Chosun University

Due to the rapid growth of the electrical and electronic devices, which emit electromagnetic energy in the same frequency bands used by other users, it becomes essential to limit and shield electronic equipment against all source of interference caused by all these electromagnetic energies. In recent years, plastic industries have been increasingly involved with electronic devices such as TVs, office automatic instruments, computers etc.

Because of the need for these housing to attenuate electromagnetic interference(EMI) and radio frequency interference(RFI), the technique of imparting shielding to EMI transparent polymers has received a great deal of attention. The EMI is basically electrical in nature and is due to unwanted electromagnetic emission being either radiated or conducted.

Metal is considered to be the most effective material for electromagnetic shielding, but it is expensive and heavy. On the other hand, the use of polymer for housing the electronic device is popular due to its light weight, flexibility and less cost to make. Nowadays, housing of most electronic appliances is in

plastics for the advantages of not only high production, light weight and design freedom, but also being natural insulator and reflection and/or absorbing EMI free.

The objective of this thesis is to investigate the influence of material composition and design on to the electromagnetic interference shielding characteristics. Several fiber reinforced composite specimens consisting of general copper meshes, fine copper meshes, aluminum films, glass fiber, carbon fiber and stainless fibers were manufactured to perform the electromagnetic interference shielding experiments. In order to soak(adsorb) the specimen in electromagnetic fields, flanged coaxial transmission line sample holder was fabricated according to ASTM D 4935-89. Electromagnetic shielding efficiency (EMSE) was measured quantitatively to examine the electromagnetic shielding characteristics of designed specimens. The range of frequency considered is 300 - 1500MHz.

The result of electromagnetic interference shielding experiments showed that maximum EMSE value of specimens with general and fine copper meshes were 60dB at a frequency of 600 MHz and 70dB at a frequency of 1500 MHz, respectively. The maximum EMSE value of sandwich type specimen, which consist of both two skin sheet with stainless fibers and core with glass fibers, was 80dB at a frequency of 1500 MHz. From these results, it was noted that the sandwich type specimen consisting of skin sheets with stainless fibers and core with glass fibers has an excellent electromagnetic interference shielding characteristics in a high frequency range of electromagnetic wave.

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구배경 및 동향

산업화가 급속하게 진행됨에 따라 대기오염, 수질오염 및 소음공해 등과 같은 환경오염이 크게 증가하고 있다. 이러한 환경오염은 눈, 코, 귀를 통하여 확인할 수 있지만 제 4의 공해라 불리는 전자파는 보이지도 않고 들리지도 않는 데 그 심각성이 있다.<sup>1)</sup>

현대의 인간은 전자파에 둘러싸여 살고 있다고 해도 과언이 아닐 만큼 인간의 몸은 다양한 전자파에 노출되어 있다. 우리가 사용하는 모든 전기전자기기에는 전류가 흐르고 있으며 이 전류의 주위에는 전계와 자계가 유도되는데 전위차에 의해 공간이 생긴 전계가 시간적으로 변화하면 그 주위에 전자계가 발생한다. 이러한 전자파가 인체에 직접적인 영향을 미쳐 장애를 일으키거나 디지털 기기의 오작동을 일으켜 산업재해를 유발할 수도 있다. 또한, 생체리듬의 불균형을 가져오고 가임여성들의 유산 및 기형아 출산과 혈액암, 뇌암 등 여러 가지 질병들을 유발시킬 수 있다.<sup>2-3)</sup> 전자기기의 외부로부터 침입하는 노이즈(Noise)를 하우스(Housing)에서 차단하여 전자회로를 보호하거나 내부에서 발생하는 노이즈를 하우스 밖으로 방사시키지 않는 것을 전자파 차폐(Electromagnetic Interference : EMI shielding)라 한다. 불필요한 전자파인 노이즈는 고도로 자동화된 공장에서 로봇(robot)이 오작동을 일으켜 생산에 큰 차질을 빚거나, 인공심장을 가진 사람이 전자파 장애로 인한 인공심장 오작동으로 의식을 잃기도 하며, 비행기가 전자파 장애로 계기 오작동을 일으켜 항로를 이탈하거나, 군사용 레이더 통신기기의 오작동 등은 잘 알려진 사실이다.<sup>4,18,25)</sup>

EMI, EMS(Electromagnetic susceptibility), EMC(Electromagnetic compatibility) 등과 같이 전자제품이나 통신기기 등에서 방출되는 전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 관심이 급증하고 있으며, 전자파를 반사, 흡수할 수 있는 재료개발의 필요성이 절실히 요구되고 있는 실정이다.<sup>5-11)</sup> 이러한 전자파 방출 및 외부전자파에 의한 영향은 국내의 각종 규제에 의해 고도의 대책이 요구되고 있으며 이의 근본적인 방법이 차폐기술이다. 차폐(Shielding)는 전파하는 전기장의 전송을 감소시키는 시료의 성질을 말한다. 또한 외부 발생원으로 부터의 방해(Interference)를 막거나 내부 발생원에 기인하는 원치 않는 방사(Radiation)의 누설을 피하기 위하여 영역을 분리시키는 데 이용된다. 일반적으로 차폐 재료는 전기적 특성을 알고 있는 금속을 사용해 왔으나 재료에 따라서



가격이 비싸고 무겁다는 단점이 있다. 금속재료에 비해서 비강도, 비강성, 굴곡성, 경량성, 가공성 등이 우수한 플라스틱 재료 및 복합재료 등이 개발되어 전기·전자 제품 등의 외장재로서 금속재료를 대체해 나가고 있는 실정이다.<sup>12)</sup> 이들 재료는 전자파 차폐효과를 전혀 갖지 못하므로 복사방출 규제, 복사내성에 관한 규제에 효과적으로 대응하기 어렵다. 따라서 이들 재료에 도전성을 부가하여 전자파 차폐효과를 갖도록 하기 위해 도전성(Electrically conductive) 도료의 도포, 무전해 도금 등을 하고 있다.<sup>13-15,26)</sup> 전자파를 차폐하기 위한 도전성 플라스틱은 부도체인 범용 플라스틱에 금속 섬유, 탄소섬유 등의 도전성 충전제(Filler)를 혼입(Blend)하여 도전화한 복합재료(Polymer-matrix composites containing conductive fillers)로서, 이러한 재료들을 사용하는 기술적인 방법이 연구되고 있다.<sup>9)</sup> 이와 관련된 선행 연구로서 Dou<sup>16)</sup> 등은 Aluminum ally-fly ash 복합재료와 2024 알루미늄의 전자파 차폐효과를 실험하여 30.0 KHz ~ 600 MHz 범위에서 2024 알루미늄과 Aluminum alloy-fly ash 복합재료는 각각 약 36 dB ~ 46 dB 과 40 dB ~ 102 dB 의 차폐 효과를 얻었다고 보고 하였다. Renee<sup>17)</sup> 등은 에폭시를 기지체로 사용한 단섬유 구리를 혼입하여 1.0 GHz 에서 45 dB 이상의 전자파 차폐효과를 얻었다. Das 등<sup>12)</sup>은 전도성 카본블랙과 탄소섬유를 충전재로 사용한 천연고무와 에틸렌 비닐 아세테이트(Ethylene vinyl acetate)의 전자파 차폐특성을 고찰하여 충전재의 중량비 증가에 따라 차폐효과가 크게 증가함을 확인 하였다.

고분자 재료를 기지체로 한 복합재료는 일반적으로 부도체이기 때문에 전자파 차폐에 직접적으로 기여하지는 않으나 혼입된 도전성 충전제는 입자가 되도록 작으면서 분산성이 좋고, Aspect 비율(입자의 지름과 길이의 비율)이 크고, 입자간의 연결성이 좋아, 되도록 많은 도전통로가 생성되도록 제작한다면 전기 전도도를 높여 전자파 차폐효과를 높이게 된다.

## 1.2 연구목적 및 방법

전자·정보산업의 급속한 발전에 따라서 고속화 고집적화 되어가는 디지털회로 기술을 사용하는 컴퓨터, 핸드폰 등 사무용 기기, 디지털 TV, 전자레인지 등 각종 가전 제품, 로봇, 방전 가공기, NC 공작기계 등과 같은 산업용 기기, 심전계, 뇌파계, 초음파 검사장치 등 정교한 진단 및 치료용 기기 등 각종 디지털 전자기기가 일상생활에서 광

범하게 사용되고 있으며, 이들로부터 발생하는 노이즈가 기기 오작동의 원인이 되고 있다.<sup>4)</sup> 최근에는 국내외적으로 전자파 장해 규제가 본격화됨에 따라 효과적인 전자파 차폐 소재의 개발이 활발히 이루어지고 있는 실정이다. 전자파 차폐재는 재료의 도전, 유전 및 자성 손실을 이용하여 전자파가 차폐막을 통과할 때 전자파의 반사, 흡수, 투과 및 다중반사에 의해서 전자파의 세기를 효과적으로 감쇠시킬 수 있는 재료이다. 전기전도도는 그 하나만으로 전자파차폐 작용의 정량적 기준이 되지는 않으나 일반적으로 전기전도도가 높을수록 전자파차폐 효과는 커진다. 도전성 충전제를 혼입한 복합재료에서는 높은 전기전도도를 얻기 위해서는 충전제 입자 간의 접촉에 의한 연결성이 도전경로를 형성하기 위한 필수 요건이 된다. 플라스틱에 전자파차폐 기능을 부여하는 방법은 ① 플라스틱 표면에 도전성 도료, 도전성 테이프 등으로 피복처리 하는 방법, ② 플라스틱에 금속섬유, 탄소섬유 등의 도전성 충전제를 혼입하여 기존의 플라스틱 성형법으로 도전성 플라스틱을 성형하는 방법, ③ 플라스틱 표면에 무전해 도금, 진공 증착 등으로 금속박막의 코팅 하는 방법, ④ 폴리아닐린 등 플라스틱 자체가 도전성을 갖는 도전성 고분자를 사용하는 4가지 방법으로 분류할 수 있다.<sup>4)</sup>

그러나, 대부분의 연구들이 고분자 재료의 유전 특성에 관한 것으로 도전성 충전제를 사용한 섬유강화 복합재료의 전자파 차폐 특성에 관한 정량적인 실험적 연구는 아직 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 메탈 파우더와 나노 카본블랙을 혼합하여 제작한 시험편, 시험편 제작 시 모재인 에폭시에 카본블랙과 메탈파우더의 중량비 변화에 따라 제작한 시험편, 섬유강화 복합재료의 한쪽면에 알루미늄 필름을 압착 성형한 시험편, 전도성 직조섬유, 고개구율 구리 메쉬(Fine copper mesh), 범용 개구율 구리 메쉬(General Copper mesh) 섬유강화 복합재료 시험편, 스테인레스(Stainless) 직조섬유를 이용한 금속섬유강화 복합재료 시험편을 제작하여 주파수 영역에 따른 전자파 차폐특성을 비교 분석하였다.

## 제 2 장 전자파차폐 이론

### 2.1 전자파란

전자파는 전자기파(Electromagnetic wave)로서 공간상에서 전기장이 시간적으로 변화하게 되면 그 주위에 자기장이 발생하고 자기장이 시간적으로 변화하면 그 주위에 전기장이 발생하게 되어 전기장과 자기장이 서로 유도하여 Fig. 1과 같이 파의 진행방향과 직각을 이루고 공간에서 전파되는 합성 파동이다.<sup>1)</sup>

전기장파는 전기의 힘이 수직으로 미치는 공간을 말하며 보통 미터당 볼트(V/m)로 표시하고, 자기장파는 자기의 힘이 수평으로 미치는 공간을 말하며 단위는 밀리가우스(mG)로 표시한다. 따라서 빛이나 X 선, 방송이나 무선통신용 전파는 모두 전자파이다.<sup>19)</sup>

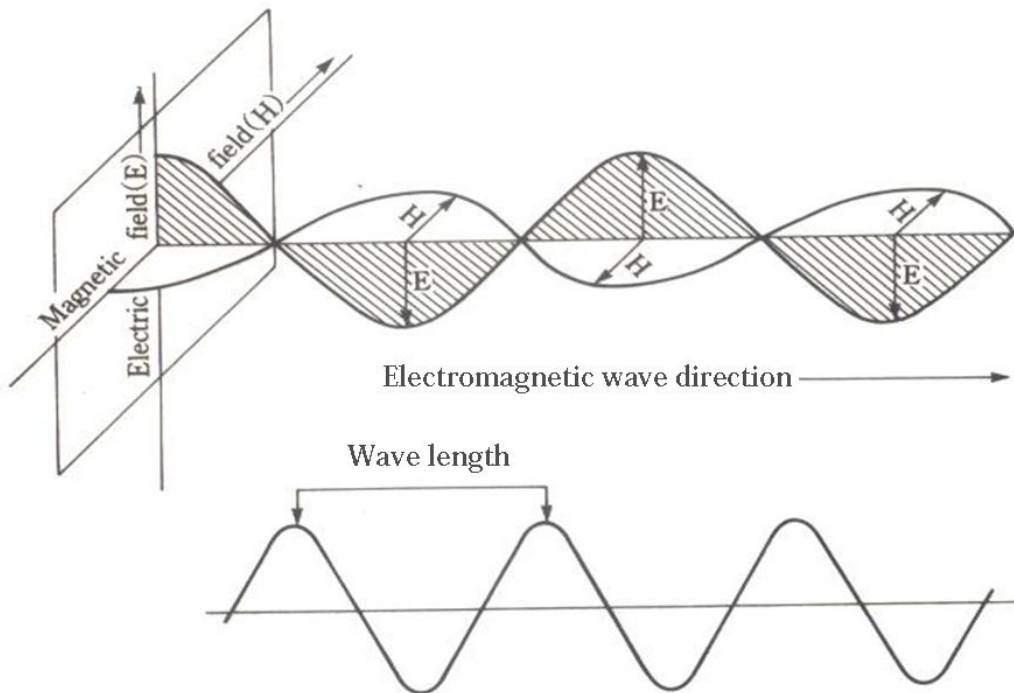


Fig. 1 Magnetic, Electric fields and wavelength of electromagnetic waves<sup>1)</sup>

Fig. 2는 전자파의 주파수에 따른 분류를 보여주고 있다.<sup>19)</sup> 전자파는 주파수가 높을수록 파장이 짧아지며 전자파가 갖는 에너지는 증가한다. 파장=전자파의 속도/주파수로 구할 수 있다. 전자레인지에서 사용하는 마이크로웨이브(2.45GHz)의 파장은  $30 \text{ 만 Km} / 2.45 \times 10^9 = 12.2 \text{ cm}$ 로 매우 짧아 음식물을 가열시킬 정도의 높은 에너지를 갖고 있는 것이다. 우리가 사용하고 있는 휴대폰도 800 MHz ~ 900 MHz의 마이크로웨이브를 사용하므로 안테나로부터 송신되는 전자파가 뇌속으로 전파되어 세포의 온도를 높임으로써 문제가 되는 것이다.<sup>1)</sup> 광선도 일종의 전자파로서 적외선, 가시광선, 자외선 등으로 분류되며 이중에서 자외선의 파장이 가장 짧아 에너지가 가장 강하여 피부암 등을 유발하는 것으로 알려져 있다.

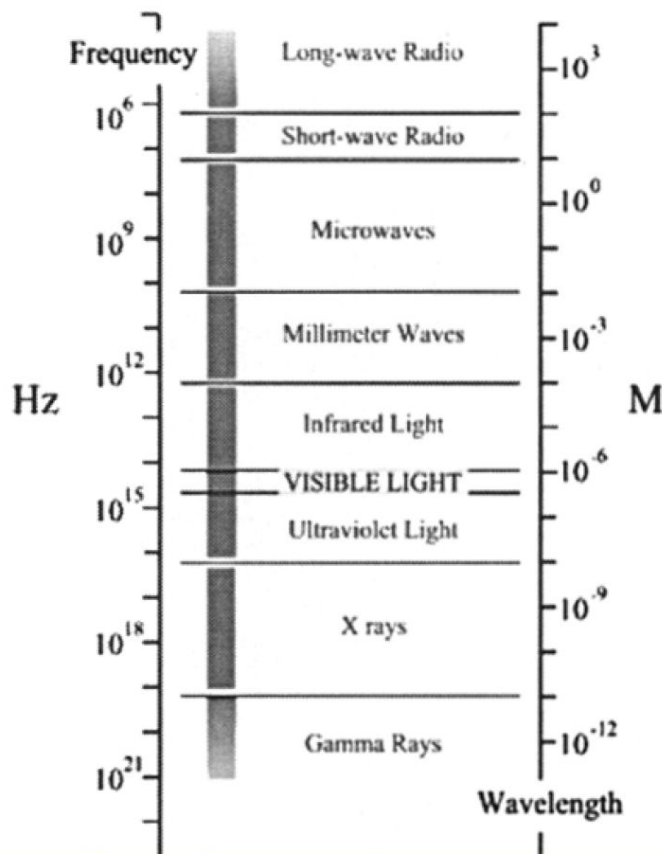


Fig. 2 Frequency spectrum of electromagnetic wave

## 2.2 전자파 차폐이론

전형적인 전자파 차폐효과 측정법은 Fig. 3에 의한 방법에 의해 이루어진다.

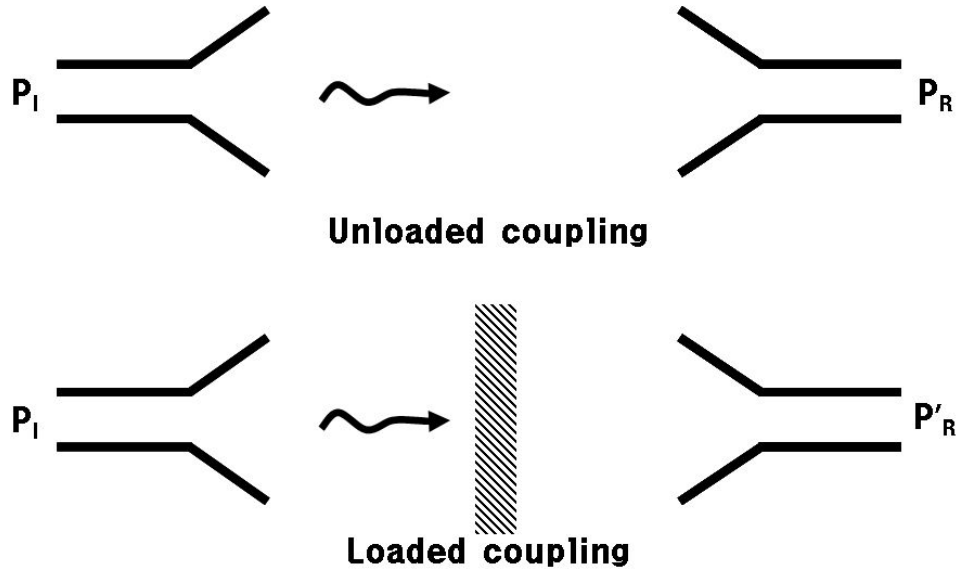


Fig. 3 A typical arrangement for measuring the shielding effectiveness of a material

물질의 전자파 차폐의 정도를 나타내는 전자파 차폐효과(Shielding Effectiveness : SE)는 입사 전자파의 세기( $P_I$ )와 투과 전자파( $P_R$ )의 세기의 비로 정의되며, Decibel (dB)을 단위로 쓴다. 즉 식(2.1)과 같다.

$$SE = 10 \log \left( \frac{P_I}{P_R} \right) \text{ (dB)} \quad (2.1)$$

여기서  $E_I$ 와  $E_T$ 는 입사와 투과되는 전기장의 세기이다.<sup>20)</sup>

재료의 두께와 전기적 특성 등을 고려하여 계산하면, 식(2.2)와 같다.

$$SE = 20\log\left[e^{\alpha t} \frac{(1+k)^2}{4k} 1 - \left(\frac{k-1}{k+1}\right)^2 e^{-2\gamma t}\right]$$

$$SE = 20\log e^{\alpha t} + 20\log \frac{(1+k)^2}{4k} 1 + 20\log 1 - \left(\frac{k-1}{k+1}\right)^2 e^{-2\gamma t} \quad (2.2)$$

여기서,  $k$ 는 파동임피던스( $Z_w$ )와 차폐재료 임피던스( $Z_m$ )의 비( $Z_w/Z_m$ ),  $\gamma$ 는 전자파의 전파 상수,  $\alpha$ 는 전자파의 감쇠상수,  $t$ 는 차폐 재료의 두께를 나타낸다.

Fig. 4와 식(2.3)에서와 같이 전자파가 차폐 물질에 입사할 때 임피던스가 다른 물질의 계면에서 반사되는 반사에 의한 차폐효율, 전자파가 차폐물질 내부를 진행하면서 흡수되어 소멸되는 차폐효율 그리고 차폐물질의 내부 및 양쪽 계면에서 발생하는 다중 반사에 의한 차폐효율로 나누어질 수 있다.<sup>20)</sup>

$$SE = SE_R + SE_A + SE_M \quad (2.3)$$

여기서,  $SE_R$ 는 반사에 의한 차폐효율을,  $SE_A$ 는 흡수에 의한 차폐효율을,  $SE_M$ 은 다중반사에 의한 차폐효율을 나타낸다.

한편 위의 식 (2.3)의 우항들은 구체적으로 다음의 식과 같이 각각 나타낼 수 있다<sup>20)</sup>.

$$SE_R = 20\log|1 + n|^2/4|n| \quad (2.4)$$

$$SE_A = 8.684(2\pi/\lambda)[(|\epsilon_r|/2)(1 + \tan\delta)^{1/2} \mp 1]^{1/2}d \quad (2.5)$$

$$SE_{MR} = 20\log|1 - \exp(-2rd)(1 - n)^2/(1 + n)^2| \quad (2.6)$$

여기서  $(2\pi/\lambda)[(|\epsilon_r|/2)(1 + \tan\delta)^{1/2} \mp 1]^{1/2}$ 를  $a$ (흡수계수)라 하고,  $\epsilon_r$ 는 유전상수의 실수부,  $\tan\delta$ 는  $\sigma/(w\epsilon_0 \epsilon_r)$ 로 정의된다.  $n$ 은 복소수 형태의 굴절률,  $\gamma$ 는  $a(1+i)$ 이다.  $a$ ,  $n$ ,  $\gamma$ 는 각각 시편의 전기 전도도, 유전상수 그리고 자기 투과율(Magnetic permeability)과 직접관련이 있는 물리적 상수 들이다.

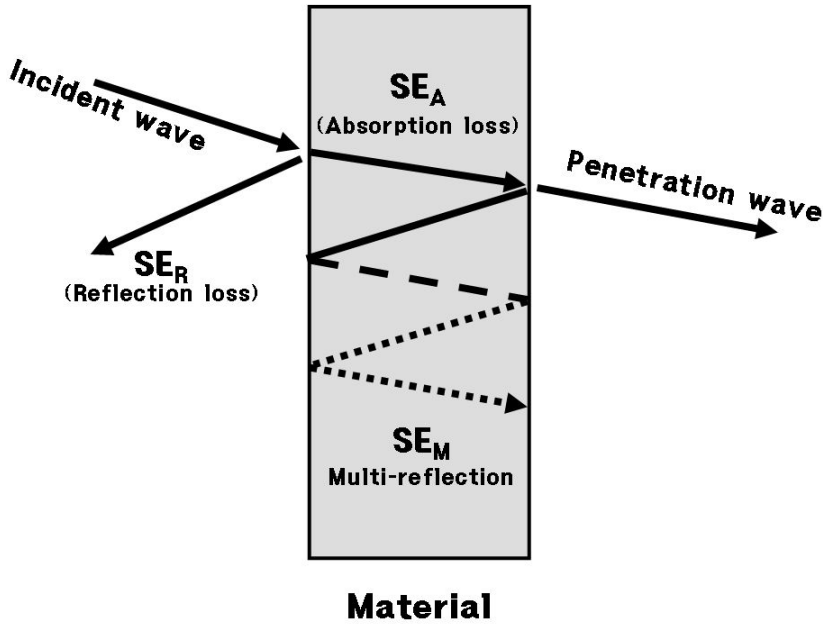


Fig. 4 Schematic of reflection, absorption and multi-reflection of electromagnetic wave

입사된 전자파는 재료내부에서  $\exp(-d/\delta)$ 지수함수에 따라 감쇠가 일어난다.  $d$ 는 시료의 두께,  $\delta$ 는 전자파가 재료를 통해 진행할 수 있는 깊이를 나타내는 척도로 표면깊이(skin depth)라 하며 입사된 전자파의 세기가  $1/e$ 로 감쇠될 때까지 전자파가 시료 내부로 진행한 길이로 정의한다. 표면깊이는 입사전자파의 주파수 및 매질의 전기전도도와 다음 식(2.7)과 같은 관계를 가져 일반적으로 전기전도도와 주파수가 높을수록 표면깊이는 작아진다.<sup>20)</sup>

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu\omega\sigma}} \quad (2.7)$$

여기서,  $\mu$ 는 자유공간상의 투과율 (Permeability),  $\omega$ 는 전자파의 주파수,  $\sigma$ 는 전기전도도이다. 일반적으로 전자파 차폐용으로 많이 사용되고 있는 금속재료는 전기전도도가 높기 때문에 전자파가 흡수되는 표면깊이가 작아 전자파의 반사에 의한 차폐를 이용한 차폐 재료이다.

전자파가 금속을 만나면 반사되는 현상은 스넬의 법칙(Snell's law)<sup>20)</sup>로 설명할 수

있다. 전자파는 금속표면에서 입사각과 같은 각도로 완전반사(total reflection)를 한다. 이 성질을 이용하여 금속을 통해 전자파를 차폐하거나 반사판 역할을 하여 전자파를 특정 방향으로 보내는 것이 가능하다. 금속에 의한 전자파 반사의 원리는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 진행중인 전자파는 전기가 잘 통하는 금속에 닿으면서 거의 모든 에너지가 순간적으로 금속 표면의 전류로 변화된다. 이로 인해 갑작스럽게 발생된 순간표면전류는 입사각과 같은 각도의 전자파를 생성하는데 이 과정에서 금속의 전도도에 따라 약간의 전류 손실이 발생한다.



Fig. 5 An apparatus of electromagnetic wave reflection by metal

## 2.3 재료의 전자기적 물성

전자기적 물성으로는 유전율(Permittivity), 투과율(Permeability), 전기 전도도(Electrical conductivity)등이 있으며, 유전손실, 투과손실 및 도전손실이 클수록, 입사하는 전파에 손실을 일으켜서 전자기파 흡수체로서 역할을 하게 된다.

가) 유전율

유전체(Dielectric material), 부도체의 전기적인 특성을 나타내는 값으로 외주의 전자계 변화에 대해 물질 내부의 모멘트(Moment)가 얼마나 민감하게 잘 반응하여 분극되는 정도를 나타낸다. 유전율은 복소수로 정의되며 다음 식(2.8)과 같다.

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \varepsilon' - j\varepsilon'' = \varepsilon_0 \varepsilon_r = \varepsilon_0 (\varepsilon'_r - j\varepsilon''_r) & (2.8) \\ \tan \delta &= \frac{\varepsilon''_r}{\varepsilon'_r} \end{aligned}$$



여기서,  $\epsilon_0$ 는 진공유전율( $8.854 \times 10^{-12}$  [F/m]),  $\epsilon_r$ 은 비유전율(Dielectric constant),  $\tan\delta$ 는 손실 탄젠트(Loss tangent / Dissipation factor)이다.

나) 투과율

투과율은 자기장의 힘(H)과 자속밀도(B)의 비를 의미하는 계수로 매질에 따른 자속(Magnetic flux)이 얼마나 잘 통하는가를 의미한다. 투과율은 식(2.9)과 같다.

$$\mu = \mu' - j\mu'' = \mu_0\mu_r = \mu_0(\mu'_r - j\mu''_r) \quad (2.9)$$

여기서,  $\mu_0$  : 진공투과율 ( $4\pi \times 10^{-7}$  [H/m]),  $\mu_r$  : 비투과율 (Relative permeability)이다.

다) 전기전도율

전류를 운반할 수 있는 정도를 나타내는 양으로 비저항의 역수이다.

## 2.4 전자파 반사, 투과, 흡수

전자파가 전송되다가 다른 매질을 만나게 되면 빛과 마찬가지로 일부는 반사되고 일부는 투과된다. 투과된 전자파도 매질의 특성에 의하여 흡수될 수 있다. 이러한 현상을 도식화 하면 Fig. 6과 같다. 이종물질의 경계면에서 일어나는 전자파의 반사, 흡수, 투과되는 현상을 매질2의 유전율과 투자율에 의해 결정된다.<sup>21-23)</sup> 경계면에서 전자파의 반사는 매질의 임피던스(Impedance, Z)에 결정된다. 임피던스는 전자파의 전기(E)와 자계(H)의 성분비로 정의되며, 식(2.10)과 같이 매질의 투과율 대 유전율의 제곱근으로 표시한다.

$$Z = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \quad (2.10)$$

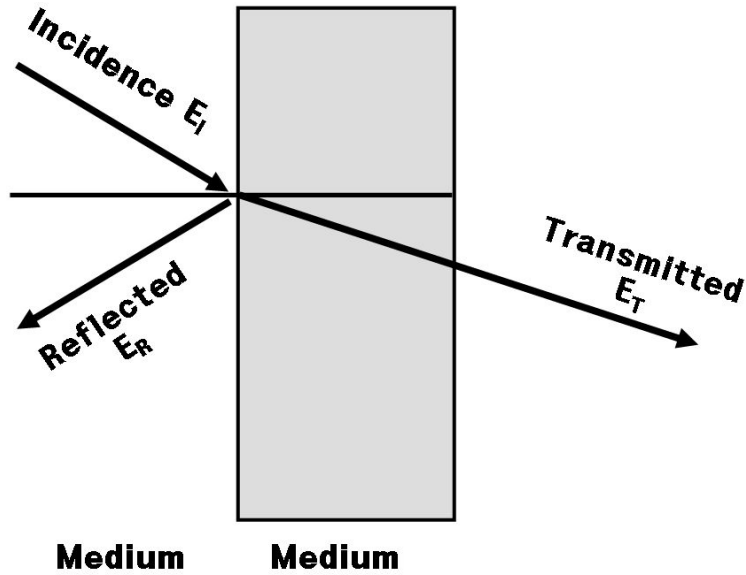


Fig. 6 Schematic description of reflection and transmission of electromagnetic wave

Fig 6 에서 매질1로부터 매질2로 전송되는 전자파의 입사파, 반사파, 투과파의 진계를 각각  $E_I$ ,  $E_R$ ,  $E_T$ 라 하면 경계면에서 반사계수(Reflection coefficient, S)와 투과계수(Transmission coefficient, T)는 각각 다음 식(2.11) 과 식(2.12)로 주어진다.

$$S = \frac{E_R}{E_I} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (2.11)$$

$$T = \frac{E_T}{E_I} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (2.12)$$

여기서,  $Z_1$ 과  $Z_2$ 는 각각 매질1과 매질2의 임피던스이다. 경계면에서 전자파의 반사가 일어나지 않기 위해서는 매질1과 매질2의 임피던스가 같아야 하고( $S=0$ ), 이러한 조건을 임피던스 정합(Impedance matching)이라고 한다. 임피던스 정합이 이루어졌을 때 입사파는 모두 매질2로 투과되고 그 때의 투과계수는  $T=1$ 이 된다. 투과된 전자파는 매질의 손실 특성(투과율, 유전율의 허수부)에 의해 Fig.7에서와 같이 전송길이에 따라 그 크기가 지속적으로 감소한다. 전자파의 감쇠 크기는 감쇠정수( $a$ )로 표시되는데,  $a$ 는

다음 식으로 정의되는 손실계수( $\tan\delta$ )가 커질수록 증가한다.

$$\tan\delta = \frac{\text{에너지 손실}}{\text{에너지 축적}} = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (2.13)$$

Fig. 7과 같이 투자율, 유전율의 허수부(손실항)가 커질수록 전파는 매질에 의해 감소되고 열로 변환된다.

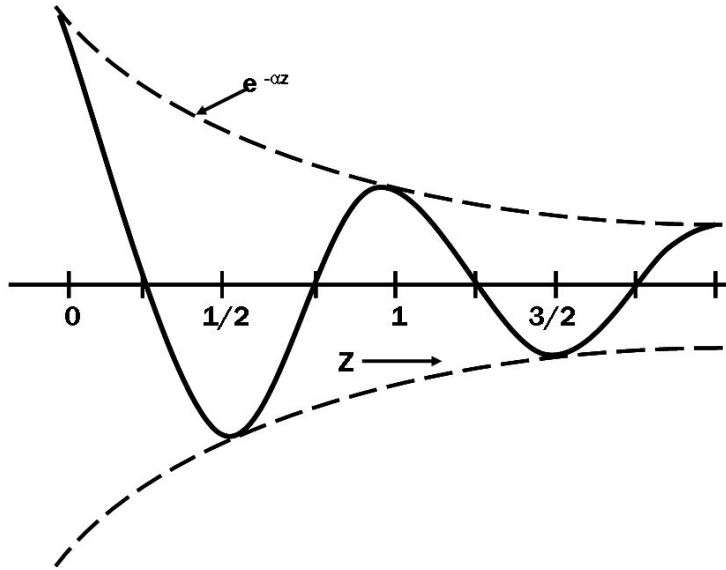


Fig. 7 Attenuation of electromagnetic wave in a lossy media

보통 0 ~ 10 dB은 차폐효과가 거의 없다고 판정되며 10 ~ 30 dB은 최소한도의 차폐효과, 30 ~ 60 dB은 평균적인 차폐효과, 60 ~ 90 dB은 평균이상, 90 dB이상의 차폐효과는 초정밀·통신 기기나 군사용 목적을 위한 최고 기술에 의한 차폐효과를 의미한다. 참고로 상업적 응용을 위해서는 40 dB이상, 군사적 응용을 위해서는 80 dB이상의 전자파 차폐효과가 요구된다.

만약 차폐효율이 10 dB일 경우에는 입사된 전자파 세기의 10 %에 해당하는 전자파가 투과된 경우로 전자파차폐가 매우 미미한 수준인 반면에 100 dB일 경우에는 입사 전자파의 세기가  $1/10^{10}$ 으로 감소되어 투과되는 경우로 매우 우수한 차폐성능을 보인다

할 수 있다.

Fig 4 에서 볼 수 있는 것처럼 전자파 차폐효과는 파동임피던스의 부정합 효과에 따른 반사와 표면 깊이에 의한 흡수 그리고 물질 내부에서의 다중반사에 의한 기여의 합으로 결정된다.

전자파차폐 효율을 측정할 때 전자파 발생원으로부터 차폐 재료까지의 거리에 따라 전자파차폐를 두 영역으로 구분할 수 있다. 전자파 발생원으로부터 차폐 재료까지의 거리( $d$ )와 전자파의 파장( $\lambda$ )의 비인  $d/\lambda$ 가  $1/2\pi$ 보다 큰 경우에는 far-field shielding이라고 정의하고, 반대로  $1/2\pi$ 보다 작은 경우에는 near-field shielding 이라고 정의한다. far-field 영역의 경우 전자파차폐는 평면파(plane wave) 이론을 기초로 하여 해석된다. 반면에 near-field 영역의 경우 전기 쌍극자(electric dipole)와 자기 쌍극자(magnetic dipole)의 기여를 구별하여야 하며 noise source의 외적 형태 등이 고려되어야 한다.

## 제 3 장 전자파 차폐효과 측정법

전자파 차폐효율을 측정하는 방법은 전기전도도를 측정하여 이론식에 의하여 차폐효율을 간접적으로 측정하는 방법과 전자파를 입사하여 차폐 재료를 투과하여 나오는 전자파의 세기를 직접 측정하여 차폐효율을 직접적으로 측정하는 방법이 있다.<sup>20, 24)</sup>

### 3.1 Half-wave dipole 안테나를 이용한 전자파 차폐효과 측정

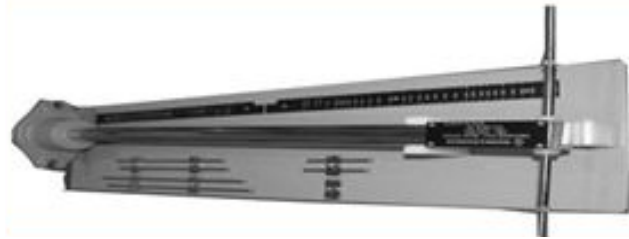


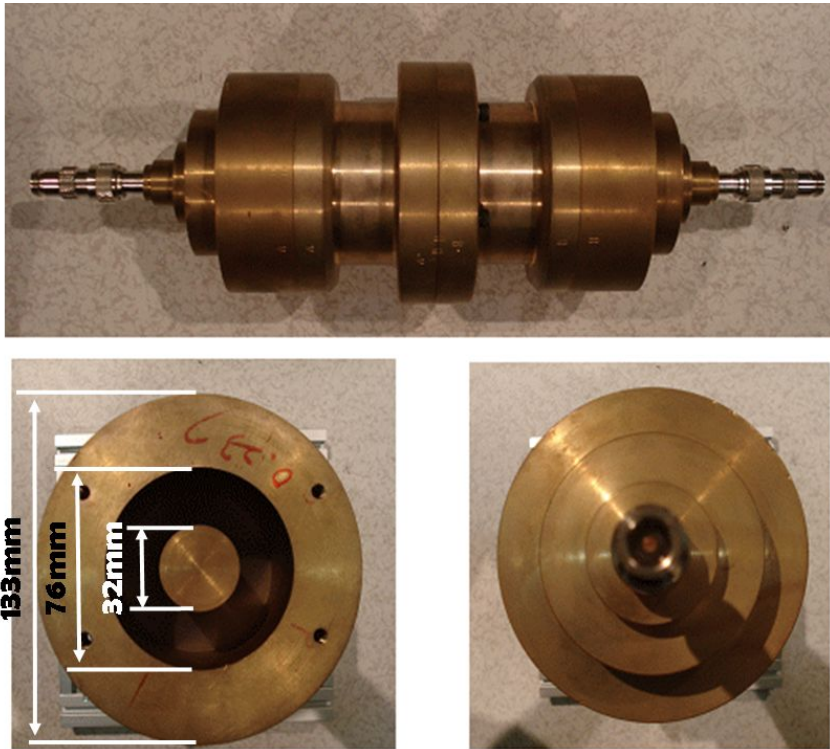
Fig. 8 Photographs of Half-wave dipole antenna

제작한 각 시험편의 전자파 차폐효과를 측정하기 위한 Fig. 8과 같은 Half-wave dipole 안테나를 이용한 전자파 차폐효과 측정 방법은 주파수 발생장치에서 발생하는 주파수대의 전자파를 Half-wave dipole 안테나를 통하여 방출하여, 그 양을 EMI test receiver에서 측정한 후 제작 시험편에 Half-wave dipole 안테나를 넣고 주파수를 발생시키면 발생된 전자파를 시험편에서 차폐·흡수하고 차폐·흡수하지 못한 전자파를 EMC test receiver에서 측정하여 EMSE(dB)의 양을 도시 함으로써 시험편을 설치하지 않았을 때의 전자파 방출량과 시험편 설치후의 전자파 방출량의 차이를 얻음으로써 전자파 차폐효과를 측정할 수 있다.

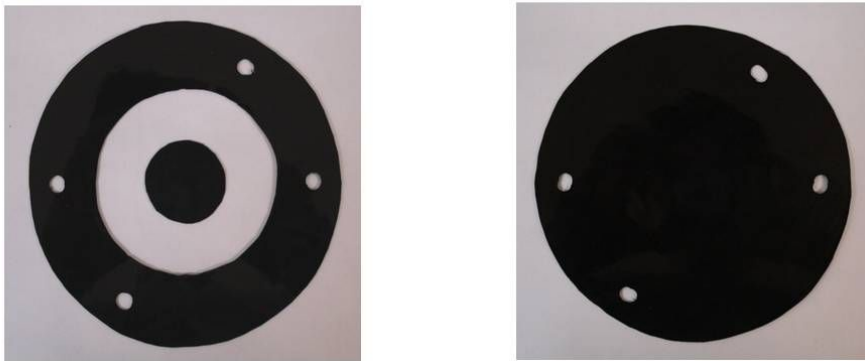
### 3.2 ASTM D 4935-89<sup>26)</sup> 방법을 통한 전자파 차폐효과 측정

ASTM D 4935 규격은 직접적인 측정방법으로서 Fig. 9에 전자파 차폐효과를 측정

하는 측정 장치와 측정 시험편인 기준 시험편(Reference specimen)과 부하 시험편 (Load specimen)의 형상을 도시하였다.



(a) Test fixture



Reference

Load

(b) Shape of specimens

Fig. 9 ASTM 4935-89 : (a) Test fixture, (b) Shape of specimens

측정원리는 신호발생기(Signal generator)에서 발생된 전자파가 측정치구에 있는 시험편을 투과하여 나오는 전자파를 수신기(Receiver)에서 측정하여 전자파 차폐효과를 측정한다. 이 때 시험편의 규격은 Fig. 9와 같이 ASTM-D-4935 규격을 따른다. Fig. 9와 같은 장치를 사용하면 시료의 표면에서의 반사 및 시료의 내부에서의 흡수에 의한 상대적인 차폐정도를 다음과 같은 식으로 측정할 수 있다.<sup>20)</sup>

$$T_R + R_e + A_b = 1 \quad (3.1)$$

여기서,  $T_R$ ,  $R_e$ ,  $A_b$ 는 각각 투과도(Transmittance), 반사도(Reflectance), 흡수도(Absorbance)를 나타내며, 식(3.2)와 식(3.3)에 의해 투과도와 반사도를 측정한 후 식(3.1)을 이용하여 흡수도를 계산하여 반사도와 흡수도를 비교하면 흡수에 의한 차폐와 반사에 의한 차폐를 상대적으로 비교할 수 있다.

$$T_R = \frac{E_T^2}{E_I^2} = |S_{21}(\text{or } S_{12})|^2 \quad (3.2)$$

$$R_e = \frac{E_R^2}{E_I^2} = |S_{11}(\text{or } S_{22})|^2 \quad (3.3)$$

여기서,  $E_I$ ,  $E_T$ ,  $E_R$ 은 각각 입사 전자장의 세기, 투과 전자장의 세기 그리고 반사된 전자파의 세기이며,  $S_{21}$  (또는  $S_{12}$ )과  $S_{11}$  (또는  $S_{22}$ )는 각각 투과와 반사에 해당하는 Scattering parameter (S - parameter)이다.

### 3.3 전자파 차폐 재료의 임피던스 측정에 의한 간접 측정

반사손실에 의한 전자파 차폐가 주된 기구일 때에는 RF 임피던스 분석기를 사용하여 각 주파수 대역에서 입사 전자파의 파동 임피던스(Wave impedance,  $Z_w$ )와 시료의 특성 임피던스(Characteristic impedance,  $Z_m$ )를 측정하여 전자기파 차폐효과와 반사손실을 다음 식에 의해 측정할 수 있다.

$$SE(\text{dB})=20\log\frac{(1+K)^2}{4K}=20\log\frac{(Z_w+Z_m)^2}{4Z_wZ_m} \quad (3.3)$$

여기서,  $K$ 는 파동 임피던스와 특성 임피던스의 비이며,  $Z_w=377\Omega$ 을 사용한다.



## 제 4 장 시험편 제작

### 4.1 메탈파우더와 카본블랙을 충전제로 사용한 섬유강화 복합 재료 제작

#### 4.1.1 재료의 선정

본 연구에서 사용된 카본블랙은 K 사의 카본블랙(Carbon black)를 사용하였으며, 물성은 Table 1과 같다. Table 2는 본 연구에서 사용한 메탈파우더 입자의 크기를 나타낸다. 강화재인 섬유는 H 사의 유리섬유 로빙 매트(Woven roving mat : CM 380 A)와 일방향 탄소섬유 매트(Toray CAT-300)를 사용하였으며, 기지재인 에폭시와 경화제는 각각 LR-67과 LH-33으로 K 사의 제품이며, 주로 섬유강화 복합재료의 기지재로 사용되거나 코팅 등에 사용되는 재료이다.

Table 1 Typical properties of carbon black

TRAD NAME	Surface Area [mg/g]	Particle Diameter [nm]	Apparent Density [Kg/m <sup>3</sup> ]	pH
HI-BLACK 41Y	150	19	170	8

Table 2 Mesh of metal powder

Materials	Ti	Ni	Mg
Size	500 mesh	400 mesh	100 mesh

## 4.1.2 시험편 제작

에폭시와 경화제를 2 : 1비율로 혼합 후 80 °C의 고온 프레스로 압축 성형하여 Fig. 10과 같은 방법으로 혼합물(Mixture)에 탄소섬유를 함침시킨 C1 시험편과 유리섬유를 함침시킨 G1 시험편을 제작하였으며, 에폭시와 경화제를 2 : 1 비율, 티타늄(Ti), 니켈(Ni), 마그네슘(Mg) 메탈파우더의 함량을 각각 10 wt%, 20 wt%, 30 wt% 로 혼합 후 Fig. 10과 같은 방법으로 탄소섬유를 함침시킨 C2, C3, C4 시험편과 유리섬유를 함침시킨 G2, G3, G4 시험편을 제작하였다. G5 시험편과 G6 시험편은 카본블랙을 고르게 분산시키기 위하여 카본블랙을 용매인 아세톤과 혼합하여 분산시킨 후, 이 용액과 에폭시를 혼합하여 2,000 rpm으로 30분 동안 교반 하였다. 이 과정에서 아세톤의 급격한 기화를 막으면서 용액의 점성을 낮게 유지하기 위해 40°C로 유지하였다. 이 용액을 상온에서 24 시간 동안 Fig. 11과 같은 전기로에 넣어 용매를 제거하고 카본블랙과 에폭시로만 이루어진 혼합물을 얻었다. 그 후에 이 혼합물과 경화제를 2 : 1의 비율로 혼합하여 Fig. 10과 같은 방법으로 시험편을 제작하였다. Fig. 12에 교반기(Homogenizer)와 온도를 유지하기 위한 장치를 보여준다.

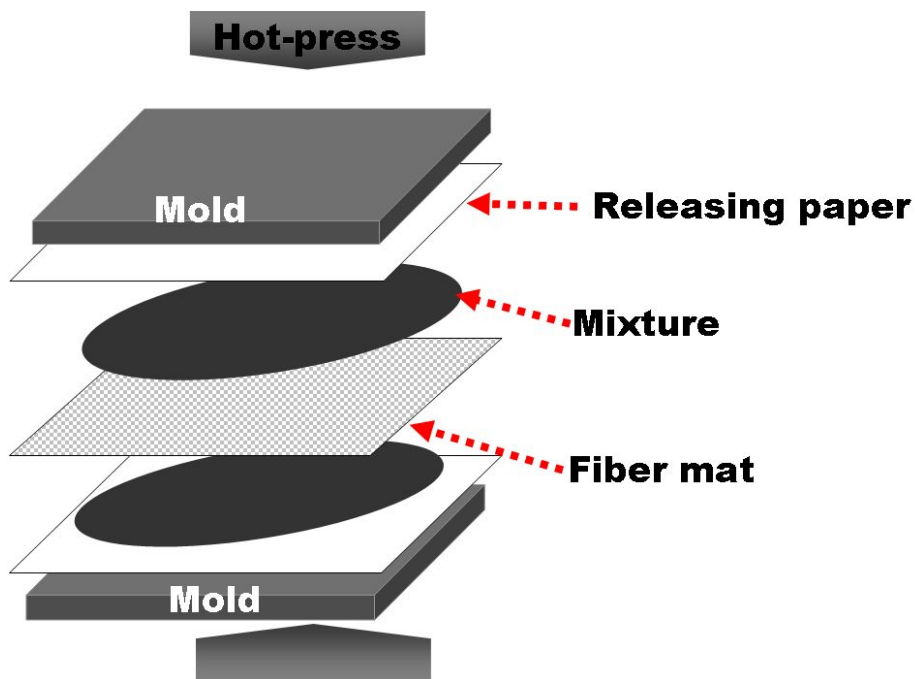


Fig. 10 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens

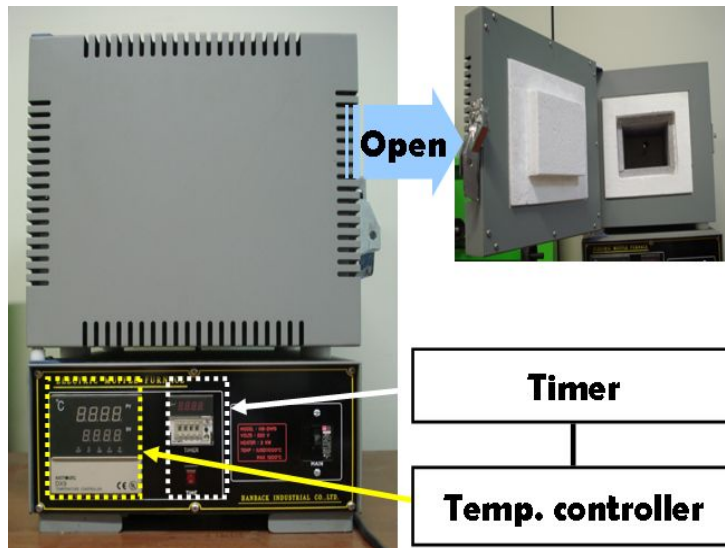


Fig. 11 Electric muffle furnace

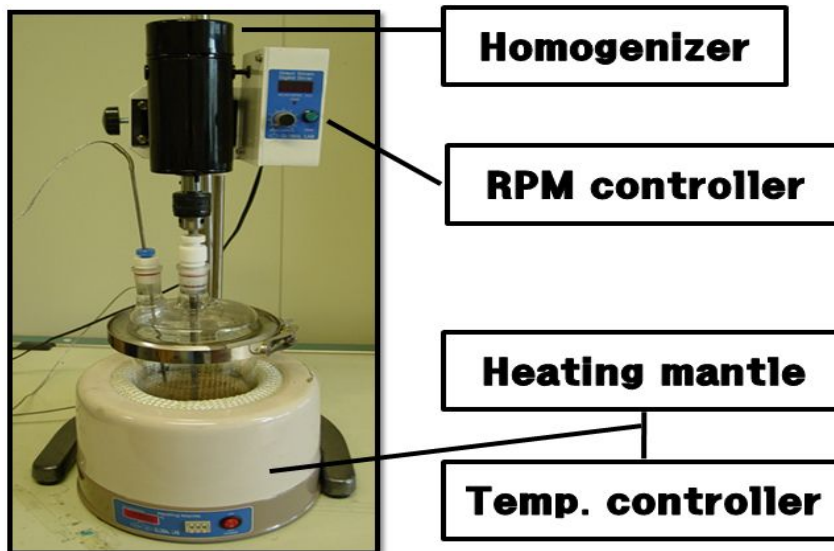


Fig. 12 Homogenizer and temperature control system

Table 3, 4, 5에 각각 시험편 제작 시 사용된 교반기, 히팅 맨틀(Heating mantle), 전기로의 사양을 나타내었다.

Table 3 Specification of direct driven digital stirrer

Voltage [V]	Max. motor speed [RPM]	Wattage [W]
AC 220	3,000	100

Table 4 Specification of heating mantle

Voltage [V]	Capacity [cc]	Wattage [W]
AC 220	2,000	450

Table 5 Specification of electric muffle furnace

Voltage [V]	Heater [kw]	Temperature [°C]
AC 220	2	Max. 1,200

메탈파우더와 카본블랙을 충전제로 사용한 섬유강화 복합재료 제작 시험편은 Table 6과 같으며, Fig. 13은 카본블랙의 입자를, Fig. 14는 카본블랙이 첨가된 복합재료 시험편 표면의 주사 전자 현미경(Scanning electron microscopy : SEM) 사진으로 카본블랙이 에폭시 사이에 잘 분포되어 있음을 확인할 수 있다.

Table. 6 Materials of specimen

Specimen	Materials
CF	Only carbon fiber
GF	Only glass fiber
CTi(10 wt%)	Ti powder(10 wt%) + carbon fiber
CTi(20 wt%)	Ti powder(20 wt%) + carbon fiber
CTi(30 wt%)	Ti powder(30 wt%) + carbon fiber
GTi(10 wt%)	Ti powder(10 wt%) + glass fiber
GTi(20 wt%)	Ti powder(20 wt%) + glass fiber
GTi(30 wt%)	Ti powder(30 wt%) + glass fiber
CNi(10 wt%)	Ni powder(10 wt%) + carbon fiber
CNi(20 wt%)	Ni powder(20 wt%) + carbon fiber
CNi(30 wt%)	Ni powder(30 wt%) + carbon fiber
GNi(10 wt%)	Ni powder(10 wt%) + glass fiber
GNi(20 wt%)	Ni powder(20 wt%) + glass fiber
GNi(30 wt%)	Ni powder(30 wt%) + glass fiber
CMg(10 wt%)	Mg powder(10 wt%) + carbon fiber
CMg(20 wt%)	Mg powder(20 wt%) + carbon fiber
CMg(30 wt%)	Mg powder(30 wt%) + carbon fiber
GMg(10 wt%)	Mg powder(10 wt%) + glass fiber
GMg(20 wt%)	Mg powder(20 wt%) + glass fiber
GMg(30 wt%)	Mg powder(30 wt%) + glass fiber
GF/carbon black(1.3 wt%)	Glass fiber + carbon black (1.3 wt%)
GF/carbon black(1.6 wt%)	Glass fiber + carbon black (1.6 wt%)
CF/carbon black(1.3 wt%)	Carbon fiber + carbon black (1.3 wt%)
CF/carbon black(1.6 wt%)	Carbon fiber + carbon black (1.6 wt%)
* Glass fiber (Woven roving mat : CM 380 A)	
* Carbon fiber (Toray CAT-300)	

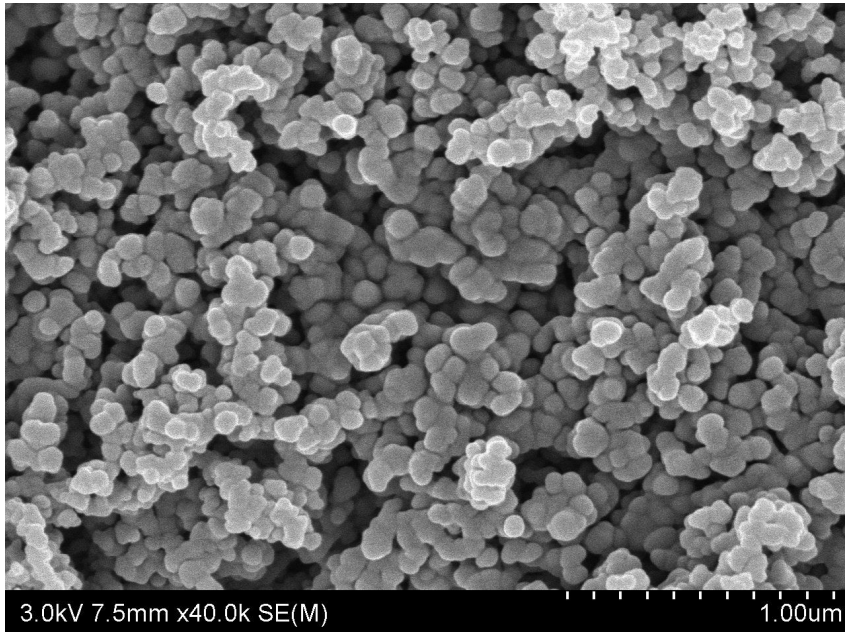


Fig. 13 Microstructures of carbon black powder

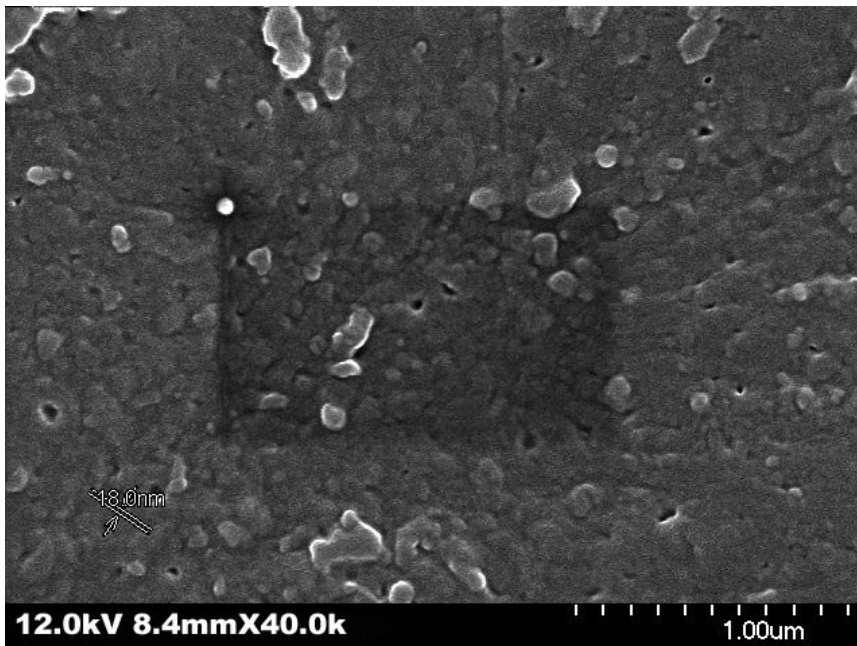


Fig. 14 Dispersion of carbon black powder

고온 프레스로 압축 성형한 두께 1.8 mm의 시험편 판넬(Panel : 300 mm × 170 mm × 1.8 mm)을 각각 제작하였다. 전자파 차폐 측정실험을 하기 위해 다이아몬드 휠 톱(Powermet 2,000 abrasive cutter)으로 절단하여 200 mm × 150 mm × 70 mm인 박스형태로 제작하였으며, 각각의 모서리 부분을 밀폐시키기 위하여 시험편 제작과정과 동일한 혼합비로 제작한 혼합물을 이용하여 모서리 부분을 밀폐시켰다. 박스형태로 제작한 형상을 Fig. 15에 도시하였다.

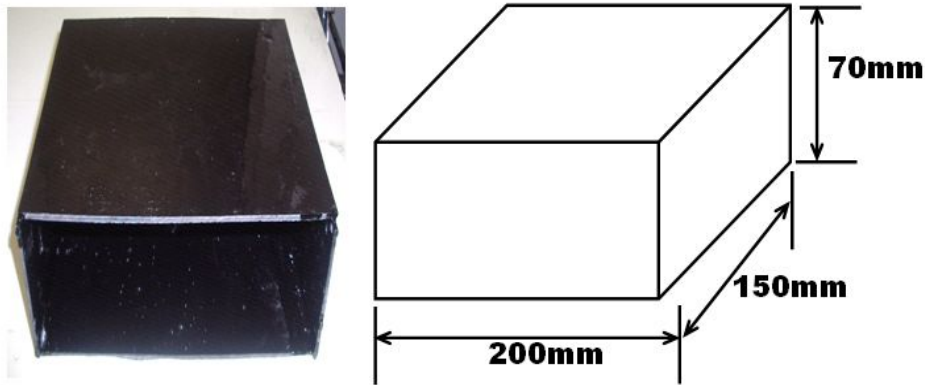


Fig. 15 Shape of electromagnetic interference shielding specimens

## 4.2 알루미늄 필름, 도전성 직조섬유 / 나노카본블랙 복합재료 시험편 제작

### 4.2.1 재료의 선정

사용된 알루미늄 판재는 A1050으로 물성은 Table 7과 같다. 코어재로는 폴리에스터 섬유에 니켈과 구리를 증착하여 직조한 도전성 직조섬유를 사용하였으며 물성은 Table 8과 같다. Fig. 16은 도전성 직조섬유의 직조형상을 확대한 사진이다. 표면 판재와 코어재의 접착제는 D 회사의 2TON EPOXY를 사용하였다. 2TON EPOXY는 금속 등 하중을 요하는 구조재의 접착에 사용되는 재료이다.

또한 표면 판재와 코어재 접착 시 도전성 향상을 위한 재료로 Table 1과 같은 카본블랙을 사용하였다.

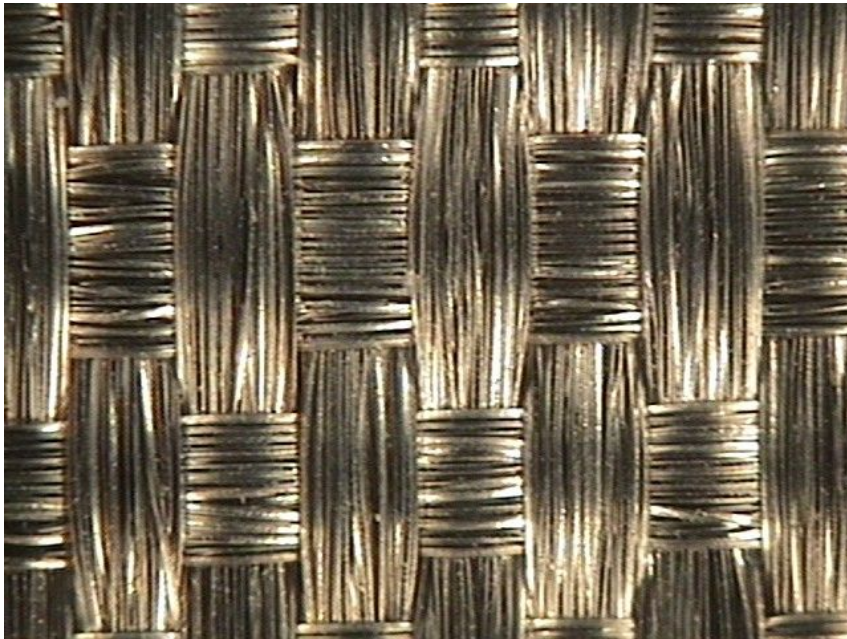


Fig. 16 Microstructure of conductive fabric ( $\times 300$ )

Table 7 Typical properties of Aluminum Panel

TRAD NAME	Thickness (mm)	Tensile Strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
A1050	0.5	98	20

Table 8 Typical properties of Conductive Fabric

TRAD NAME	Thickness ( $\mu\text{m}$ )	Tensile Strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Bursting Strength (kg/cm <sup>2</sup> )
HR2201	100	25.2~26.2	9

4.1.1 의 메탈파우더와 카본블랙을 충전제로 사용한 섬유강화 복합재료 시험편과 동일하게 기지재인 에폭시와 경화제는 K 사의 LR-67과 LH-33 제품을 사용하였다.



## 4.2.2 시험편 제작

알루미늄 판재만을 이용한 AI 시험편 판넬을 제작하였으며, 니켈과 구리를 이용해 제작한 전도성 직조섬유를 코어재로 한 ACA 시험편 판넬은 외판인 알루미늄 판재와 코어재인 도전성 직조섬유를 에폭시 접착제로 집합하여 프레스로 압축하여 제작하였다. 시험편의 제작 과정을 Fig. 17에 도시하였다.

ACA/Carbon black 시험편 판넬 제작 시 사용된 에폭시 접착제는 접착면의 전도성 향상을 위해 에폭시 접착제에 카본블랙을 2 wt% 첨가하여 2,000 rpm으로 1분간 교반하여 사용하였다.

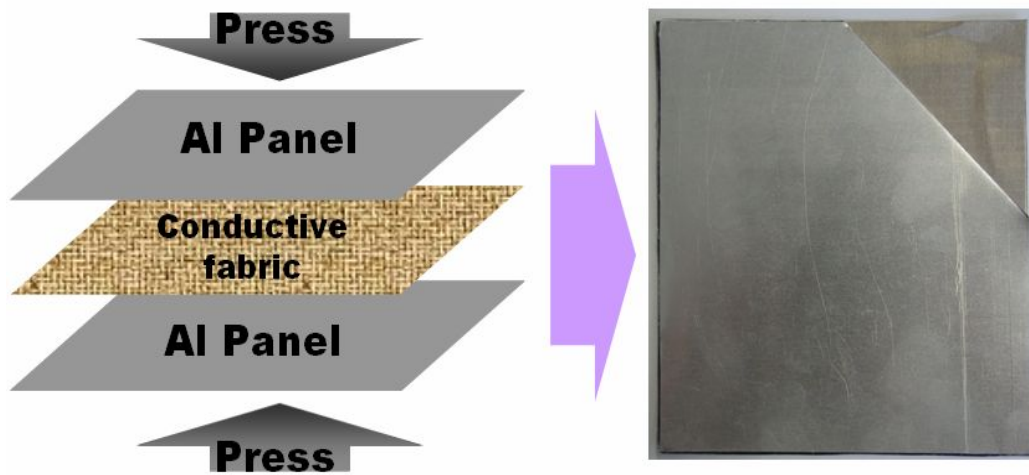


Fig. 17 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens

제작된 판재를 전자파 차폐 측정실험을 하기 위하여 Fig. 15와 동일하게 200 mm × 150 mm × 70 mm 크기의 박스 형태로 제작하였다. 박스 형태로 제작한 형상을 Fig. 18에 도시하였다.

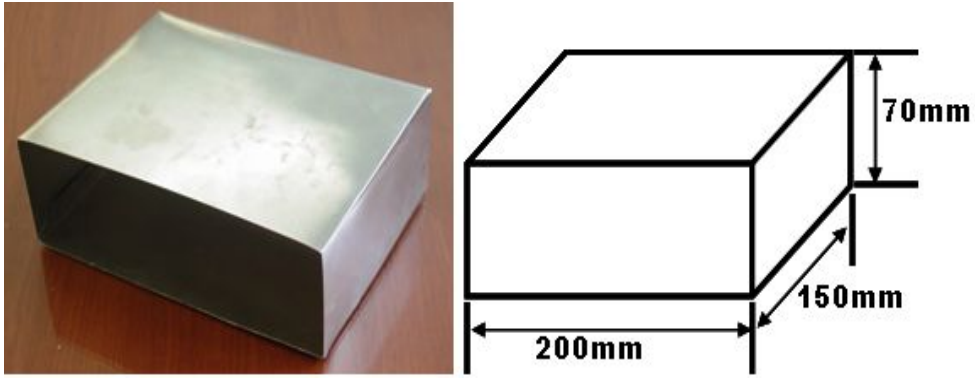


Fig. 18 Shape of electromagnetic interference shielding specimens

제작한 시험편과 제작 시 사용한 재료는 Table 9와 같다.

Table. 9 Materials of specimen

Specimen	Materials
Al	Aluminum panel
ACA	Aluminum panel/Conductive fabric/Aluminum panel
ACA/Carbon black	Aluminum panel/Conductive fabric/Aluminum panel + Carbon black (2 wt%)

## 4.3 스테인레스 직조섬유 구조에 따른 섬유강화 복합재료 시험편 제작

### 4.3.1 재료의 선정

시험편 제작 시 사용된 강화재인 유리섬유는 Y 회사의 제품으로 친환경적인 현무암 유리섬유를 사용하였다. 스테인레스 섬유는 Fig. 19와 같은 B 회사의 부직포 (Non-woven fabric) 형태의 AISI 316 L제품과 Fig. 20과 같은 Y 회사의 직물 (Woven fabric) 형태를 사용하였다. 에폭시와 경화제는 4.1.1 절과 동일한 K 사의 LR-67과 LH-33 제품을 사용하였다.

시험편 제작에 사용된 유리섬유, 부직포 형태의 스테인레스 섬유와 직물형태의 스테인레스 섬유의 특성은 Table 10, Table 11, Table 12에 각각 나타내었다.

Fig. 21은 시험편 제작 시 사용된 현무암 유리섬유의 직조형상을 확대한 사진이다.

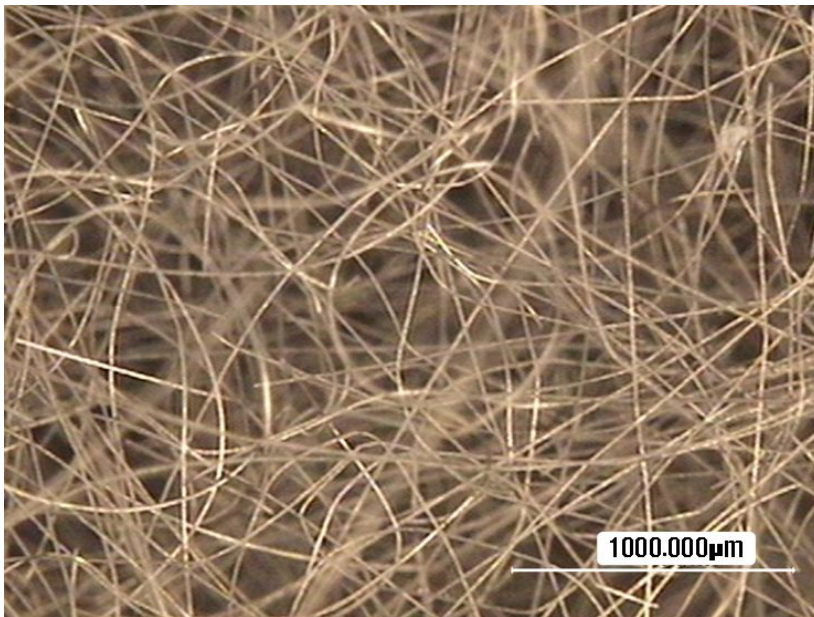


Fig. 19 Microstructure of Non-woven fabric stainless fiber ( $\times 100$ )

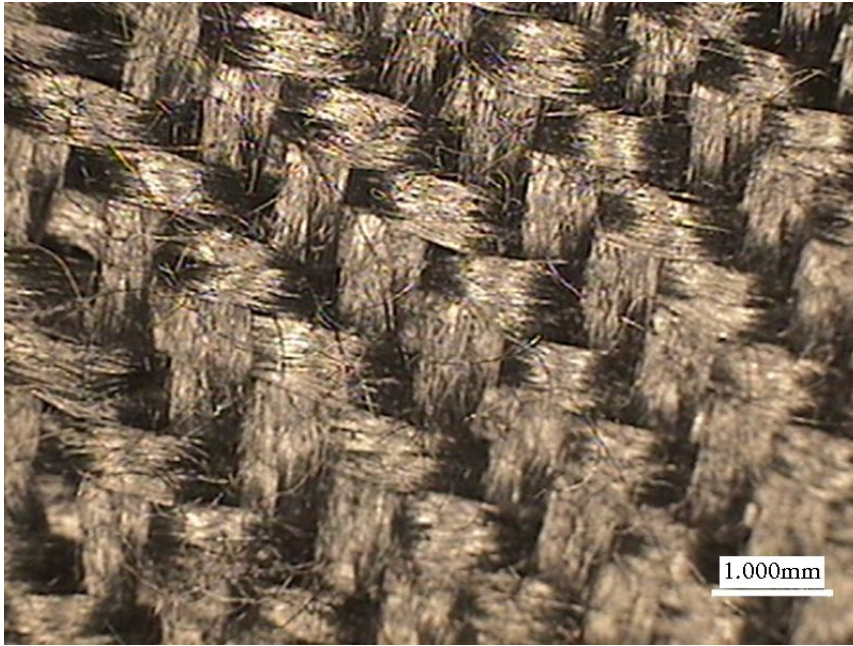


Fig. 20 Microstructure of woven fabric stainless fiber ( $\times 40$ )

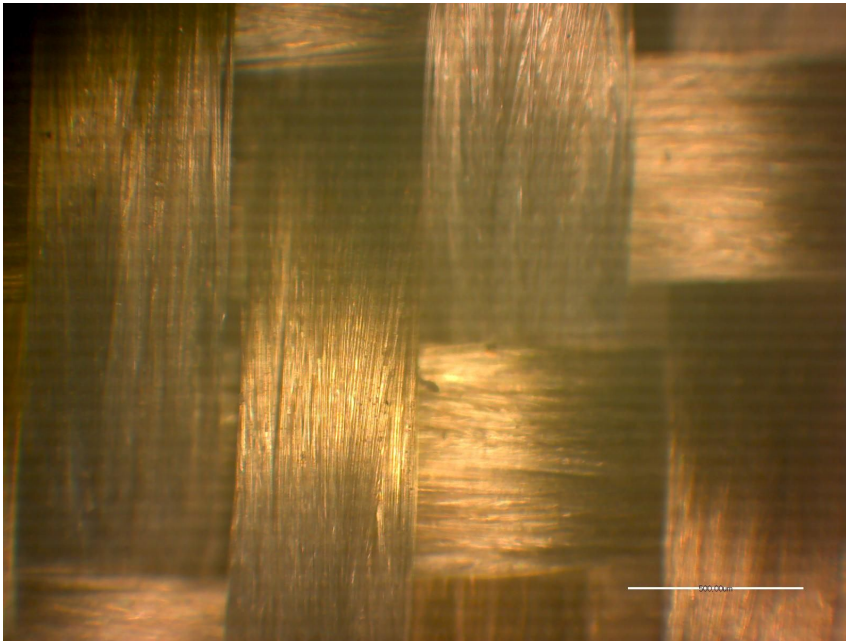


Fig. 21 Microstructure of Basalt glass fiber ( $\times 100$ )

Table 10 Typical properties of Basalt glass fiber

TRAD NAME	Fiber Diameter [ $\mu\text{m}$ ]	Tensile strength [MPa]	Melting Temperature $\eta=10^2$ poise [ $^{\circ}\text{C}$ ]
Basalt glass fiber	9 ~ 10	3,100	1,350

Table 11 Chemical composition of non-woven fabric stainless fiber

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

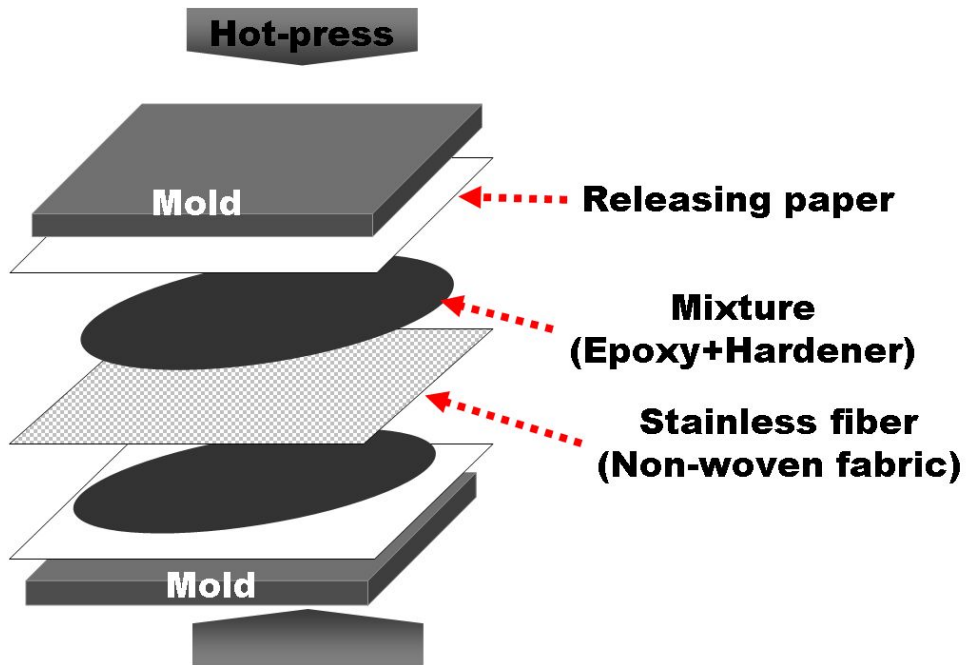
Table 12 Typical properties of woven fabric stainless fiber

Type	Material	Fiber Diameter [ $\mu\text{m}$ ]	Structure	Thickness [mm]	Weight [ $\text{g}/\text{m}^2$ ]
Metal woven fabric	Stainless Steel (SUS316L)	12	Twill	0.8	750~800

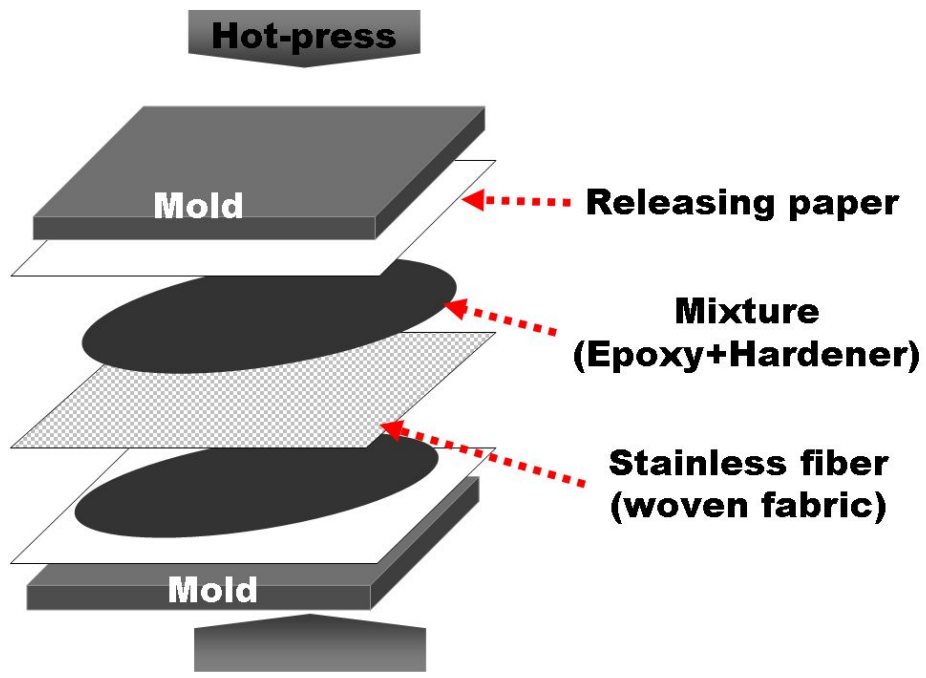
### 4.3.2 시험편 제작

에폭시와 경화제를 2 :1비율로 혼합하여 혼합물을 제작하였으며, 부직포 형태의 스테인레스 섬유를 혼합물에 함침하여 제작된 시험편은 스테인레스 섬유의 직경과 평량에 따라 Fig. 23의 (a)와 같이 각각 NSG-1(직경 : 6.5  $\mu$ , 평량 : 75  $\text{g}/\text{sq.M}$ ) 시험편, NSG-2(직경 : 6.5  $\mu$ , 평량 : 150  $\text{g}/\text{sq.M}$ ) 시험편, NSG-3(직경 : 8  $\mu$ , 평량 : 150  $\text{g}/\text{sq.M}$ ) 시험편으로 정의하였다. 직조 형태의 스테인레스 섬유를 이용한 시험편의 경우 Fig. 22와 같이 에폭시와 경화제를 혼합한 혼합물에 직조 형태의 스테인레스 섬유

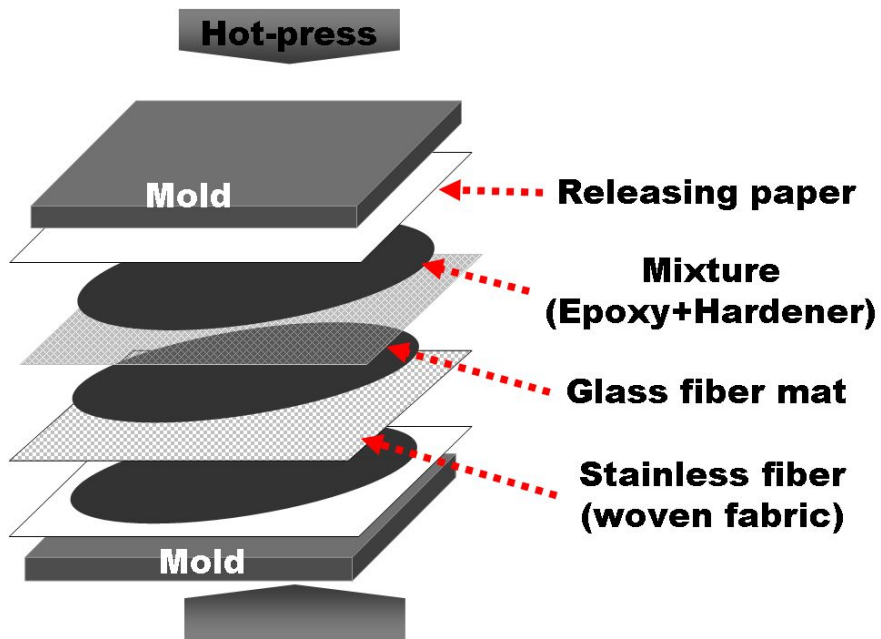
를 함침시킨 S 시험편, 유리섬유와 직조 형태의 스테인레스 섬유를 함침시킨 SG 시험편, 유리섬유 코어재로하고 양쪽을 직조형태의 스테인레스 섬유로 SGS 시험편, 직조 형태의 스테인레스 섬유를 코어재로 하고 양쪽을 유리섬유로 GSG 시험편을 제작하였다. Table 13에 제작한 시험편에 대하여 나타내었다.



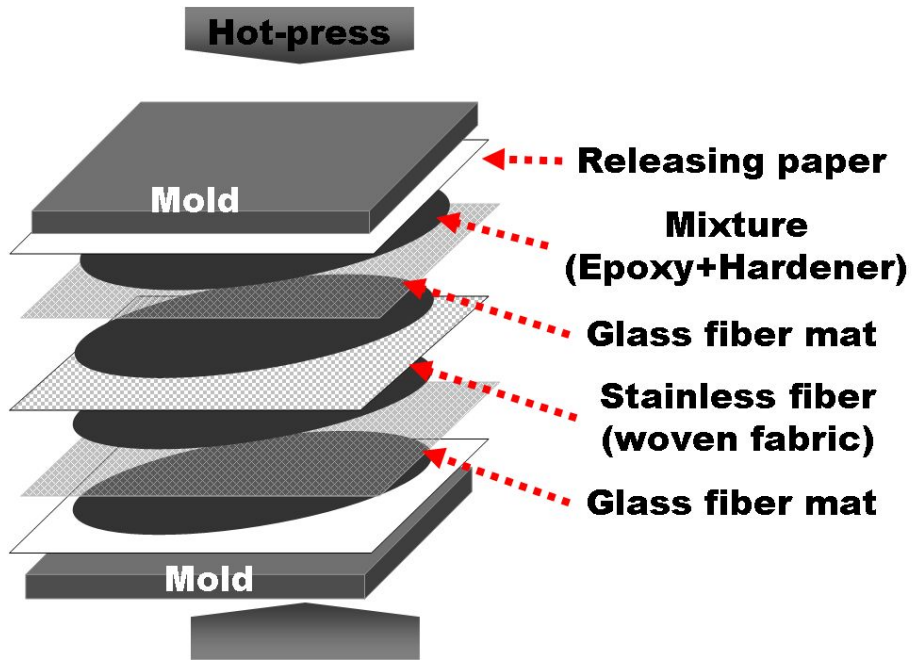
(a) NSG specimen



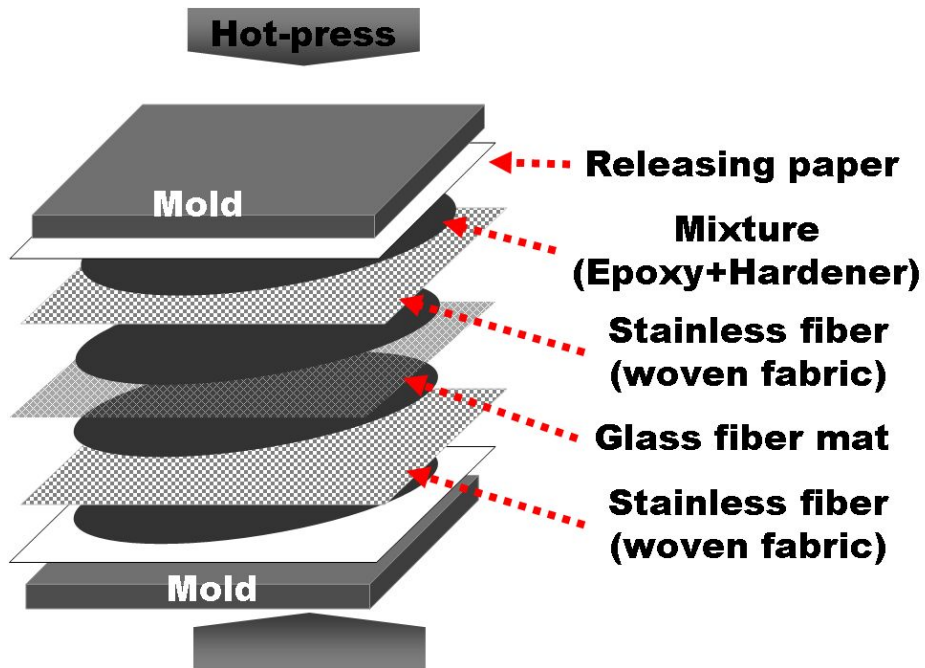
(b) S specimen



(c) SG specimen



(d) GSG specimen

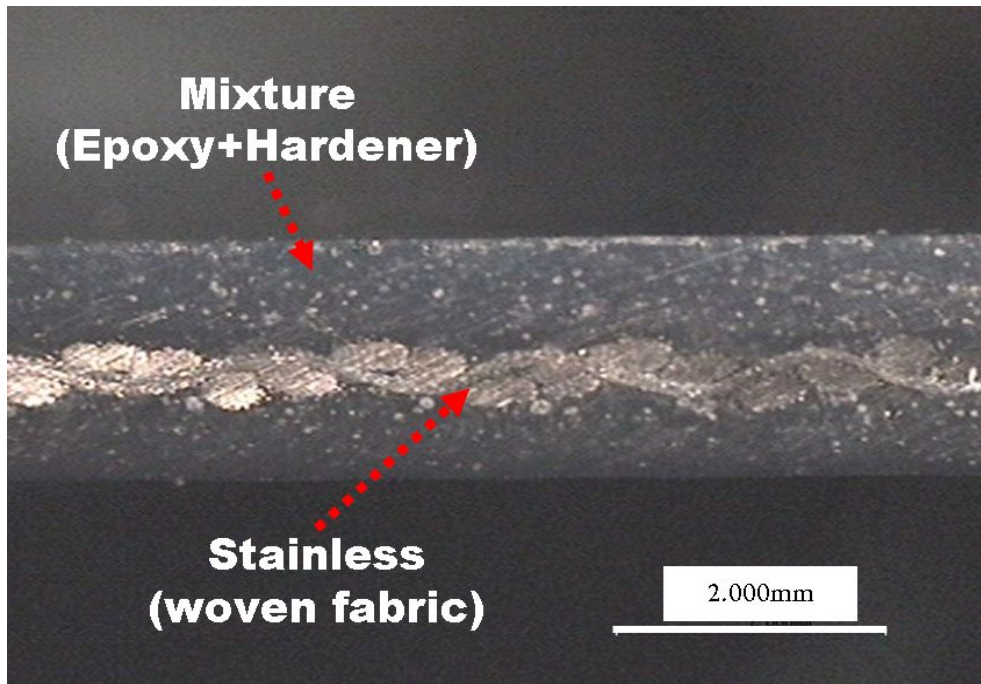


(e) SGS specimen

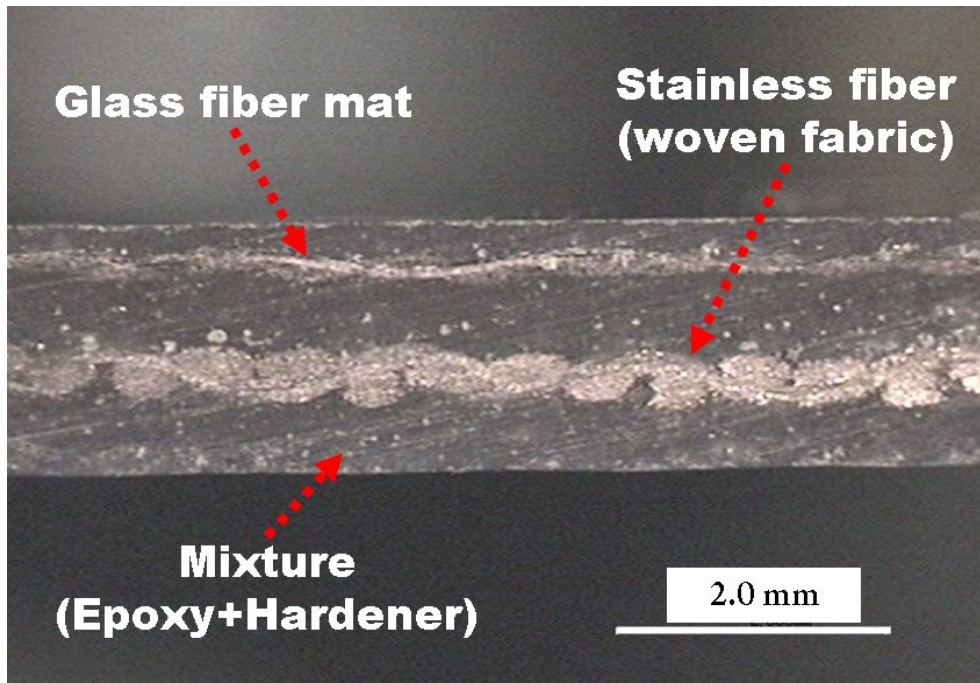
Fig. 22 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens



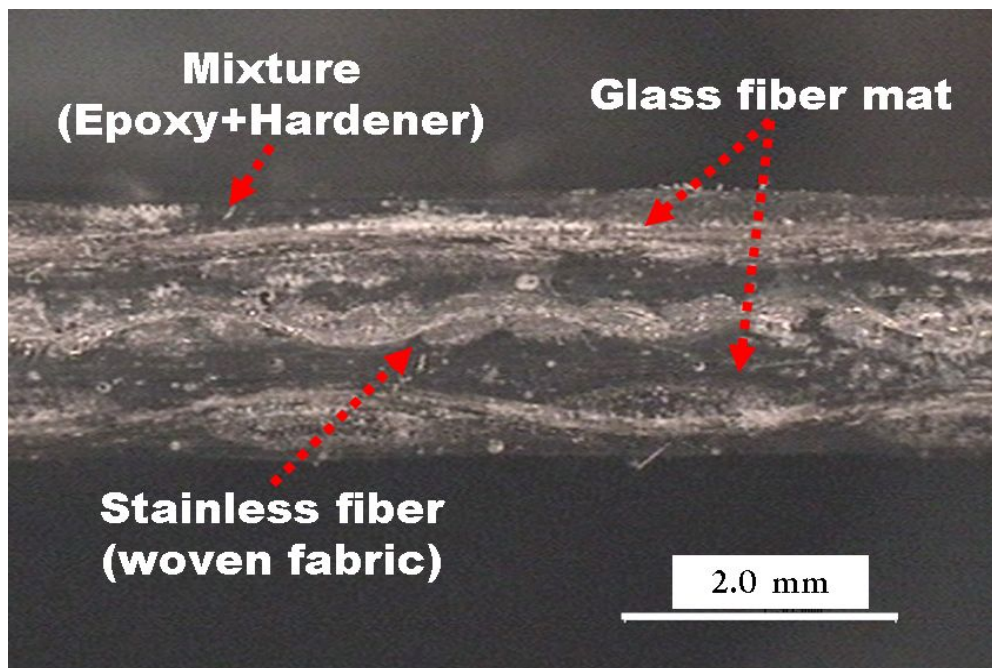
제작된 시험편 판넬의 크기는 300 mm × 300 mm × 2 mm이며, 제작된 시험편의 단면을 관찰하기 위해 다이아몬드 휠 톱을 사용하여 시험편을 절단하였다. Fig. 23은 직조 형태의 스테인레스 섬유를 이용한 시험편의 단면 사진을 도시하였다.



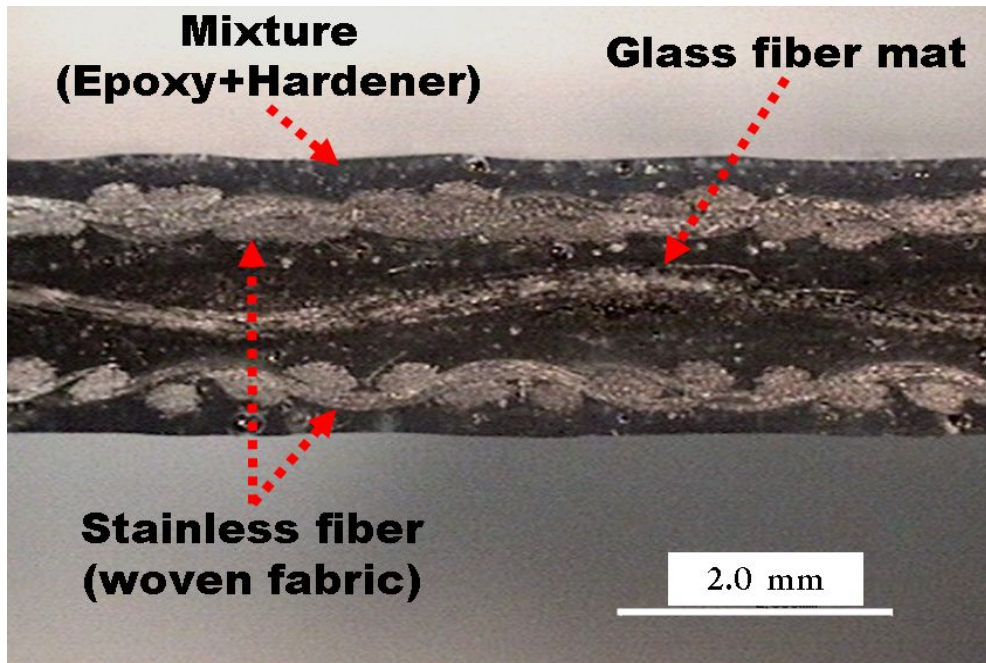
(a) S specimen



(b) SG specimen



(c) GSG specimen



(d) SGS specimen

Fig. 23 Microstructure of specimens cross section

제작한 시험편은 Table 13과 같다.

Table 13 Materials of specimen

Specimen	Material
NSG-1	Stainless (Non-woven fabric) Diameter : 6.5 $\mu$ , 평량 : 75 g/sq.M
NSG-2	Stainless (Non-woven fabric) Diameter : 6.5 $\mu$ , 평량 : 150 g/sq.M
NSG-3	Stainless (Non-woven fabric) Diameter : 8 $\mu$ , 평량 : 150 g/sq.M
S	Stainless fiber mat
SG	Stainless fiber mat / Glass fiber mat
GSG	Glass fiber mat / Stainless fiber mat / Glass fiber mat
SGS	Stainless fiber mat / Glass fiber mat / Stainless fiber mat
* Glass fiber mat : Basalt glass fiber mat	

## 4.4 Fine copper mesh, General copper mesh, Aluminum film을 사용한 유리 섬유강화 복합재료 시험편 제작

### 4.4.1 재료의 선정

본 연구에서 사용된 전도성 재료인 카본블랙은 Table 1과 같고, 시험편 제작 시 사용된 고개구율 구리메쉬(Fine copper mesh)와 범용개구율 구리메쉬(General copper mesh)는 E 회사의 제품을 사용하였다. 알루미늄 필름(Aluminum film)은 S 회사의 제품을 사용하였다. 사용된 구리메쉬와 알루미늄 필름의 특성을 각각 Table 14와 Table 15에 나타내었다. 사용한 유리섬유는 Table 10과 동일한 현무암 유리섬유(Glass fiber)를 사용하였고, 탄소섬유는 H 사의 일방향 탄소섬유 매트(Toray CAT-300)를 사용하였다. Fig. 24에 고개구율 구리메쉬와 범용개구율 구리메쉬 구조의 현미경 사진을 도시하였다.

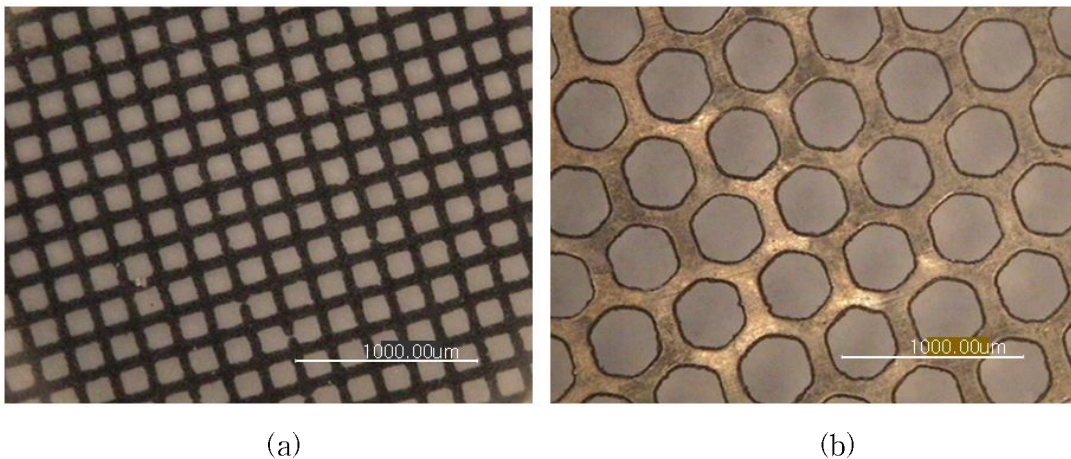


Fig. 24 Optical micrographs of (a) Fine copper mesh and (b) General copper mesh ( $\times 100$ )

Fig. 24와 같이 고개구율 구리메쉬가 범용 개구율 구리메쉬 보다 훨씬 더 촘촘한 구조를 가지고 있어서 충전제 입자간의 접촉에 의한 연결성이 우수할 것으로 판단된다.

Table 14 Typical properties of fine copper mesh and general copper mesh

Trad name	Thickness [ $\mu\text{m}$ ]	Width [ $\mu\text{m}$ ]	Pitch [ $\mu\text{m}$ ]
Fine copper mesh	10	10	300
General copper mesh	20~30	30~50	200

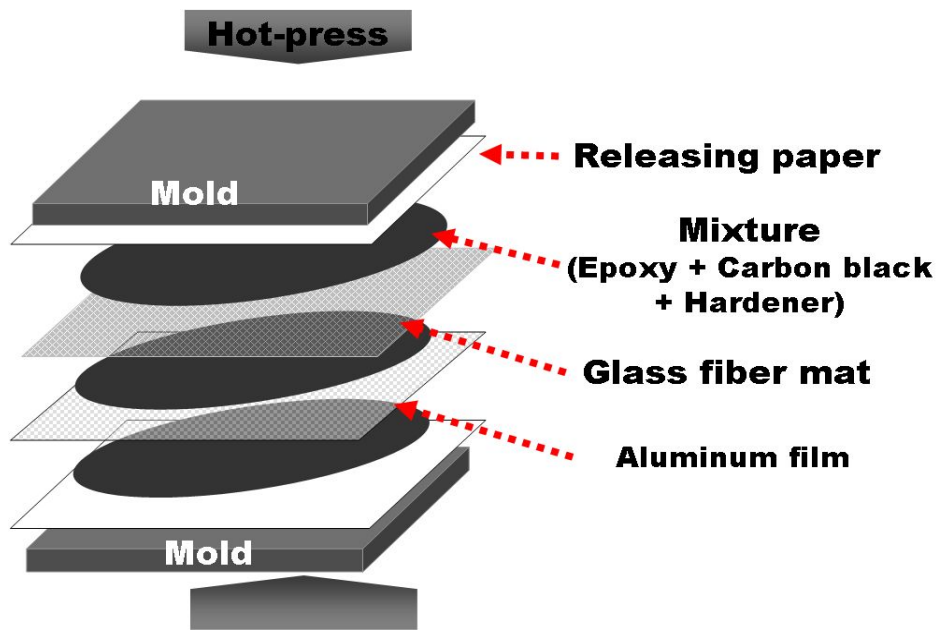
Table 15 Typical properties of aluminum film

Trad Name	Thickness [ $\mu\text{m}$ ]	Tensile Strength [ $\text{kg}/\text{mm}^2$ ]	EL [%]
AG3381	5.1	7.6	2.0

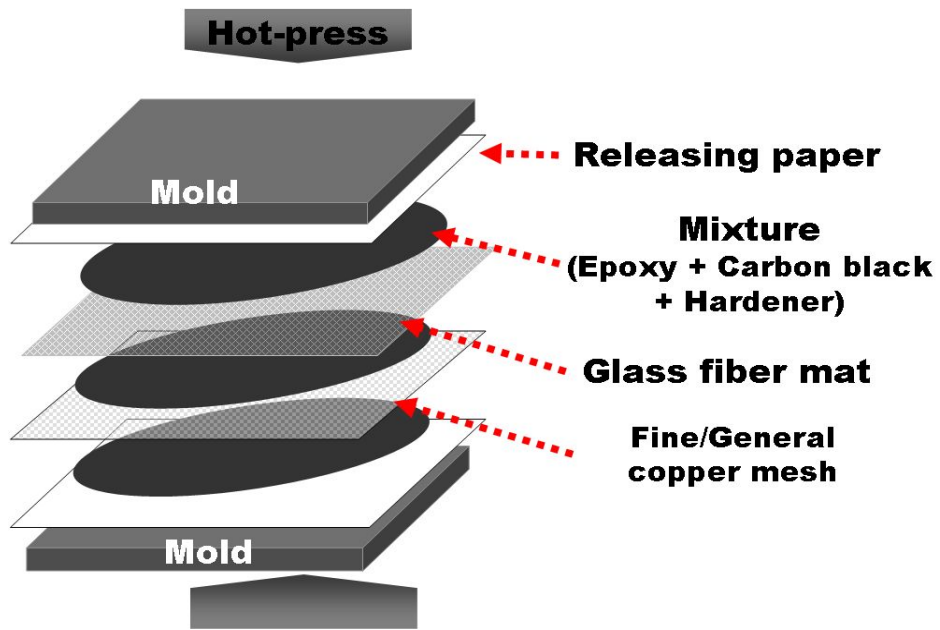
4.1.1 결과 동일하게 기지재인 에폭시와 경화제는 K 사의 LR-67 과 LH-33 제품을 사용하였다.

#### 4.4.2 시험편 제작

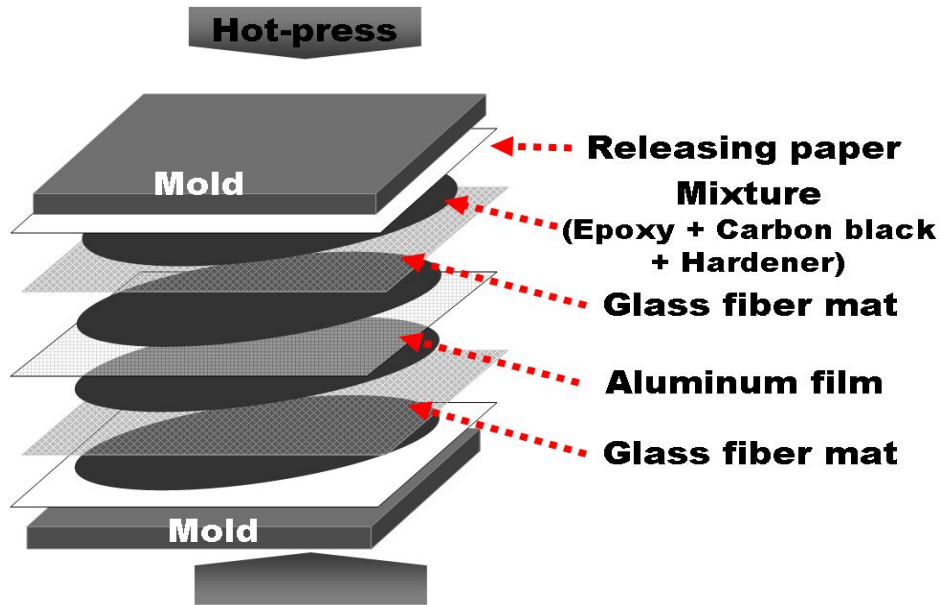
카본블랙 혼합물 제작 방법은 4.1.2 결과 같고, 이 혼합물과 경화제를 2 : 1의 비율로 혼합하여 이형지를 부착한 금형에 부어 섬유매트를 함침 시킨 후 80 °C 의 고온 압축 프레스를 사용하여 섬유강화 복합재료 시험편을 제작하였다. Fig. 25의 시험편 제작과정과 같이 시험편의 한쪽 면에 각각 알루미늄 필름, 고개구율 구리메쉬, 범용 구리메쉬를 접착시킨 AG 시험편, FG 시험편, GG 시험편과 알루미늄 필름을 코어재로하고 코어재 양쪽에 유리섬유를 혼합물에 함침시킨 GAG 시험편을 제작하였다.



(a) AG specimen



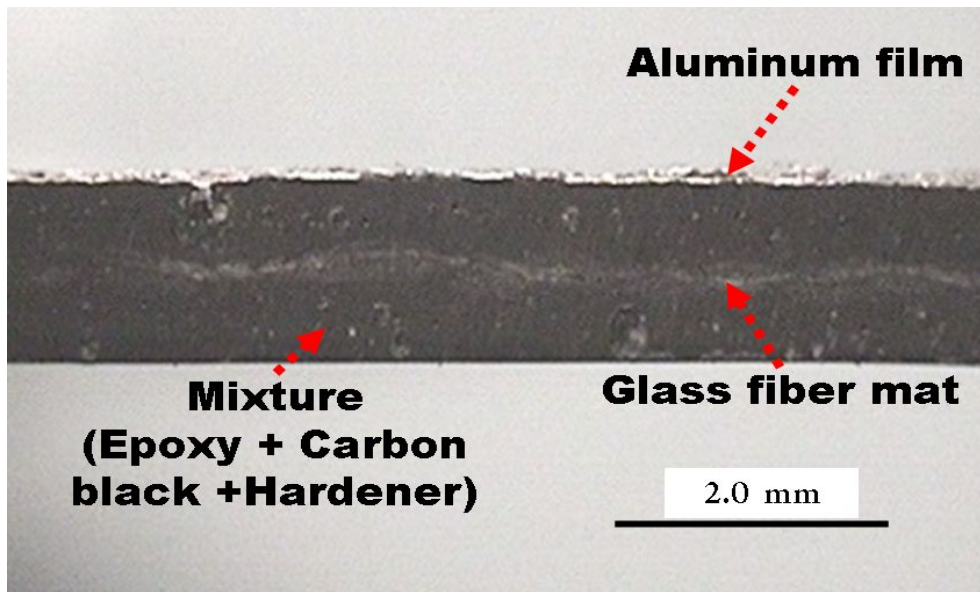
(b) FG and GG specimens



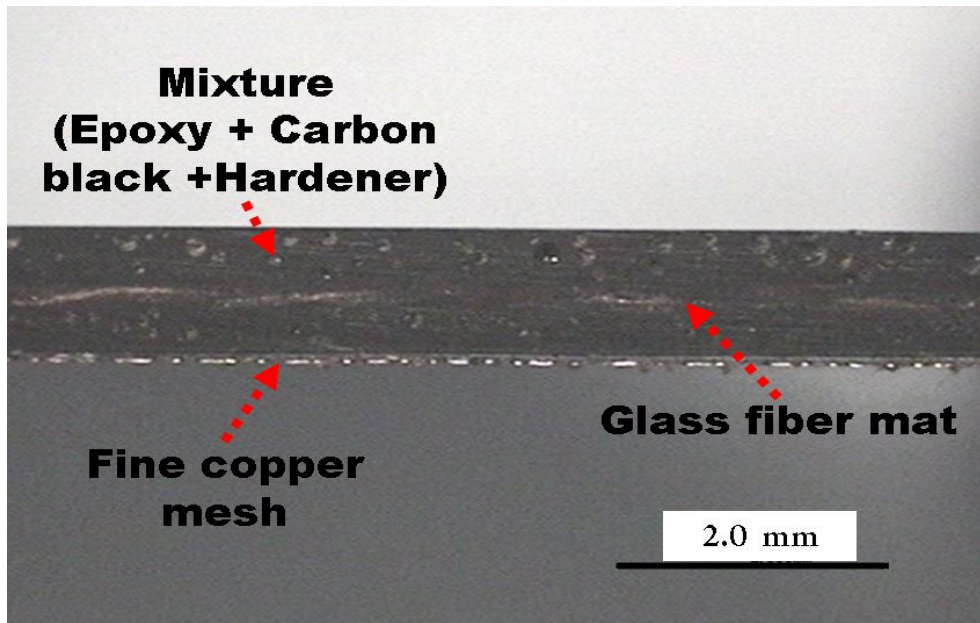
(c) GAG specimens

Fig. 25 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens

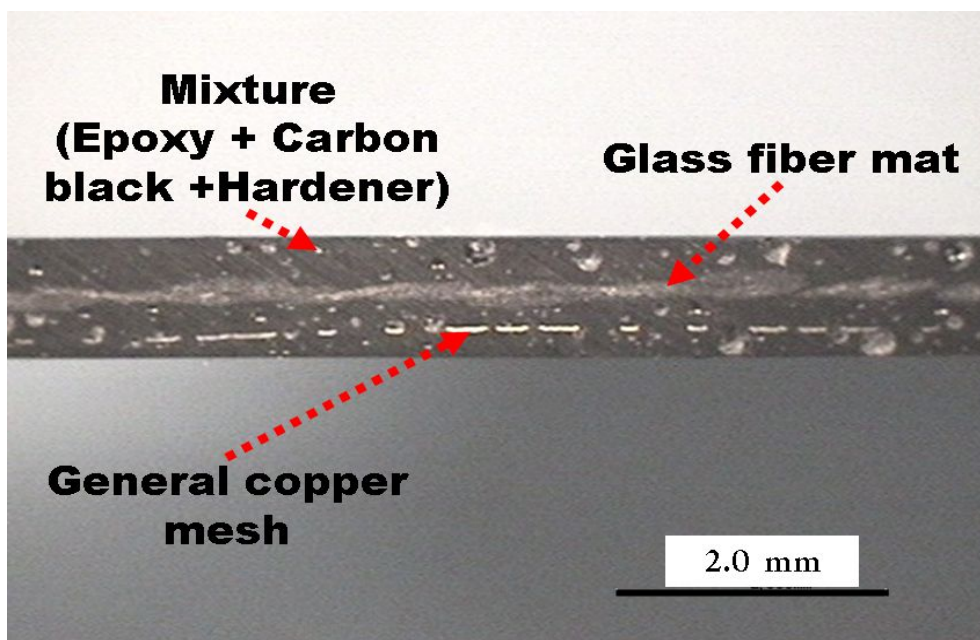
Fig. 26은 제작된 시험편의 단면을 확대한 사진이다.



(a) AG specimen

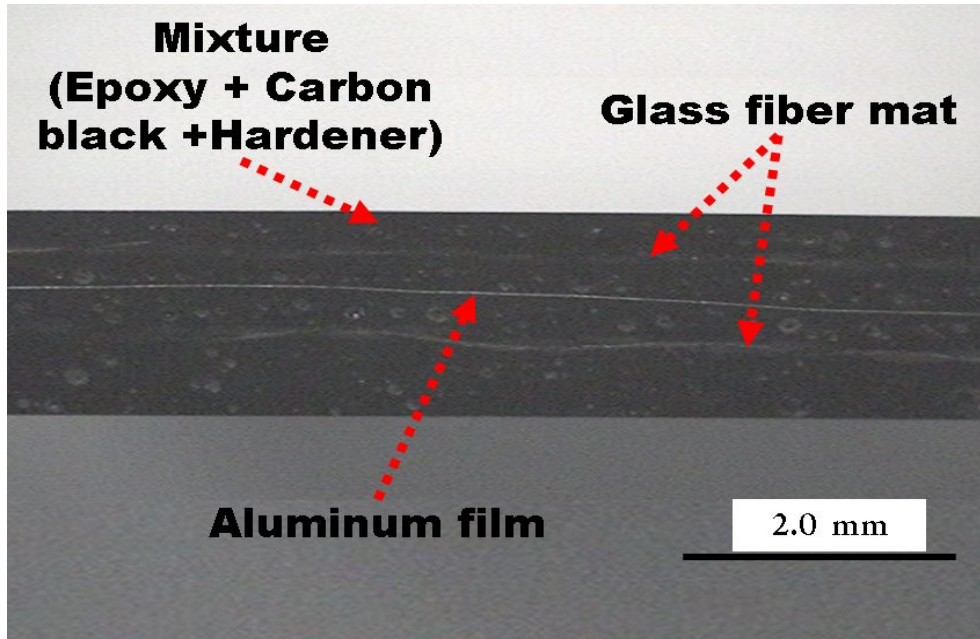


(b) FG specimen



(c) GG specimen





(d) GAG specimen

Fig. 26 Microstructure of specimens cross section ( $\times 40$ )

제작한 시험편 판넬은 다이아몬드 휠 커터를 이용하여 Fig. 8과 같은 플랜지형 동축 전송선 측정치구에 결합할 수 있도록, ASTM D4935-89 규격을 참고하여 직경이 133 mm인 시험편을 시험 조건별로 기준 시험편, 부하 시험편을 각각 3개씩 제작하였다. 제작한 시험편은 Table 16과 같다.

Table 16 Materials of specimen

Specimen	Material
AG	Aluminum film / Glass fiber mat
FG	Fine copper mesh / Glass fiber mat
GG	General copper mesh / Glass fiber mat
GAG	Glass fiber mat / Aluminum film / Glass fiber mat

## 제 5 장 전자파 차폐효과 측정

### 5.1 Half-wave dipole 안테나를 이용한 전자파 차폐효과 측정

전자파 차폐효과를 측정하기 위하여 외부에서의 전자파에 대한 영향을 차단할 수 있는 공간인 차폐실이 설치 되어있는 EMC 시험 시스템을 이용하여 전자파 차폐 측정 실험을 하였다. 본 연구에서는 전자파 측정 실험장치 시스템(EMC test system : Rohde & Schwarz)을 사용하였으며, Fig. 27에 측정 장비와 시험편의 적용법을 도시 하였다.

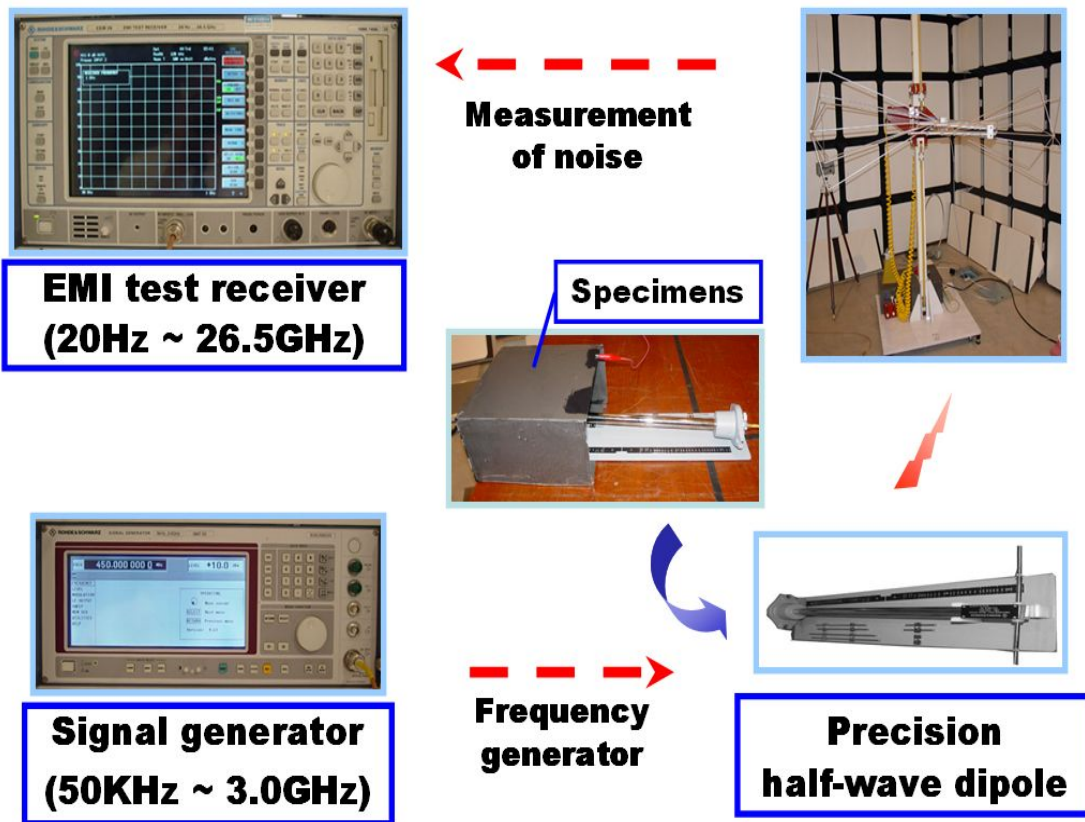


Fig. 27 Photographs of EMC test system(Half-wave dipole antenna)

제작한 각 시험편의 전자파 차폐효과를 측정하기 위하여 주파수 발생장치에서 발생하는 주파수대의 전자파를 half-wave dipole 안테나를 통하여 방출한다. 그 양을 EMI test receiver에서 측정한 후 200 mm × 150 mm × 70 mm 사이즈의 시험편에 half-wave dipole 안테나를 넣고 주파수를 발생시키면 발생된 전자파를 시험편에서 차폐·흡수하고 차폐·흡수하지 못한 전자파를 EMC test receiver에서 측정하여 EMSE (dB)의 양을 도시함으로써 시험편을 설치하지 않았을 때의 전자파 방출량과 시험편 설치후의 전자파 방출량의 차이를 얻음으로써 전자파 차폐효과를 측정할 수 있었다.

전자파 차폐 측정실험은 동일조건에 대하여 각각 3회씩 측정하였다.

## 5.2 플랜지형 동축 전송선 치구를 이용한 차폐 효율 측정

전자파 차폐 측정 방법에는 크게 전자파가 시편재료를 통과하여 나오는 전자파의 세기를 직접 측정하는 직접 측정방법, RF 임피던스 분석기를 이용하여 각 주파수 대역에서 입사 전자파의 파동 임피던스와 시료의 특성 임피던스를 측정하여 전자기파 차폐 효율을 측정하는 간접측정 방법, 시료의 체적비저항을 측정하여 체적비저항과 전자기파 차폐효율의 관계로부터 대략적인 전자기파 차폐효과를 추정할 수 있는 방법이 있다.<sup>28)</sup>

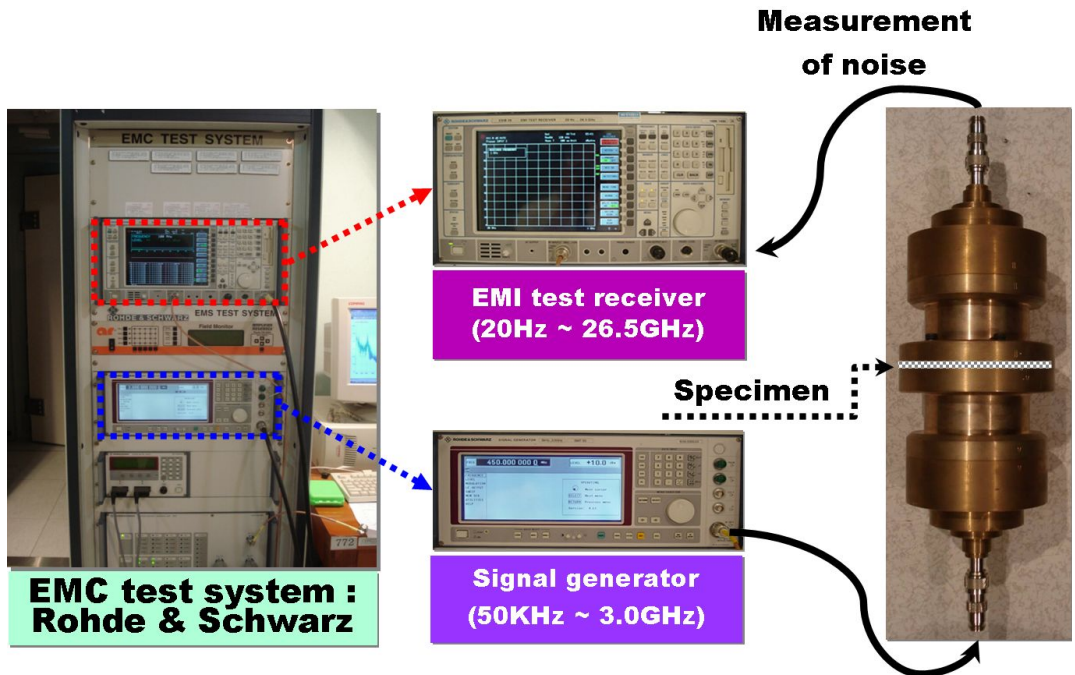


Fig. 28 Photographs of EMC test system

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 플랜지형 동축 전송선 치구를 사용하여 각 시험편의 전자파 차폐효과를 측정하였다. Fig. 28에 사용된 전자파 측정 실험장치 시스템을 나타내었다.

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

전자파 차폐효율은 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 차폐 실험은 동일조건에 대하여 각각 3회씩 측정하였다.

## 제 6 장 실험결과 및 고찰

### 6.1 GF 시험편과 CF 시험편의 전자파 차폐효과

각각의 시험편의 신뢰성을 얻기 위하여 각 시험편에 대해 3 회씩 전자파 차폐 측정 실험을 한 결과 동일한 측정결과 값을 얻을 수 있었다.

Fig. 29에 주파수 범위에 따라 시험편을 적용하지 않은 Dipole Antenna에서 발생하는 전자파의 방출 양(N)과 메탈파우더 및 카본블랙을 첨가하지 않은 GF 시험편과 CF 시험편의 주파수 범위에 따른 전자파 차폐 효과를 나타내었다.

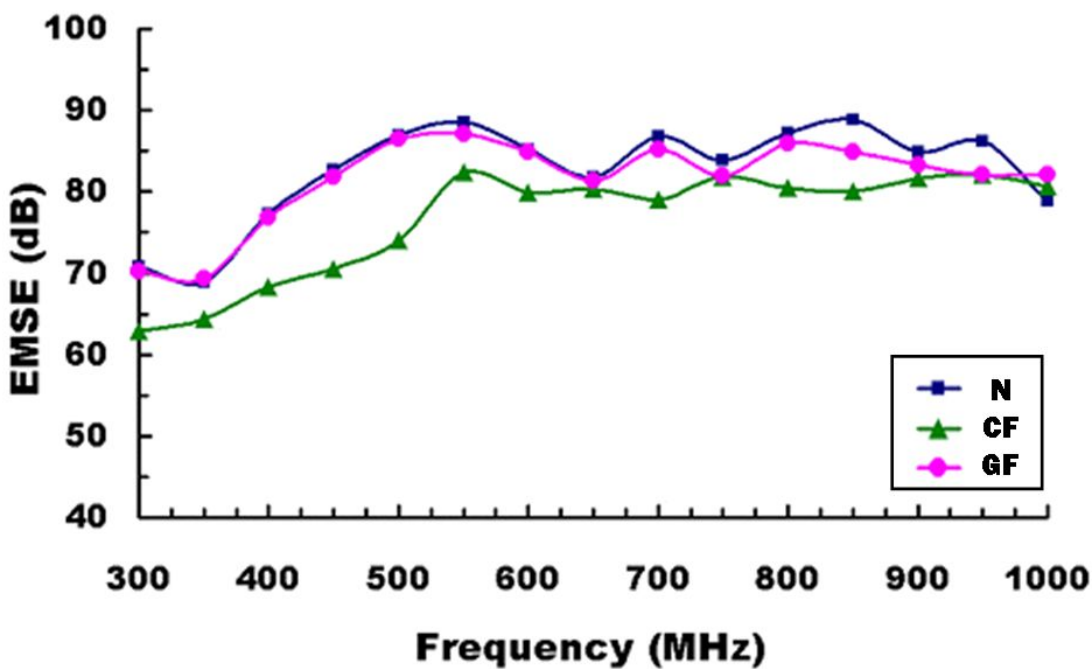


Fig. 29 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1000MHz range of CF and GF specimens

시험편의 차폐효과는 시험편을 적용하지 않은 N 값에서 시험편을 적용하여 측정된 값의 차를 통해 측정되어진다. 시험편을 적용하지 않은 N의 측정값과 GF 시험편의 차

폐효과가 거의 일치하여 GF 시험편의 경우 차폐효과가 거의 나타나지 않았음을 알 수 있었다. CF 시험편 적용 시 저주파 대역에서 약간의 차폐효과를 보였으나 650 MHz 이후에는 차폐효과가 아주 낮게 나타남을 알 수 있었다. 이는 전기 전도도가 큰 재료가 전자파 차폐 효과에 우수함을 알 수 있었다. 탄소섬유의 전기 전도도는 유리섬유에 비해서 크고, 유리섬유는 오히려 절연성이 우수한 재료이다. 따라서 Fig. 29에서 나타난 CF 시험편이 GF 시험편보다 저 주파수대에서 높게 나타난 것은 탄소섬유 매트와 유리섬유 매트에 대한 전기 전도도 특성에 기인한 것으로 판단되었다.

## 6.2 메탈 파우더의 첨가량에 따른 전자파 차폐효과

메탈파우더의 첨가량에 따른 전자파 차폐효과를 측정하기 위하여 중량비 10 wt%, 20 wt%를 에폭시에 첨가하여 300 mm × 170 mm × 1.8 mm의 시험편을 제작하였다. 메탈파우더를 첨가하여 시험편을 성형할 때 4.1 절과 같은 방법으로 교반기를 이용하여 교반시켜 성형하였으나 메탈파우더의 중량으로 인한 영향으로 고온 프레스로 성형할 때 두께의 한쪽 면으로 침전되는 현상이 발생하였다. 따라서 성형 후 메탈파우더가 침전되는 면이 전자파 차폐 측정실험을 할 때 박스형태 시험편의 안쪽면이 되도록 제작하여 실험하였다.

제작한 판넬 시험편을 컴퓨터 모니터 앞 5 cm 이내에 두고 전자파 차폐측정기 Catcher(Pulse)를 이용하여 측정한 결과 10 wt%, 20 wt%에서는 차폐효과가 거의 없음을 보였다. 또한 40 wt% 이상의 경우는 30 wt%보다 차폐효과가 우수할 것으로 예측되나 중량이 무거워지는 단점 때문에 본 연구에서는 30 wt%에 대한 전자파 차폐 시험편을 제작하여 실험 결과를 비교하였다.

Fig. 30과 Fig. 31은 Ti 파우더와 Ni 파우더를 각각 30 wt%씩 혼합한 시험편의 주파수 범위 300MHz ~ 800MHz에 따른 전자파 차폐효과를 나타내었다.

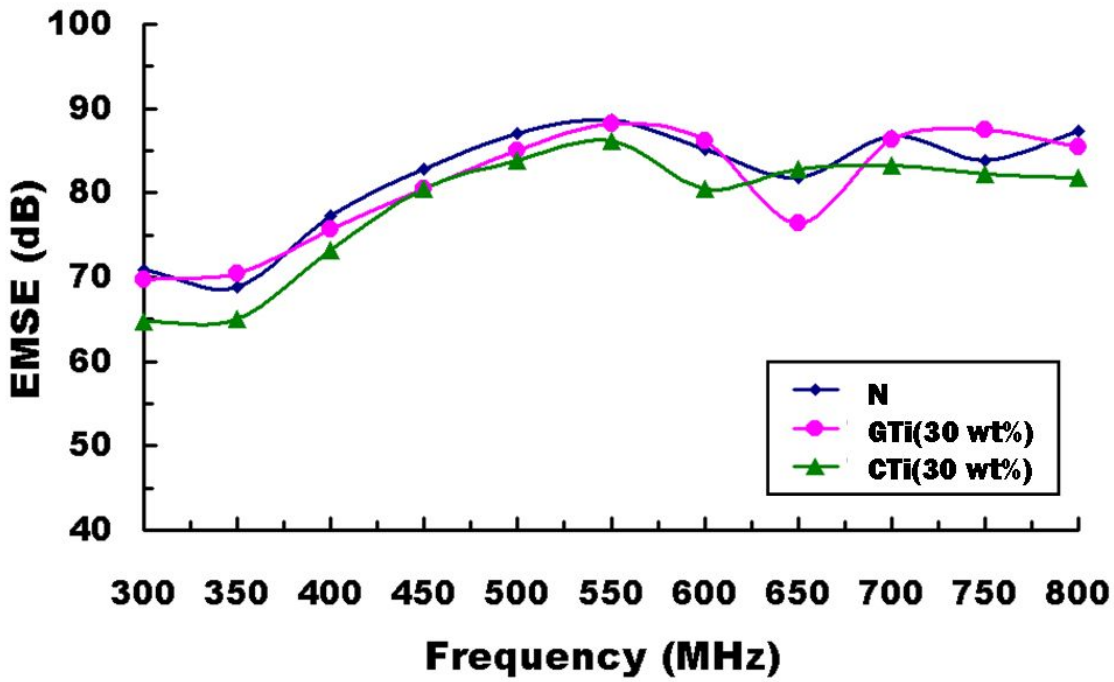


Fig. 30 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 800MHz range of GTi(30 wt%) and CTi(30 wt%) specimens

Ti 파우더를 혼합하여 제작한 GTi(30 wt%) 시험편의 경우 차폐효과가 거의 나타나지 않았으며, CTi(30 wt%) 시험편의 경우는 약 5 dB 미만의 적은 양의 차폐효과를 관찰 할 수 있었다. 이는 Ti 파우더가 전자파 차폐에 큰 효과를 주지 못하는 것으로 판단된다.

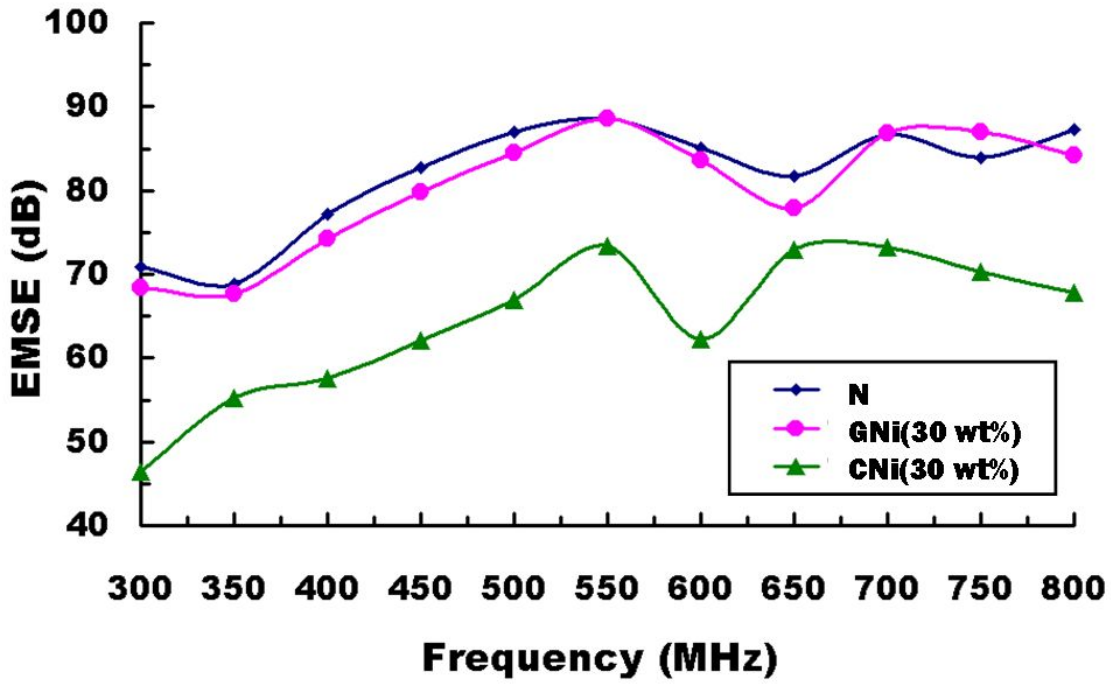


Fig. 31 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 800MHz range of GNi(30 wt%) and CNi(30 wt%) specimens

Ni 파우더를 혼합하여 제작한 GNi(30 wt%) 시험편의 경우 차폐효과가 거의 나타나지 않았지만, CNi(30 wt%) 시험편의 경우 550 MHz에서 약 20 dB의 차폐효과가 있음을 알 수 있었다. Ni 파우더를 탄소섬유에 적용한 경우 Ti 파우더 보다는 양호한 차폐효과를 얻을 수 있었다.



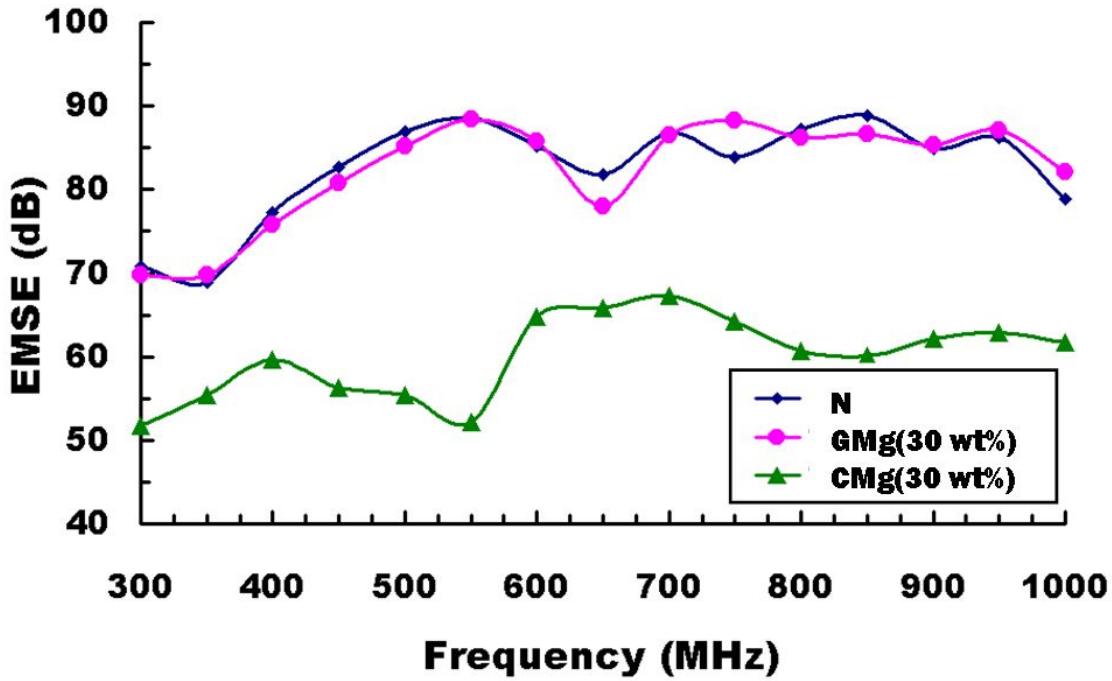


Fig. 32 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of GMg(30 wt%) and CMg(30 wt%) specimens

Fig. 32는 Mg 파우더 30 wt%를 혼합한 시험편의 주파수 범위에 따른 전자파 차폐 효과를 나타내었다

Mg 파우더를 혼합하여 제작한 GMg(30 wt%) 시험편의 경우도 차폐효과가 거의 나타나지 않지만, CMg (30 wt%) 시험편의 경우 550 MHz에서 약 35 dB의 차폐 효과가 있음을 알 수 있었다.

Fig. 30 ~ 32의 실험 결과 Ti, Ni, Mg 파우더를 충전제로 한 탄소섬유 복합재료 시험편의 경우 Mg 파우더가 가장 우수한 전자파 차폐효과를 가지고 있음을 알 수 있었다. 메탈파우더의 경우 3종류의 시험편 모두 성형할 때 중량으로 인한 침전이 있었다. 따라서 두께방향으로 고르게 분산시킬 수 있는 성형방법의 필요성이 절실하다고 판단하였다.

### 6.3 카본블랙의 첨가량에 따른 전자파 차폐효과

카본블랙을 2.0 wt% 이상 첨가할 경우 수지의 점성이 높기 때문에 시험편 성형이 어려웠다. 따라서 카본블랙의 첨가량이 증가 할수록 전자파 차폐효과가 우수할 것으로 예측되나 본 연구에서는 중량비 1.3 wt% 와 1.6 wt%의 실험결과를 비교하였다.

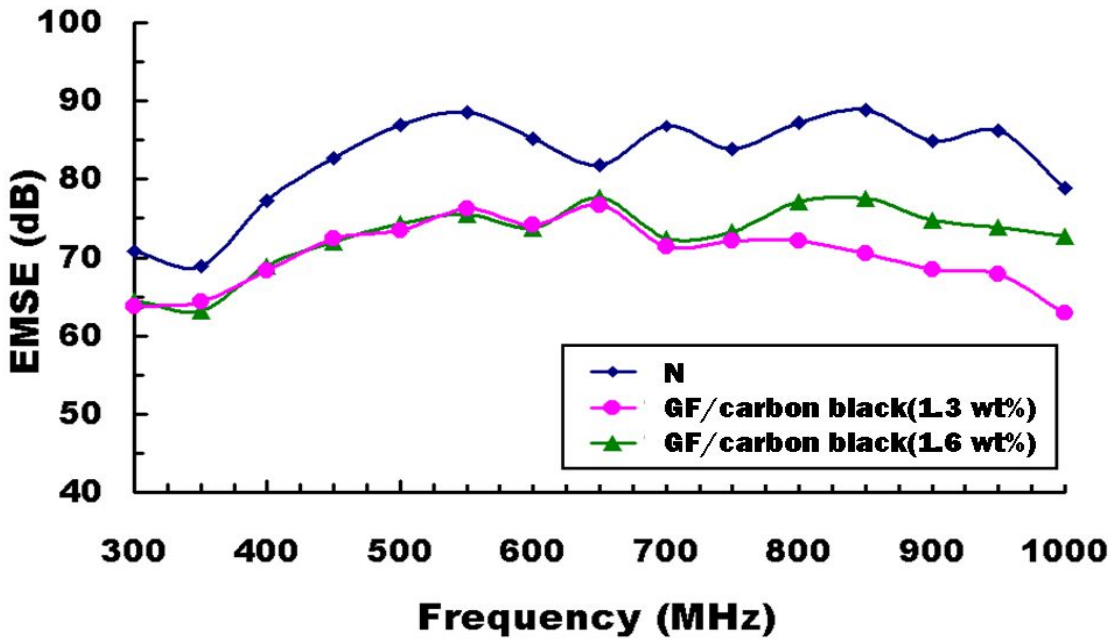


Fig. 33 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of GF/carbon black and GF/carbon black specimens

Fig. 33은 시험편을 적용하지 않았을 때 (N)의 전자파 방출양과 유리섬유에 카본블랙을 각각 1.3 wt%, 1.6 wt% 씩을 혼합하여 제작한 GF/carbon black(1.3 wt%), GF/carbon black(1.6 wt%) 시험편을 적용하였을 때 주파수 범위에 따른 전자파 차폐효과를 나타낸 것으로 주파수 650 MHz 이하에서는 두 시험편 모두 거의 같은 차폐효과가 나타남을 알 수 있었으며, 약800 MHz 이상의 주파수 대역에서 GF/carbon black(1.6 wt%)가 약간 더 우수한 차폐효과를 나타냄을 알 수 있었다. 유리섬유를 이용한 시험편의 경우 카본블랙의 첨가량이 650 MHz 이하의 저주파 대역에서는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

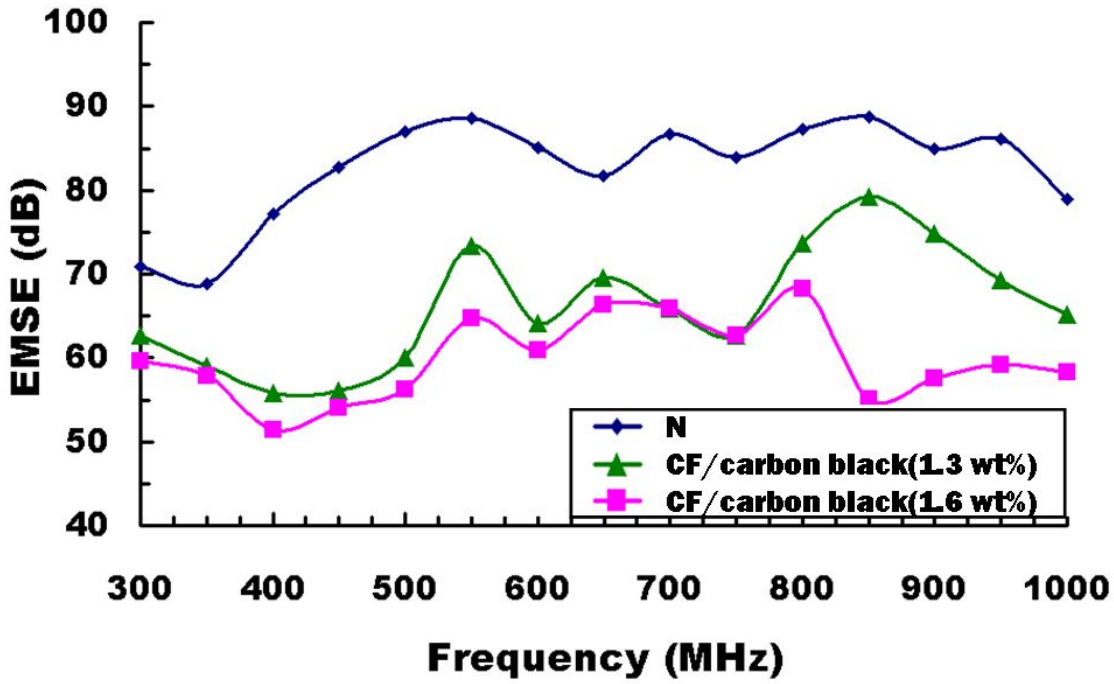


Fig. 34 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of CF/carbon black(1.3 wt%) and CF/carbon black(1.6 wt%) specimens

Fig. 34는 탄소섬유에 카본블랙을 각각 1.3 wt%, 1.6 wt%로 혼합하여 제작한 시험편을 적용했을 때 주파수 범위에 따른 전자파 차폐 효과를 나타낸 것으로 카본블랙 함량의 증가로 인한 차폐효과의 차를 발견할 수 있었으며, CF/carbon black(1.6 wt%) 시험편의 경우 주파수 550 MHz에서 약35 dB, 850 MHz에서 약40 dB의 차폐효과가 나타남을 알 수 있었다.

카본블랙을 충전제로 한 유리섬유를 이용한 시험편과 탄소섬유를 이용한 시험편의 전자파 차폐효과는 전기 전도도가 우수한 탄소섬유매트가 차폐효과가 우수하며 1.6wt% 이하의 카본블랙이 함유된 GFRP는 차폐효과에 영향을 주지 않음을 확인할 수 있었다.

## 6.4 알루미늄 필름, 도전성 직조섬유/나노카본블랙 복합재료 시험편의 차폐효과

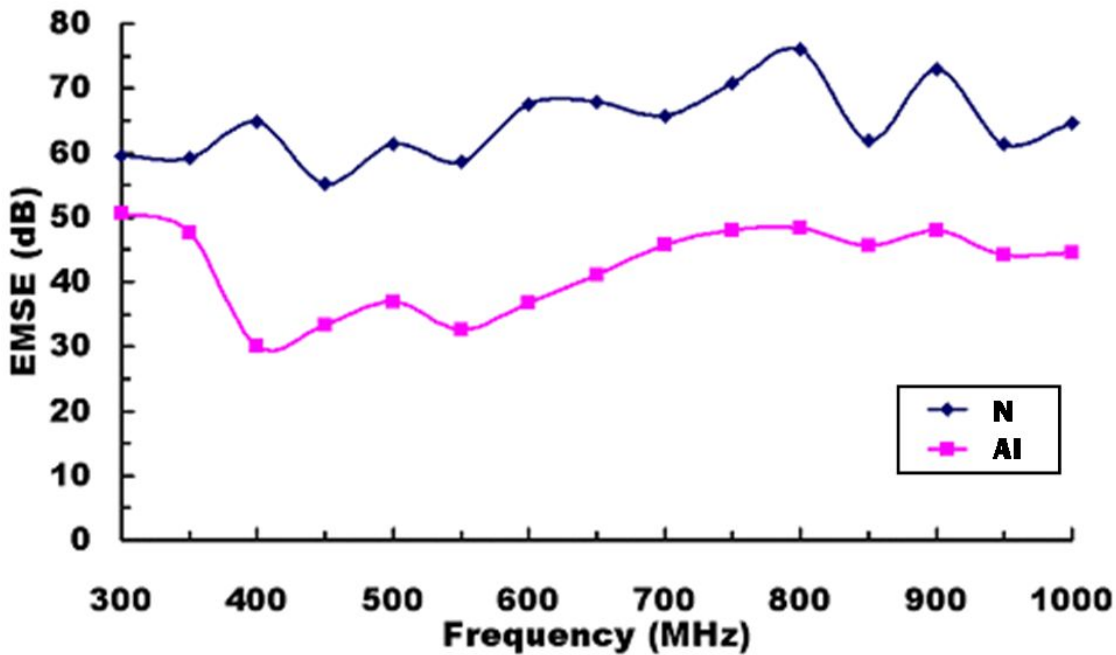


Fig. 35 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of Al specimen

Fig. 35는 주파수 범위 300MHz ~ 1.0GHz에 따른 시험편을 적용하지 않은 Dipole Antenna 에서 발생하는 전자파의 방출 양과 표면 판재인 A1050의 주파수 범위에 따른 전자파 차폐 효과를 나타내었다.

주파수 범위 300 MHz ~ 1 GHz 에서 A1050 의 전자파 차폐 효과는 400 MHz까지는 증가하다가 그 후로는 감소하는 경향을 나타내었다. 주파수 400 MHz에서 약 35 dB의 차폐효과를 보였으며 500 MHz에서 약 25dB , 850 MHz에서는 약 18 dB로 점점 감소되었다. A1050 재료는 약 400MHz ~ 550 MHz의 주파수에서 차폐효과가 우수함을 확인 할 수 있었다.

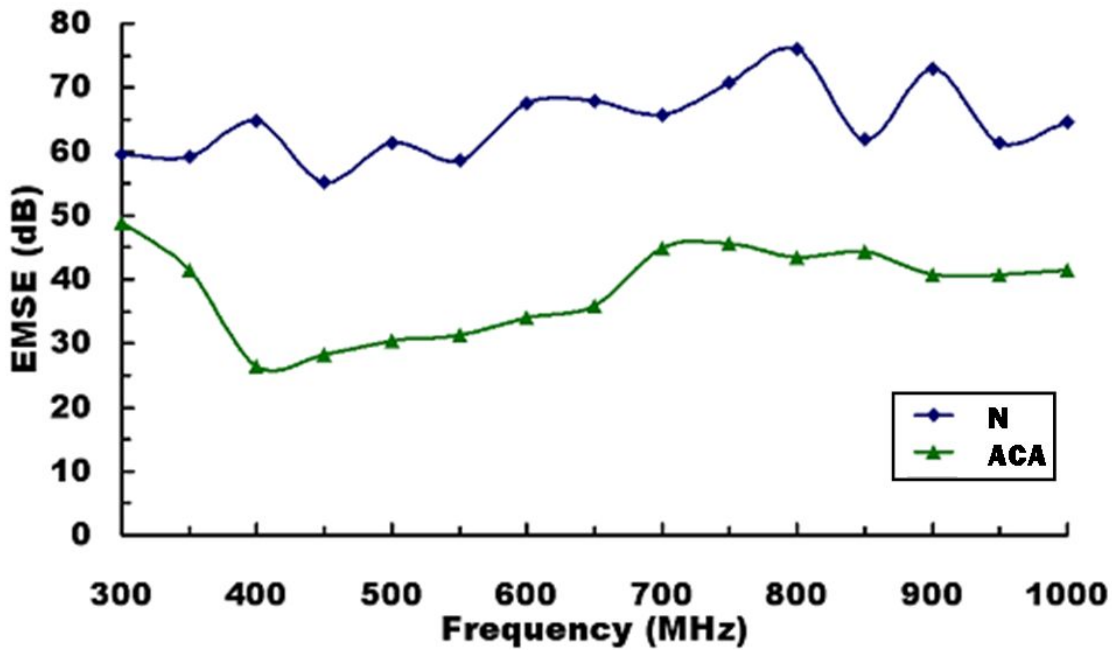


Fig. 36 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of ACA specimen

Fig. 36은 도전성 금속 직조 섬유를 코어재로 한 ACA 시험편의 주파수 범위에 따른 전자파 차폐 효과를 나타내었다.

도전성 금속 직조 섬유를 코어재로 ACA 시험편의 경우 주파수 400MHz에서 약 39dB의 전자파 차폐 효과가 나타났으며, 500MHz에서 약 31dB, 850MHz에서는 약 18dB로 점점감소 되었다. 도전성 금속 직조섬유도 알루미늄 판재와 유사한 주파수에 따른 전자파 차폐의존성을 확인할 수 있었다.

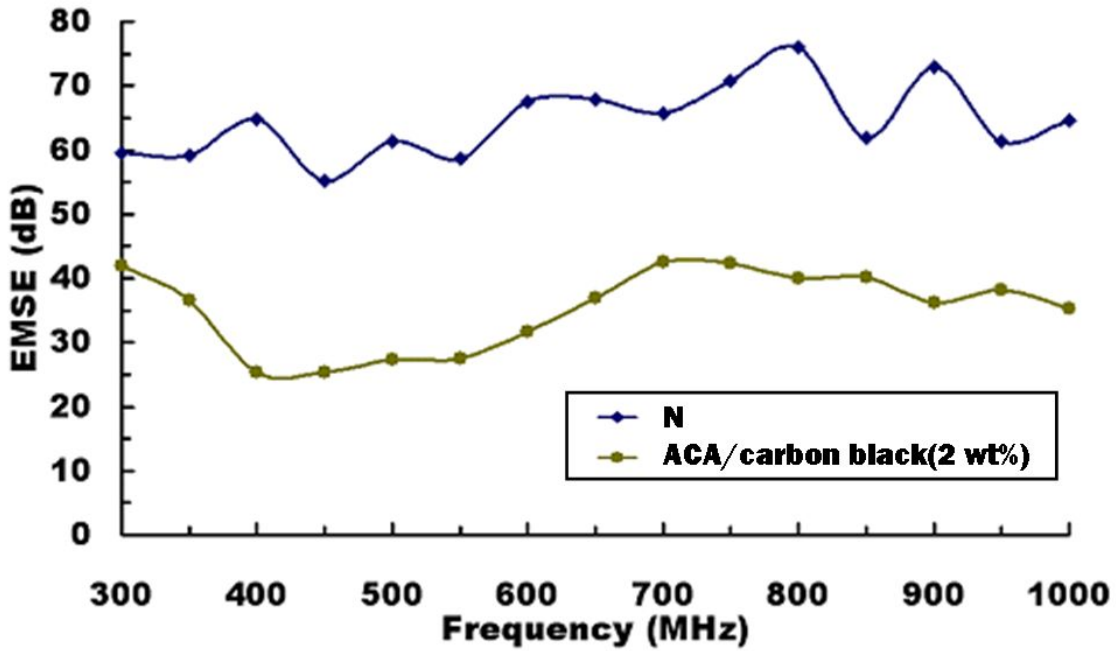


Fig. 37 SE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of ACA/carbon black(2 wt%) specimen

Fig. 37은 접착제인 에폭시에 2 wt% 의 카본블랙을 첨가한 ACA/carbon black(2 wt%) 시험편의 전자파 차폐 효과를 나타내었다. 카본블랙을 첨가하였을 경우 주파수 400 MHz에서 약 40 dB의 전자파 차폐효과를 보였으며 500 MHz에서 약 34 dB, 850 MHz에서는 약 22 dB로 점점 감소되었다.

알루미늄 판재보다 도전성 금속 직조섬유를 코어재로 한 샌드위치 판재와 카본블랙을 첨가하여 제작한 복합재료가 약간 더 우수한 차폐 효과가 나타남을 알 수 있었다. 따라서 우수한 차폐효과를 가질 수 있는 알루미늄 판재 개발이 필요하다.

## 6.5 스테인레스 직조섬유 구조에 따른 섬유강화 복합재료 시험편의 차폐효과

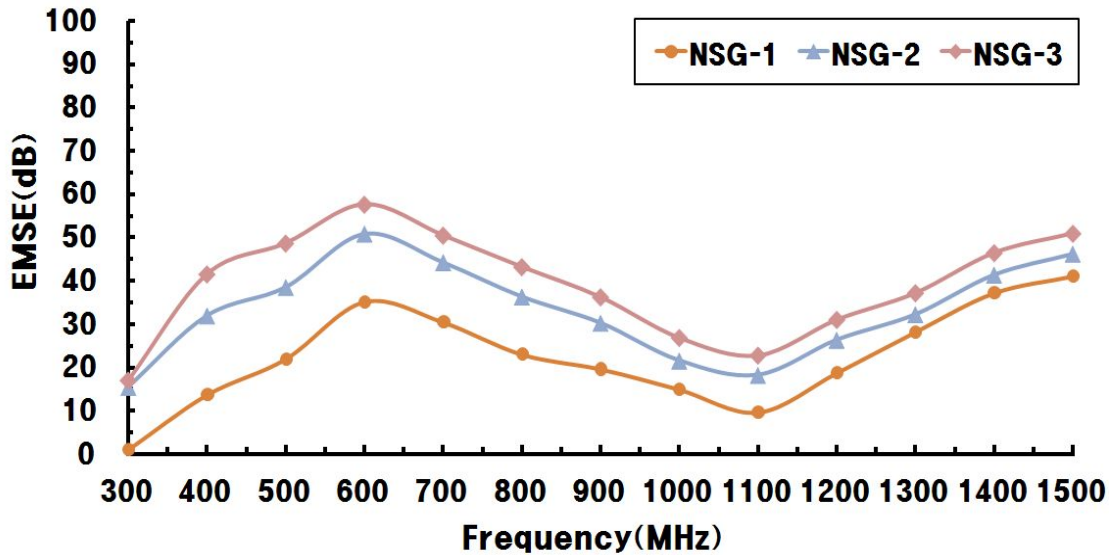


Fig. 38 SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1.5 GHz range of NSG-1, NSG-2 and NSG-3 specimens

Fig. 38과 같이 섬유 직경이 가장 크고, 무게가 무거운 NSG-1 시험편이 측정 주파수 범위에서 시험편 중 가장 높은 차폐효율 값을 나타내었으며, 무게가 가장 가벼운 NSG-3 시험편이 측정 주파수 범위에서 가장 낮은 차폐효율 값을 나타냄을 확인할 수 있었다. NSG-1 시험편의 경우 600 MHz에서 가장 높은 57 dB 정도의 차폐효과를 보였으며, NSG-2 시험편도 동일 주파수에서 가장 높은 50 dB 정도의 차폐효과를 보였다. NSG-3 시험편은 1.5 GHz에서 가장 높은 41 dB 정도의 차폐효율을 나타내었다. 이는 NSG-1 시험편 제작 시 사용된 스테인레스 섬유가 다른 시험편 제작 시 사용된 스테인레스 섬유보다 더 섬유간의 접촉성이 우수하여 많은 도전통로가 생성되었기 때문으로 판단된다.

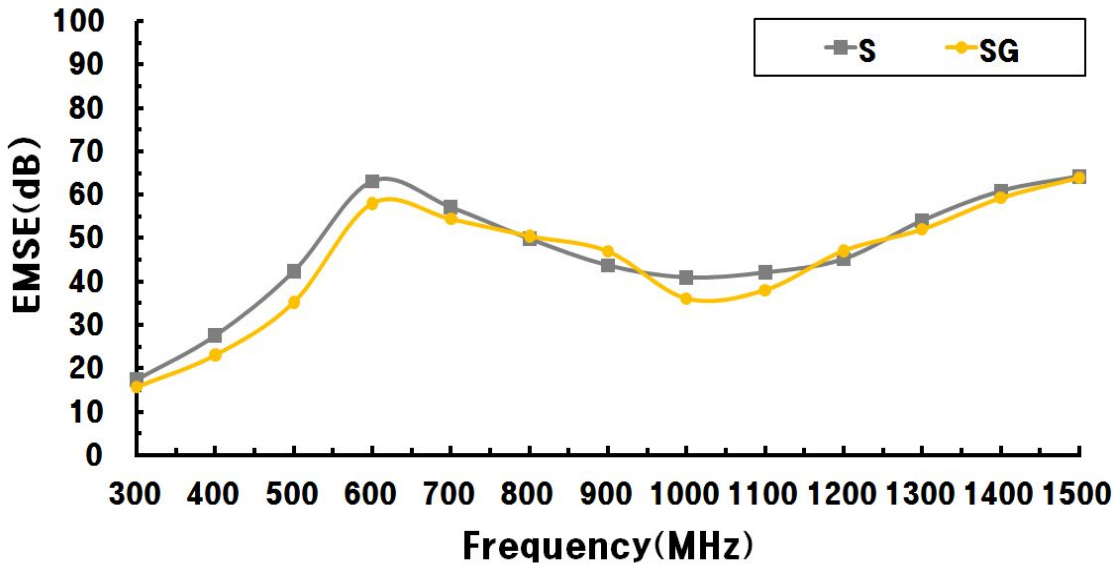


Fig. 39 SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1.5 GHz range of S, and SG specimens

Fig. 39와 같이 스테인레스 직조 섬유를 이용한 시험편의 전자파 차폐효과를 측정한 결과 스테인레스 직조 섬유에 에폭시와 경화제를 섞은 혼합물을 함침 시킨 S 시험편이 스테인레스 직조 섬유와 유리 섬유를 혼합물에 함침시킨 SG 시험편보다 300 MHz ~ 700 MHz, 1.0 GHz ~ 1.1 GHz 주파수 영역에서는 2 ~ 6 dB 정도 높은 차폐효율을 나타내었다. 하지만 800 MHz ~ 900 MHz 주파수 영역에서는 SG 시험편의 차폐효율이 S 시험편보다 2~3dB 정도 높은 차폐 효율을 보였다. 전체적으로 S 시험편과 SG 시험편의 차폐효과가 유사하게 나타났다. 이는 유리섬유의 전도성이 낮기 때문인 것으로 사료된다.



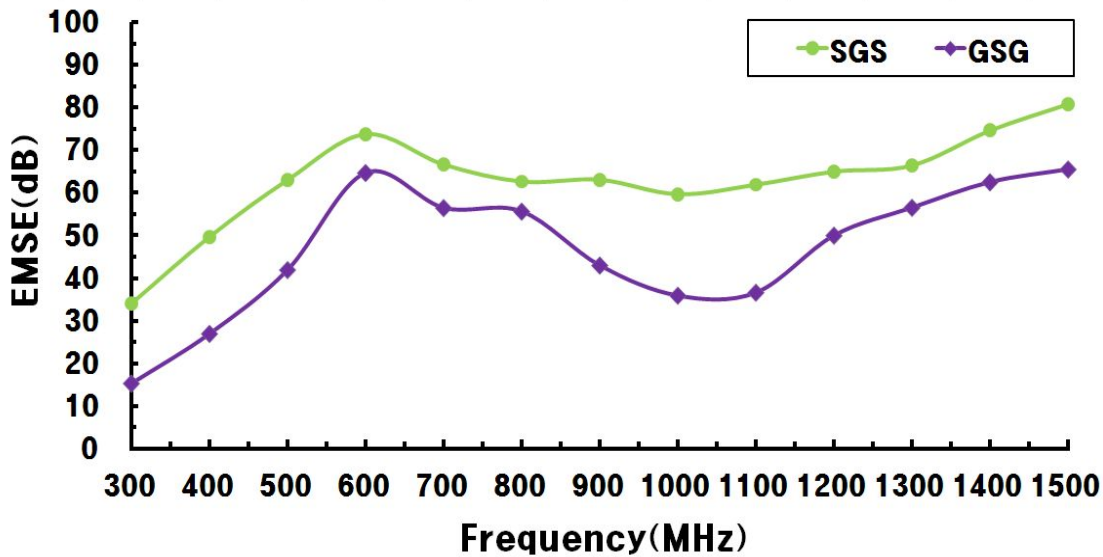


Fig. 40 SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1.5 GHz range of GSG and SGS specimens

유리섬유를 코어재로 하고 양쪽을 스테인레스 직조섬유로 제작한 SGS 시험편과 스테인레스 직조섬유를 코어재로 하고 양쪽을 유리섬유로 제작한 GSG 시험편의 전자파 차폐효과를 측정된 결과 Fig. 40과 같이 300 MHz ~ 1.5 GHz 주파수 범위에서 SGS 시험편은 33 ~ 80 dB, GSG 시험편은 15 ~ 65 dB의 차폐효과를 나타내었으며, SGS 시험편이 GSG 시험편 보다 8 ~ 24 dB 정도 높은 차폐효과를 보였다. 특히 300 MHz ~ 500 MHz, 900 MHz ~ 1.1 GHz에서는 21 ~ 24 dB 정도의 높은 차이를 나타내었다. 스테인레스 직조섬유를 면재로 사용한 경우가 코어재로 사용한 경우보다 차폐효과가 우수함을 알 수 있었다. 이 또한 스테인레스 섬유는 유리섬유보다 우수하기 때문인 것으로 판단하였다.

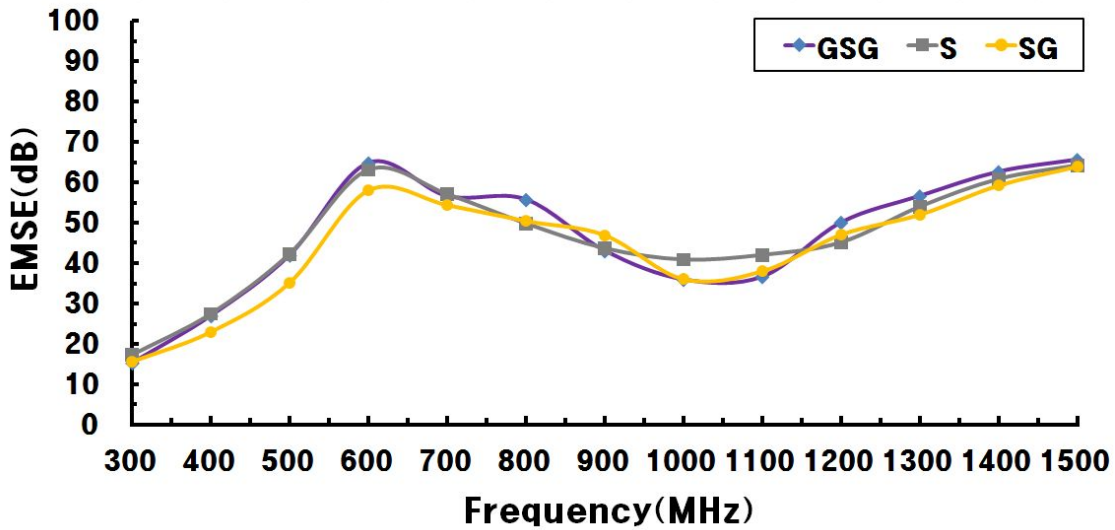


Fig. 41 SE as a function of frequency measured in the 300MHz ~ 1.5GHz range of GSG, S and SG specimens

Fig. 41은 S 시험편, SG 시험편, GSG 시험편의 전자파 차폐효과를 비교한 결과이다. 전자파 차폐효과를 비교한 결과 300MHz~1.5GHz 주파수 범위에서 시험편 모두 유사한 차폐효과를 나타내었다. 이 결과를 통해 GSG 시험편이 SGS 시험편 보다는 차폐효과가 떨어지기는 하나 다른 도전성 충진제를 사용한 샌드위치 시험편의 경우보다는 양호한 전자파 차폐효과를 나타내는 재료임을 확인하였다.

## 6.6 Fine copper mesh, General copper mesh, Aluminum film 을 이용한 시험편의 전자파 차폐효과

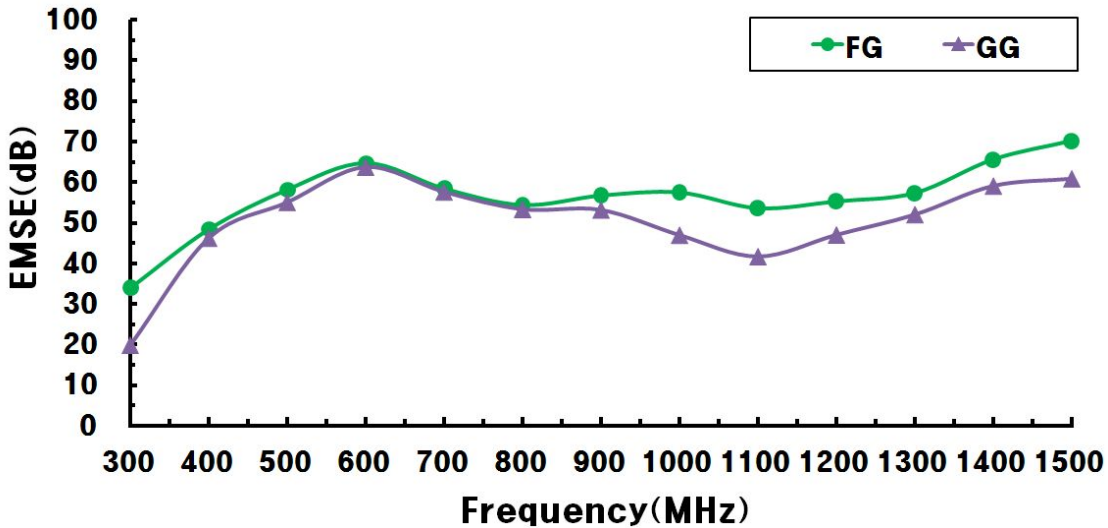


Fig. 42 SE as a function of frequency measured in the 300MHz ~ 1.5GHz range of FG and GG specimens

Fig. 42는 고개구율 구리메쉬 시험편(FG)과 범용개구율 구리메쉬 시험편(GG)의 전자파 차폐효과를 비교한 결과로서 300 MHz ~ 1.5 GHz의 주파수 범위에서는 FG 시험편이 GG 시험편 보다 대부분의 주파수영역에서 우수한 차폐효과를 나타내었다. 이는 단위면적당 차지하는 구리의 넓이가 넓을수록 차폐효과가 크지만 차폐 재료간의 간격이 크기 때문에 입사하는 전자파가 반사되지 않고 구리 사이로 투과되기 때문에 나타나는 결과로 생각된다.

특히, FG 시험편은 1.5 GHz에서 가장 높은 약 70 dB 정도의 차폐효과를 나타냈으며, FG, GG 시험편 모두 400 MHz ~ 800 MHz 주파수 범위에서는 유사한 차폐효과를 보였다.

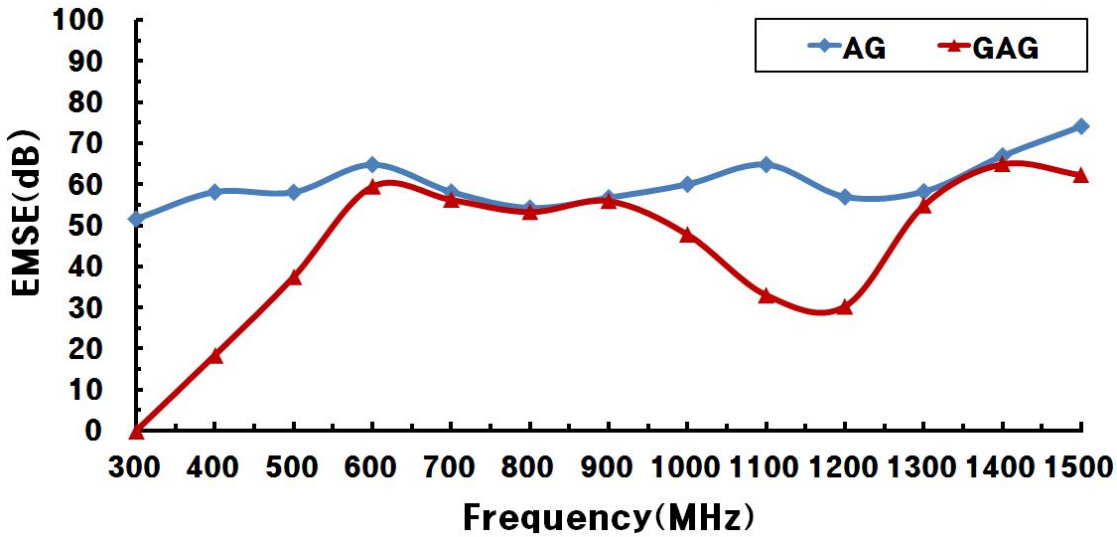


Fig. 43 SE as a function of frequency measured in the 300MHz ~ 1.5GHz range of AG and GAG specimens

Fig. 43은 GF 시험편에 알루미늄 필름을 부착한 AG 시험편과 알루미늄 필름을 코어재로 제작한 GAG 시험편의 전자파 차폐효과를 비교한 결과이다.

실험결과 300 MHz ~ 600 MHz의 주파수 대역에서는 AG 시험편의 차폐효과가 GAG 시험편에 비해 높게 나타났으며 특히 300 MHz에서 약 50 dB 정도 높게 나타났다. 이후 700 MHz ~ 900 MHz 주파수 범위에서는 거의 동일한 차폐효과를 나타내었다. 1.0 GHz ~ 1.2 GHz에서는 다시 AG 시험편의 차폐효과가 GAG 시험편의 차폐효과보다 높게 나타났으며, 1.1 GHz에서는 약 30 dB 정도 높게 나타났다. 대부분 GAG 시험편보다 AG 시험편의 경우가 300 MHz ~ 1.5 GHz 주파수 범위에서 우수한 차폐효과를 보였다. 이러한 결과는 알루미늄은 흡수에 의한 차폐효과 보다는 반사에 의한 차폐효과가 더 우수하기 때문에 두께가 두꺼운 시험편일지라도 알루미늄 필름을 코어재가 아닌 표면재로 사용할 경우가 더욱 우수한 차폐효과가 나타난 것으로 판단되었다.

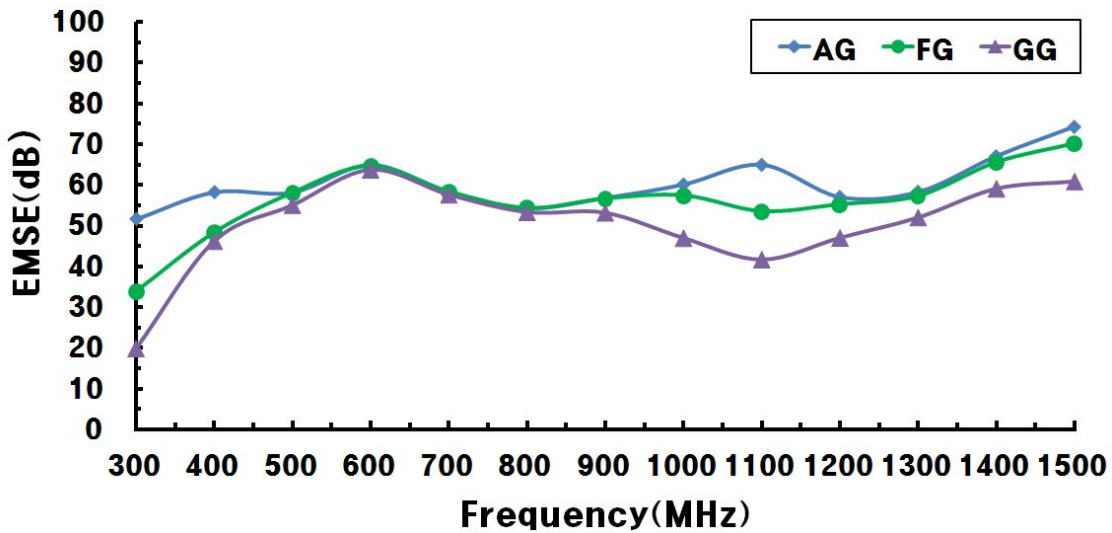


Fig. 44 SE as a function of frequency measured in the 300MHz ~ 1.5GHz range of AG, FG and GG specimens

Fig. 44는 AG, FG, GG 시험편의 전자파 차폐효과를 비교한 결과이다. AG 시험편이 300 MHz ~ 1.5 GHz의 주파수 범위에서 가장 우수한 차폐효과를 나타내었으며, 1.5 GHz에서 약 75 dB의 차폐효과를 얻을 수 있었다. 반면 GG 시험편이 가장 낮은 차폐효과를 나타내었다. 그러나 600 MHz ~ 800 MHz에서는 3가지 시험편 모두 거의 동일한 차폐효과를 나타내었다. 이로써 재료에 따른 주파수 대역에서의 전자파 차폐의 준성을 보이고 있음을 알 수 있었다.

## 제 7 장 결 론

본 논문에서는 복합전도성 충전제(Hybrid conductive filler)를 사용한 섬유강화 복합재료의 전자파차폐 효과를 측정하여 인체에 유해한 전자파를 차폐할 수 있는 재료를 개발하고 전기·통신장비의 하우징 재료, 항공기, 선박 등의 구조재료로 응용할 수 있도록 개발하고자 하였다. 여러 종류의 복합전도성 충전제를 사용한 섬유강화 복합재료 시험편을 제작하여 전자파 차폐 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Mg 파우더를 30 wt% 첨가한 CFRP가 Ni, Ti를 동일 중량율로 첨가한 경우보다 더 우수한 차폐특성을 가지고 있음을 확인하였다.
2. 알루미늄필름을 부착 성형한 CFRP의 차폐효과가 1.5 GHz에서 약 80 dB의 우수한 차폐효과 특성을 얻을 수 있었다.
3. 고개구율 구리메쉬(Fine copper mesh)를 부착 성형한 시험편이 범용개구율 구리메쉬(General copper mesh)를 부착 성형한 경우보다 1.1 GHz의 주파수에서 약 12dB 정도 높은 전자파 차폐특성을 보였다.
4. 스테인레스 직조섬유를 코어재와 면재로 사용한 샌드위치 시험편이 알루미늄필름, 구리메쉬를 동일 조건으로 사용한 경우보다 전자파 차폐효과 특성에 더 큰 영향을 미칠 수 있음을 확인 하였다.

향후 메탈파우더를 충전제로 한 복합재료를 성형할 때 메탈파우더가 두께방향으로 일정하게 분포할 수 있는 성형법의 연구가 필요하며, 스테인레스 직조섬유를 충전제로 사용할 경우 스테인레스 섬유를 부착 성형 하지 않고 스테인레스 섬유를 고르게 분포시킬 수 있는 사출성형(Injection molding)법의 연구가 절실히 필요하다고 생각한다.

## REFERENCE

1. 김덕원 “전자파공해” 수문사, P 1, 1996
2. O. S. Kweon, J. C. Jung, H. You, "Conductive Plastics for EMI Shielding", Polymer, Vol. 7, No.6, 1983
3. 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
4. 강박광, “전자파 차폐용 도전성수지” 기술동향보고서 KISTI. pp3-8, 2003
5. Chin, W. S. and Lee, D. G., “Dielectric Characteristics of the Polymers Containing Nano-size Conductive Carbon Black Powders,” J. of the KSCM, Vol. 17, No.5 pp. 68-77, 2004.
6. Chung, D. D. L., “Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials,” Carbon, Vol. 39, pp. 279-285, 2001
7. Kim, H. M., Kim, K., Lee, S. J., Joo, J., Yoon, H. S., Cho, S. J., Lyu, S. C. and Lee, C. J., “Charge transport properties of composites of multiwalled carbon nanotube with metal catalyst and polymer: application to electromagnetic interference shielding,” Current Applied Physics, Vol. 4, pp. 557-580, 2004.
8. Chen, H. C., Lee, K. C. and Lin, J. H., “Electromagnetic and electrostatic shielding properties of co-weaving-knitting fabrics reinforced composites,” Composites Part A, Vol. 35, pp. 1249-1256, 2004
9. Yang, S., Lozano, K., Lomeli, A., Foltz, H. D. and Jones, R., “Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon nanofiber/LCP composites,” Composites Part A, Vol. 36, pp. 691-697, 2005
10. Yuping, D., Shunhua, L. and Hongtao, G., “Investigation of electrical conductivity and electromagnetic shielding effectiveness of polyaniline composite,” Science and Technoly of Advanced Materials, pp. 1-6, 2005
11. Jung, P. B., Mallick, A. K. and Won, M. S., “Comparison of Electromagnetic-Wave Shielging Effect in Glass Fiber Reinforced Nano

- Composites,” J. of the KSPE, Vol. 22, No. 10, pp. 121-128, 2005
12. N. C. Das, D. Khastgir, A. Chakraborty, "Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon black and Carbon fiber filled EVA and NR based composites" composites part A, Vol. 31, pp. 1069-1081, 2000
  13. Xuan Tianpeng, Yang Guangzhou, Yang Lilin, Ju Zhengting, "Study on Electromagnetic Shielding Effectiveness of Ni-P-La Alloy Coatings", Journal of Rare Earths, Vol. 24, pp. 389-392, 2006
  14. Bang One Lee, Won Jun Woo, Hee Suk Song, Hong Soo Park, Hyun Sik Hahm, Jong Pyu Wu, Myung Soo Kim, "Research Articles : EMI Shielding Properties of Carbon Nanofiber Filled Poly Vinylidene Fluoride Coating Materials", Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 7, pp. 305-309, 2001
  15. Su Mi Kim, Wha Soon Song, "Preparation of Electromagnetic Wave Shielding Fabrics by Electroless Plating", Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles, Vol.29, pp. 149-156, 2005
  16. Zuoyong Dou, Gaohui Wu, Xiaoli Huang, DongLi Sun, Longtao Jiang, "Electromagnetic shielding effectiveness of aluminum ally-fly ash composites," Composites Part A, Vol. 38, pp. 186-191, 2006.1
  17. Renee M. Bagwell, Joseph M. Mc Manaman, Robert C. "Short shaped copper fibers in an epoxy matrix : Their role in a multifunctional composite," Composites Science and Technology 66 pp. 522-530, 2006
  18. H. S. Shin, J. S. Son, Y. S. Kim, "Electromagnetic Shielding Effectiveness of Melt-blown Nonwoven Fabrics with Width and Interval of Thin Copper Film", Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers, Vol. 16, No. 5, pp.42-47. 2004
  19. 변성원, 박재기, 김기영, "레이더 위장용 전자파 차폐 섬유소재", Fiber Technology and Industry, Vol. 10. No. 1, 2006
  20. J. Y. Lee, J. S. Joo, "전자파차폐 섬유소재", Fiber Technology and Industry, Vol. 7, pp. 28, 2003
  21. C. G. Kim, "Development of multi-functional structural materials", JA, Vol. 10, 2005



22. S. S. Kim, "전파흡수체의 동작원리 및 응용", Journal of Korean Magnetism Society, Vol. 4, pp. 285-292, 1994
23. 김창채, 최형도, 서광석, 윤호규, "분쇄형 탄소 섬유/나일론 복합재료의 전기적 성질과 전자파 차폐 효율", Polymer Korea, Vol. 27, pp. 201, 2003
24. 강박광. "전자파차폐용 도전성 수지", 한국과학기술정보연구원, pp. 1-52, 2003
25. Toshio Nojima, Yoshiaki Tarusawa, "A New EMI test method for Electronic Medical Devices Exposed to Mobile Radio Wave", Electronic and Communications in Japan; Part 1, Vol. 85, 2002
26. ASTM D 4935-89 standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding effectiveness of Planar Materials, American Society for Testing and Materials, 1989

# 저작물 이용 허락서

학 과	기계공학과	학 번	20077537	과 정	박사
성 명	한글: 배 지 수    한문:裴志秀    영문: Bae Ji Soo				
주 소	광주 서구 풍암동 동부센트레빌아파트 103-202				
연락처	E-mail : js7987@yahoo.co.kr				
논문제목	한글 복합전도성 충전재를 사용한 섬유강화 복합재료의 전자파 차폐 특성에 관한 연구				
	영문 A Study on the Electromagnetic Interference Shielding Characteristics of Fiber Reinforced Composites with Hybrid Conductive Filler				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다            음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의( ○ )    반대(    )

2010년 2월

저작자:    배 지 수 (인)

조선대학교 총장 귀하