



### 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  
석사학위논문

금속메쉬 / 섬유강화 복합재료의 전자파  
차폐효과에 관한 연구

조 선 대 학 교 대 학 원

기계공학과

송 동 한

금속메쉬 / 섬유강화  
복합재료의 전자파  
차폐효과에 관한 연구

A study on electromagnetic interference  
shielding effectiveness of the Metal mesh /  
Fiber reinforced composites

2010 년 2 월 25일

조 선 대 학 교 대 학 원

기계공학과

송 동 한

금속메쉬 / 섬유강화  
복합재료의 전자파  
차폐효과에 관한 연구

지도교수 한 길 영

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로  
제출함.




2009 년 10 월

조 선 대 학 교 대 학 원

기계공학과

송 동 한

송동한의 석사학위 논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 김 종 관   
위 원 조선대학교 교수 한 길 영   
위 원 조선대학교 교수 안 동 규 

2009 년 11월

조 선 대 학 교 대 학 원

# 목 차

LIST OF TABLES .....	I
LIST OF FIGURES .....	II
NOMENCLATURE .....	IV
ABSTRACT	
제 1 장 서 론 .....	1
1.1 연구배경 및 관련연구 .....	1
1.2 연구목적 및 방법 .....	7
제 2 장 시험편 제작 방법 .....	9
2.1 전자파 차폐용 섬유강화 복합 재료의 제작 방법 .....	9
2.1.1 재료의 선정 .....	9
2.1.2 시험편 제작 .....	12
2.2 전자파 차폐용 금속 섬유강화 복합재료의 제작방법 .....	21
2.2.1 재료의 선정 .....	21
2.2.2 시험편 제작 .....	22
제 3 장 전자파 차폐효율 측정 .....	27
3.1 전자파 차폐 이론 .....	27
3.2 전자파 측정장치 시스템 .....	29

3.3 실험결과 .....	30
3.3.1 GFRP 시험편과 GFRP/Carbon black 시험편의 전자파 차폐효율 비교 .....	30
3.3.2 AG 시험편과 AGS 시험편의 전자파 차폐효율 비교 .....	31
3.3.3 FCG 시험편과 GCG 시험편의 전자파 차폐효율 비교 .....	32
3.3.4 S 시험편과 SG 시험편의 전자파 차폐효율 비교 .....	34
3.3.5 SGS 시험편과 GSG 시험편의 전자파 차폐효율 비교 .....	35
3.3.6 S, SG, GSG 시험편의 전자파 차폐효율 비교 .....	36
3.3.7 차폐효율 측정 결과 .....	36
제 4 장 전자파 차폐 시험편의 기계적 성질 .....	38
4.1 인장시험 방법 .....	38
4.2 인장시험 결과 .....	40
제 5 장 결론 .....	43
<b>REFERENCES</b> .....	<b>44</b>

감사의 글

# LIST OF TABLES

Table 1 Typical properties of carbon black .....	9
Table 2 Typical properties of aluminum film .....	9
Table 3 Typical properties of fine and general copper mesh .....	11
Table 4 Typical properties of glass fiber .....	11
Table 5 Specifications of direct driven digital stirrer .....	13
Table 6 Specifications of heating mantle .....	13
Table 7 Specifications of electric muffle furnace .....	13
Table 8 Staking materials of specimen .....	16
Table 9 Typical properties of a metal woven fabric .....	21
Table 10 Staking materials of specimen .....	24
Table 11 EMSE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of specimens .....	37
Table 12 Results of tensile test (normal specimens) .....	40
Table 13 Results of tensile test (sandwich specimens) .....	42



# LIST OF FIGURES

Fig. 1	Electromagnetic waves .....	1
Fig. 2	Transverse electromagnetic mode transmission structure .....	5
Fig. 3	Structures of knitted fabrics .....	5
Fig. 4	Shielding effects of ABS film added conductive filler .....	6
Fig. 5	Curing procedure of fabricated specimens .....	7
Fig. 6	Micro-structures of a carbon black power .....	10
Fig. 7	Micro-patterns of fine and general copper mesh .....	10
Fig. 8	Micro-structures of a glass fiber .....	11
Fig. 9	Stirrer and heating mantle for mixing of elements .....	12
Fig. 10	Electric muffle furnace .....	14
Fig. 11	Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens .....	15
Fig. 12	Micro-structures of specimens cross section .....	17
Fig. 13	Flanged coaxial transmission line sample holder .....	20
Fig. 14	Dimensions of reference and load specimens .....	20
Fig. 15	Micro-structures of a metal woven fabric .....	21
Fig. 16	Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens .....	22
Fig. 17	Micro-structures in specimens .....	25
Fig. 18	A typical arrangement for measuring the shielding effectiveness of a material .....	27
Fig. 19	Schematic of reflection, absorption and multi-reflection of electromagnetic waves .....	28
Fig. 20	Experimental set-up electromagnetic compatibility test system .....	29
Fig. 21	SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of GFRP and GFRP/Carbon black specimens .....	31
Fig. 22	SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of AG and AGS specimens .....	32

Fig. 23 SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of FCG and GCG specimens .....	33
Fig. 24 SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of S and SG specimens .....	34
Fig. 25 SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of GSG and SGS specimens .....	35
Fig. 26 SE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of S, SG and GSG specimens .....	36
Fig. 27 Design of specimen for tensile test .....	38
Fig. 28 Set-up for tensile test of specimens .....	39
Fig. 29 Stress-strain relationships for normal specimens .....	40
Fig. 30 Stress-strain relationships for sandwich specimens .....	41

# NOMENCLATURE

Hz	: Units of Frequency
EMSE	: ElectroMagnetic Shielding Efficiency
dB	: Units of ElectroMagnetic Shielding Efficiency
pH	: Potential of hydrogen
EL	: Elongation
T/S	: Tensile strength
$P_I$	: Power of incident waves
$P_R$	: Power of penetration waves
$E_I$	: Power of incident electric fields
$E_T$	: Power of penetration electric fields
$SE_R$	: Reflection loss
$SE_A$	: Absorption loss
$SE_M$	: Multi-reflection loss

# ABSTRACT

## A study on electromagnetic interference shielding effectiveness of the Metal mesh/Fiber reinforced composites

Song Dong Han

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

Dept. of Mechanical Engineering

Graduate School of Chosun University

Recently, usage of electronic devices, including computers, electronic ovens, printers, cellular phones, etc, have been rapidly increased in our daily life and industries. However, an electromagnetic interference has been generated by the electronic devices. Hence, an interest in electromagnetic interference shielding materials has been continuously increased in the electronic industries. Metals, such as aluminiums, nickles, coppers, etc, has been widely known as an excellent electromagnetic interference shielding material. However, The metals has a disadvantageous characteristics including a heavy weight, an expensive cost and a corrosion.

The goal of this thesis is to investigate into the influence of material composition and design on electromagnetic interference shielding characteristics. Several fiber reinforced composite specimens consisting of coarse copper meshes, fine copper meshes, aluminum films, glass fibers and stainless fibers were manufactured to perform the electromagnetic interference shielding experiments. In order to soak 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 to quantitatively examine the electromagnetic shielding

characteristics of designed specimens. The EMSE was measured in the frequency range of 300 - 1,500 MHz.

The results of electromagnetic interference shielding experiments showed that maximum EMSE values of specimens with coarse and fine copper meshes were 60 dB at a frequency of 600 MHz and 70 dB at a frequency of 1,500 MHz, respectively. The maximum EMSE value of sandwich type specimen, which consists of both two skin sheet with stainless fibers and core with glass fibers, was 80 dB at a frequency of 1,500 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. In addition, tensile strengths of the designed specimens were obtained through tensile tests.

# 제1장 서론

## 1.1 연구배경 및 관련연구

전기·전자 통신 산업의 비약적인 발전으로 인하여 일상생활에 사용되고 있는 전기·전자 통신 제품의 종류 또한 날로 증가하고 있으며, 전기 전자 통신 기기 등의 제품들에 전류가 흘러 발생하는 전자파로 인해 현대 인간의 생활 활동은 전자파에 둘러싸여 있다고 해도 과언이 아닐 만큼 무수한 전자파에 노출되어 있다. 전자파의 원래 명칭은 전자기파 (Electromagnetic wave) 로서, 공간상에서 전기장이 시간적으로 변화하게 되면 그 주위에 자기장이 발생하고, 발생된 자기장이 시간적으로 변화하면 그 주위에 전기장이 발생하게 되어 전기력선 (전계) 과 자력선 (자계) 이 서로 유도되는 Fig. 1 과 같은 진행방향과 직각을 이루고 전파되는 합성 파동이다.<sup>1)</sup>

**Electromagnetic waves transport energy through empty space, stored in the propagating electric and magnetic fields.**

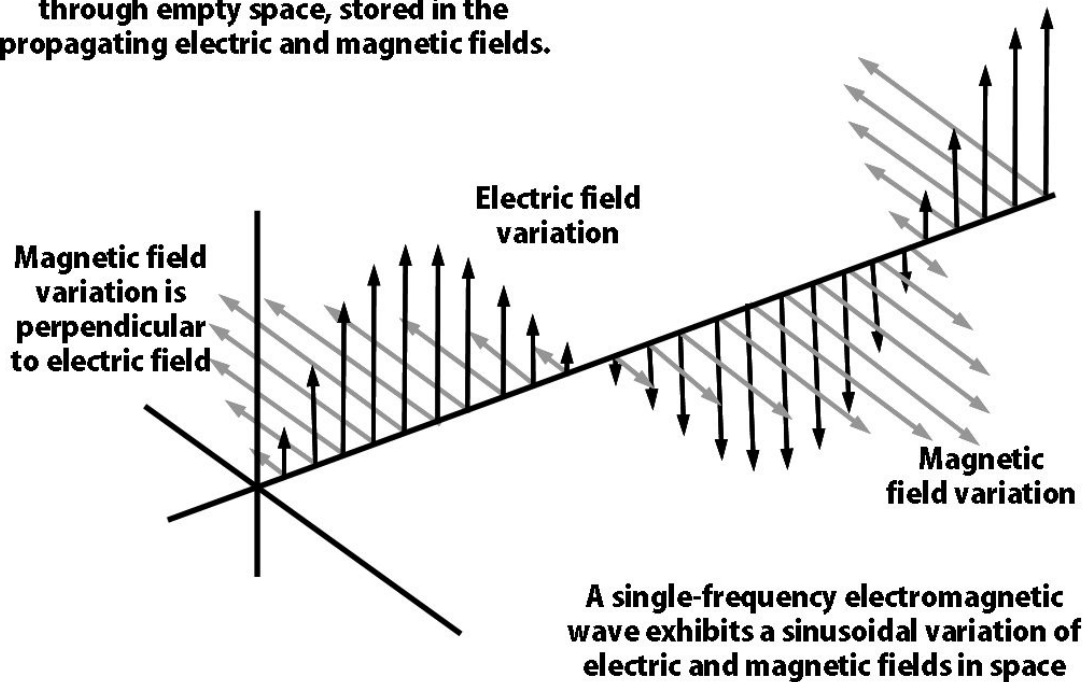


Fig. 1 Electromagnetic waves<sup>1)</sup>

전자파는 주파수가 높을수록 파장이 짧아지며 전자파가 갖는 에너지는 증가한다. 파장은 전자파의 속도/주파수로 구할 수 있다. 주파수를 나타내는 단위는 KHz, MHz, GHz 등을 사용한다.

산업 현장이나 일상생활에서 전기·전자 통신 제품들이 발생시키는 전자파는 전자파를 차단해야하거나 특정 주파수만을 필요로 하는 기기에 불필요한 요소로 작용하여 오작동을 유발시킬 수 있으며, 인체에 전자파가 지속적으로 작용할 경우 면역기능 저하, 생식능력 저하, 기형아 출산, 백내장, 임신부 유산, 시력장애 등의 각종 질환을 발생시키는 등 여러 가지 악영향을 미치고 있다.<sup>2-4)</sup> 일상생활에서 사용하는 전자레인지에서 발생하는 파장은  $30 \text{ 만Km} / 2.45 \times 10^9 = 12.2 \text{ cm}$  로 매우 짧아 음식을 가열시킬 정도의 높은 에너지를 가지고 있으며, 우리가 사용하고 있는 휴대폰도 800 MHz ~ 900 MHz 의 마이크로웨이브를 사용하고 있다. 이와 같은 전기·전자 장비들에서 발생되는 전자파가 인체에 작용하여 문제가 될 수 있다. 광선도 일종의 전자파로서 적외선, 가시광선, 자외선 등으로 분류되며 이중에서 자외선의 파장이 짧아 에너지가 가장 강하여 피부암 등을 유발하는 것으로 알려져 있다 이러한 전자파장해에 대한 대책으로 각종 엄격한 규제가 마련되어 있으며, 전자파를 차폐할 수 있는 전자파 차폐용 소재개발에 대한 관심이 높아져 가고 있다.<sup>5)</sup>

국내 및 국제적으로 적용되는 전자파 규격은 나라마다 차이가 있으나 일반적으로 국제 전파 장해 특별위원회 (International Special Committee on Radio Interference; CISPR) 에서 발간되는 규격을 자국의 규격으로 채택하고 있다. CISPR 에서는 매년 회의를 개최하여 규격의 제·개정 작업을 추진하고 있다. 국내규격에는 1997 년 정보통신부에서 고시된 전자파 장해방지규칙과 전자파 보호(내성)에 관한 규칙이 있으며, 1999 년부터 전파연구소에서 제·개정 작업을 추진하여 2000 년 10 월에 정보통신부장관 고시로 ‘국내 전자파 장해방지 및 보호 시험방법’을 신설하였다. 전기·전자 제품의 판매를 위해서는 각국에서 규정하고 있는 전자파 규정 기준을 만족시켜야 한다. 특히, 유럽의 경우 1996 년부터 전기·전자 제품의 전 품목에 대한 내성시험 결과를 요구하고 있으며, 국내는 1990 년부터 전자파에 대한 규제를 시작하여 2000 년부터 전 품목에 대한 규제를 시행하고 있다.<sup>6)</sup>

전자기기에서 방사 또는 전도되는 전자파가 다른 기기의 기능에 장애를 주는 것을 전자파장해 EMI (ElectroMagnetic Interference), 주어진 장비가 외부로부터의 방해 전자파에 의해 영향을 받지 않고 정상적인 동작을 하는 상태를 의미하는 전자기 양립성

또는 전자기 적합성 EMC (ElectroMagnetic Compatibility) 라하며, EMC 는 넓은 의미에서 EMI 의 개념과 전자파에 대한 내성 EMS (ElectroMagnetic Susceptibility) 의 개념을 모두 포함하는 용어라 할 수 있다.<sup>7-10)</sup>

전자파 차폐 (Electromagnetic shielding) 는 전도체 혹은 자성체를 이용하여 전자파 발생원의 주변을 차단, 새로운 회로를 형성하여 보호할 대상의 주변에 존재하는 유해 전자파를 차단하는 것을 말한다. 전자파 차폐 기법은 전자파장해 규제에 대응하기 위해 피시험기기의 전자파장해 특성을 제어할 목적으로 이용되며, 전기적 특성이 잘 알려진 금속재료를 전통적으로 사용해 왔다. 하지만 근래에 들어 금속재료에 비해 값이 싸고, 가벼우며, 가공하기 쉬운 플라스틱 재료 및 복합재료 (Composite materials) 등이 개발되어 제품의 외장재로 널리 사용되고 있으며, 전기·전자제품 등의 외장재 (Housing materials) 의 재료로서 급속히 대체해 나가고 있는 실정이다.<sup>11)</sup> 플라스틱 재료 및 복합재료의 경우 전자파차폐효과를 전혀 가지지 않으므로 복사 방출 (Radiated Emission; RE) 규제는 물론 복사 내성 (Radiated Susceptibility; RS) 에 관한 규제에 효과적으로 대응하기 어렵다. 따라서 이들 재료에 전도성을 부가하여 전자파차폐효과를 갖도록 하기위해 플라스틱에 금속섬유, 탄소섬유 등의 전도성 충전제를 혼입하여 기존의 플라스틱 사출 성형법으로 전도성 플라스틱을 성형하는 방법, 폴리아닐린 (Polyaniline) 등과 같은 플라스틱 자체가 전도성을 갖는 전도성 고분자의 사용, 전도성 도료의 도포<sup>12-14)</sup> 및 금속염과 환원제가 공존하는 용액에서 자기축매에 의한 화학반응에 의해 원하는 재료에 금속피막을 식출시키는 무전해도금<sup>15)</sup> 방법 등이 활용되고 있으며, 국내외적으로 각종 전도성 고분자재료 및 복합재료의 전자파차폐에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>16-24)</sup>

전자파 차폐효율 (ElectroMagnetic Shielding Efficiency; EMSE) 의 주요 측정법은 크게 두 가지 방법으로 구분할 수 있다. 첫째, 사용되는 측정 치구 (Sample holder, test fixture) 에 맞게 재료를 편형하고, 얇은 시험편으로 제작하여 측정하는 방법이다. 두 번째 방법으로는 재료를 실제로 사용되는 구조물의 형태로 제작하여 특성을 측정하는 방법이다. 첫 번째 방법의 경우 차폐 구조물을 만들 때 포함되는 다양한 형태의 인입구 등에 의해 차폐효율이 저하되는 것을 파악하기 어려운 반면, 재료 자체의 특성을 간편하게 평가할 수 있는 장점이 있다. 두 번째 방법은 최종 구조물의 형태를 평가하고자 하는 재료로 제작하기 때문에 실제 상황에 가장 근접하는 측정결과를 얻을 수 있다. 하지만 제품의 설계 단계에서 사용할 예정의 모든 재료에 대해서 구조물을 만들어야 하고 구조물의 형태를 변경시킬 경우 다시 모든 재료에 대한 구조물을 만들어야 하



는 단점이 있다.<sup>25)</sup>

전자파 차폐재는 재료의 전도, 유전 및 자성 손실을 이용하여 전자파가 차폐재를 통과할 때 전자파의 반사 (Reflection), 흡수 (Absorption), 투과 (Penetration) 및 다중 반사 (Multi-reflection) 에 의해서 전자파의 세기를 효과적으로 감쇠시킬 수 있는 재료이다. 반사에 의한 차폐를 이용한 전자파 차폐 재료는 전도성 금속재료 (Ni, Cu, Al, Zn, Fe 등) 가 많이 사용되고 있다. 금속의 경우에는 반사율이 좋고 전자파가 흡수되는 표면 깊이 (Skin depth) 가 아주 작은 차폐 재료이다. 일반적으로 금속의 경우에는 무거우며 공기중에서 산화반응을 일으킨다. 또한 원하는 형태로 가공이 용이하지 않고 가격이 비싼 단점을 가지고 있다. 이러한 전도성 금속재료의 단점을 보완하기 위한 한 방안으로 직물에 전도성 유기물질과 은-팔라듐 (Silver-palladium) 을 코팅하여 1.0 GHz 범위에서 전자파 차폐 특성을 실험한 결과 전자파 차폐효율이 최고 80 dB 정도로 대단히 높은 차폐효율을 보였으며, 이는 전자파 반사에 의하여 이루어진다는 것을 밝혀내었다.<sup>26)</sup> 이러한 연구에서는 기존의 유기섬유를 바탕으로 목적에 맞는 기능 물질을 섬유 또는 직물에 부착시킴으로써 반복사용에 따라 역학적, 전기적 성질이 변하는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 극복하기 위해서 기본 소재를 전기 전도성이 있는 금속으로부터 만들어진 섬유를 이용하는 것이 대단히 효율적이다.

Huh<sup>27)</sup> 등은 인발법에 의하여 만들어진, 전자파 차폐성을 지닌 스테인레스 섬유 직물을 방직, 제직한 구조물을 통해 금속직물이 가진 전자파 차폐특성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 Fig. 2 와 같은 사용이 간편하고, 시료크기가 작으며, 설치 경비와 공간이 크게 요구되지 않는 작은 크기에 표준 평면파의 발생에 가장 안전한 방법으로 알려진 TEM (Transverse Electromagnetic Mode) 을 바탕으로 동축 치구 (Coaxial holder) 법을 이용하여 차폐 측정을 하였다. 그 결과 1.6 GHz ~ 2.5 GHz 주파수 대역에서 53 dB로 우수한 차폐효율을 확인하였다.

Cheng<sup>28)</sup> 등은 Fig. 3 과 같이 구리 및 유리섬유 등을 직조하여 만든 재료에 대해 주파수 0.3 MHz ~ 3,000 MHz 범위에서 전자파 차폐효율에 관한 연구를 실행하였다. 이와 같은 실험결과를 통해 직물 합성물의 전자파 차폐효율을 확인 할 수 있었다.

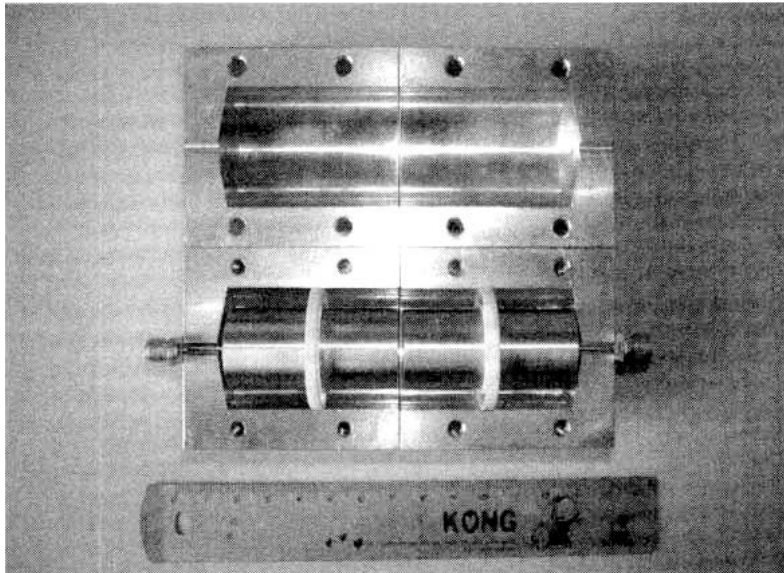
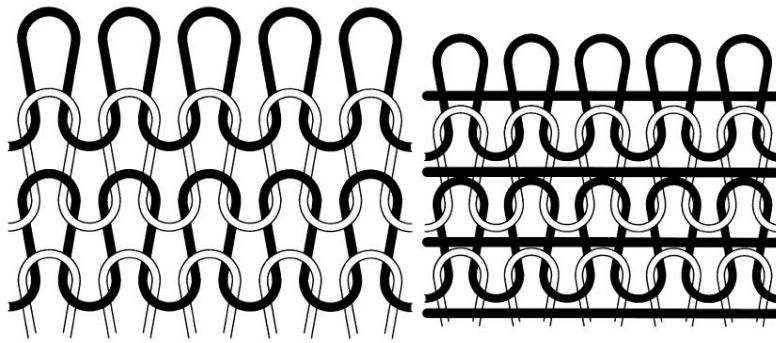
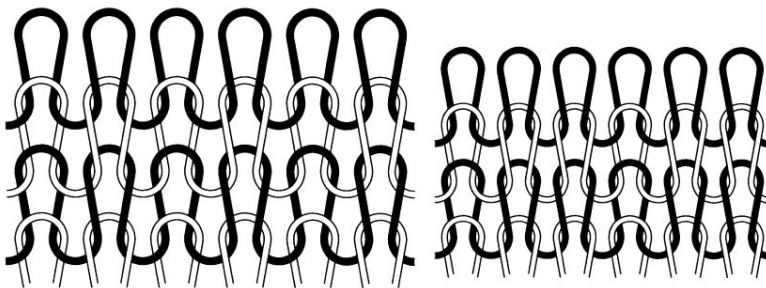


Fig. 2 Transverse electromagnetic mode transmission structure<sup>25)</sup>



(a) Plain

(b) Plain inlaid



(c) 1 / 1 rib

(d) 1 / 2 rib

Fig. 3. Structures of knitted fabrics<sup>26)</sup>

Park 등<sup>29)</sup>의 경우 무전해 도금법을 이용하여 고분자섬유를 가진 전도성 필러를 제조하였으며, ABS 수지에 제조된 전도성 필러를 주입하여 만든 필름을 1.0 MHz ~ 1,000 MHz 주파수 대역에서 전자파 차폐 특성을 측정하였다. 실험 결과 Fig. 4 와 같이 제조된 전도성 필러는 측정 주파수 대역에서 10 dB ~ 16 dB 정도의 고른 차폐 효율을 보였으며 이를 통해 제작한 전도성 필러의 전자파 차폐용 재료로서의 사용 가능성을 확인하였다.

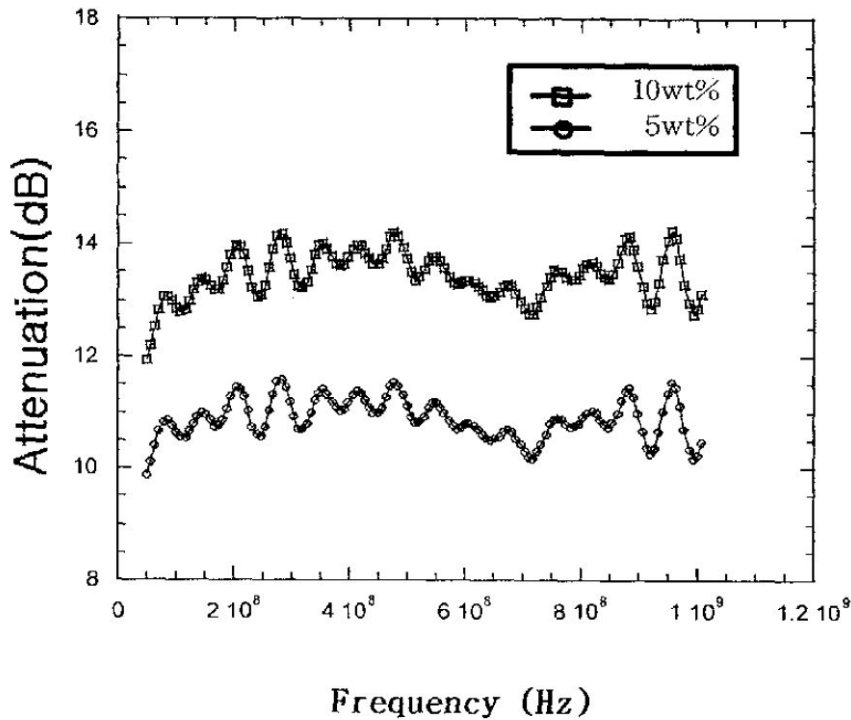


Fig. 4. Shielding effects of ABS film added conductive filler<sup>27)</sup>

Fig. 5 와 같이 Jung 등<sup>30)</sup>은 다양한 나노 복합재료의 전자기파 차폐 특성에 대하여 실험을 수행하고, 이러한 실험결과를 통해 기존의 연구결과 비교하고자 하였다. 이를 위해 에폭시 수지에 분말형태의 나노 입자들을 균질하게 분산시킨 유리섬유강화 복합재료 시편을 제작하고, 10 GHz 를 기준으로 8 GHz ~ 12 GHz 주파수 대역에서 재료, 두께, 방향성에 따른 전자기파 차폐효율을 측정하였다. 그 결과 MWCNT (Multi-Walled Carbon Nano-Tube) 의 경우 카본블랙 (Carbon black) 의 3 배에 가까운 차폐특성을 확인하였다.

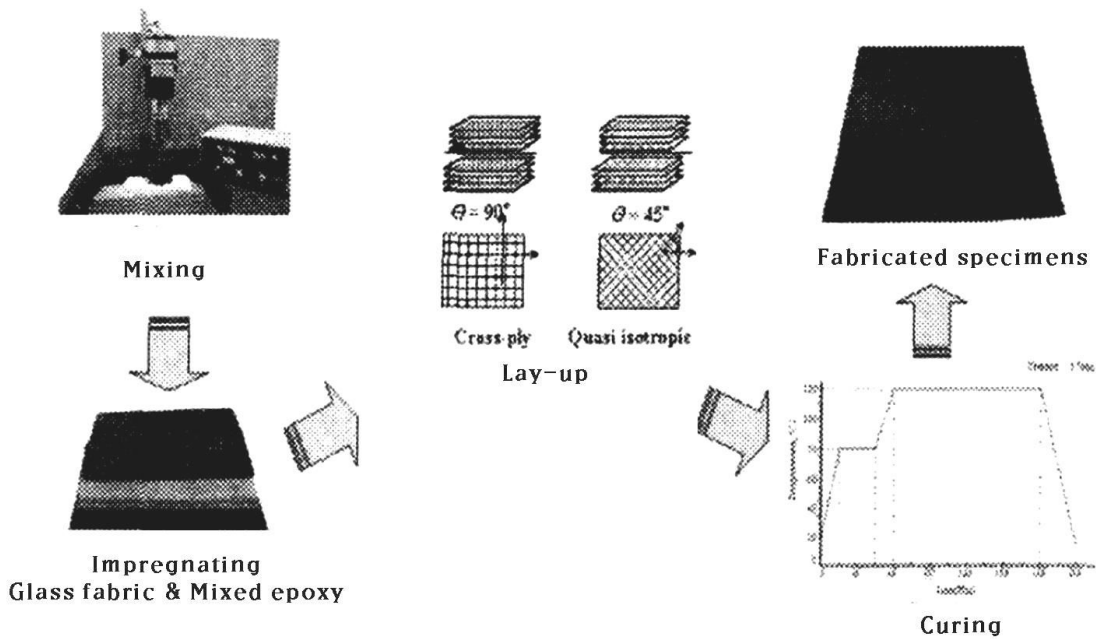


Fig. 5. Curing procedure of fabricated specimens<sup>28)</sup>

전자파 차폐 및 외부 하우징 재료 등 여러 분야에 사용되는 복합재료의 경우 기계적 특성이 중요하며, 이에 따라 복합재료의 기계적 특성에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다.<sup>31-32)</sup>

## 1.2 연구목적 및 방법

최근 전기·전자 산업이 급속하게 발전하면서, 전기 및 전자 장치의 사용 영역이 급속하게 확대되었다. 일상생활에서 흔히 사용되는 컴퓨터, 자동차, AC 모터 및 휴대 전화 등 또한 전기 및 전자 장치가 사용되어지고 있는 기기이다. 하지만 이러한 기기들은 전기가 흐름에 따라 전자파를 방출하게 되는데 이때 방출되어지는 전자파는 서로 다른 기기에 영향을 미쳐 기기의 오작동을 유발하고 인체에도 여러 가지 질병들을 유발 시키는 등의 전자파 장애를 일으키고 있다.<sup>2-4)</sup>

이러한 전자파 장애에 대한 대책으로 각종 엄격한 규제가 마련되어 있으며, 전자파를 차폐할 수 있는 전자파 소재에 대한 관심이 높아져 가고 있다.

일반적으로 전자파 차폐 소재로는 구리 (Copper), 니켈 (Nickel), 알루미늄 (Aluminum) 등이 있으나 이러한 금속재료들은 중량이 무겁고 값이 비싸다는 단점을 가지고 있다. 반면 플라스틱 재료는 가벼우며 성형이 쉽고 값이 싸다는 장점을 가지고 있으나 플라스틱은 절연체로서 전자파 차폐 효과가 나타나지 않는다. 이러한 단점을 보완하기 위해 플라스틱에 금속섬유, 탄소섬유 등의 전도성 충전제를 혼입하여 전도성 플라스틱을 성형하거나 전도성 고분자를 사용, 또는 전도성 도료를 도포하는 등의 많은 연구가 진행되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 ① 유리섬유에 카본블랙 (Carbon black) 을 혼입하여 성형한 유리섬유강화 복합재료 시험편 (Glass Fiber Reinforced Plastics; GFRP) 과 ② GFRP 시험편 한쪽 면에 알루미늄 필름을 부착 성형한 AG 시험편, ③ GFRP 시험편에 고 개구율 구리 메쉬 (Fine copper mesh), ④범용 구리 메쉬 (General copper mesh) 를 각각 부착한 FCG, GCG 시험편, ⑤알루미늄 필름을 코어재로한 샌드위치 시험편 (AGS) 을 제작하여 전자파 차폐효율을 고찰하였다. 또한 ⑥ 스테인레스 (Stainless) 직조 섬유 전자파 차폐 특성을 고찰하기 위하여 모재인 에폭시에 스테인레스 직조섬유를 함침 시킨 시험편 (S) 과 동일한 모재인 에폭시를 사용하여 ⑦ 한쪽 면은 스테인레스 직조섬유를 다른 한쪽은 유리섬유를 함침 시킨 시험편 (SG), ⑧ 유리섬유를 코어재로 하고 양쪽을 스테인레스 직조섬유로 제작한 스테인레스 샌드위치 시험편 (SGS), 반대로 ⑨ 스테인레스 직조섬유를 코어재로 하고 양쪽을 유리섬유로 제작한 유리섬유 스테인레스 시험편 (GSG) 을 제작하여 전자파 차폐효율을 측정하였다. 제작된 시험편의 전자파 차폐효율 측정방법으로는 ASTM D4935-89 규격을 참고하였으며, 플랜지형 동축 전송선 측정 치구를 사용하여 300 MHz ~ 1,500 MHz의 주파수 대역에서 차폐효율에 대한 특성을 고찰하였다.

또한, 전자파 차폐 재료의 경우 노트북 컴퓨터를 비롯한 전기·전자제품의 하우징 (Housing) 재료로 사용 가능하며 사용될 경우 하우징 재료의 강도 및 내부 장치를 보호 할 수 있는 재료의 기계적 성질 또한 중요하다. 이에 따라 차폐 시험편의 기계적 특성을 알아보기 위한 인장실험을 실시하여 제작한 전자파 차폐 재료의 기계적 특성을 고찰하였다.

## 제 2장 시험편 제작 방법

### 2.1 전자파 차폐용 섬유강화 복합재료의 제작 방법

#### 2.1.1 재료의 선정

본 연구에서 사용된 전도성 재료인 카본블랙 (Carbon black) 은 K 회사의 제품을 사용하였으며, 알루미늄 필름 (Aluminum film) 은 S 회사의 제품을 사용하였다. 각 재료의 물성은 Table 1, Table 2 에 각각 나타내었다. Fig. 6 에 시험편 제작 시 사용된 카본블랙의 주사 전자 현미경 (Scanning Electro Microscopy; SEM) 사진을 나타내었다.

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 Typical properties of aluminum film

Trad Name	Thickness [μm]	Tensile Strength [kg/mm <sup>2</sup> ]	EL [%]
AG3381	5.1	7.6	2.0

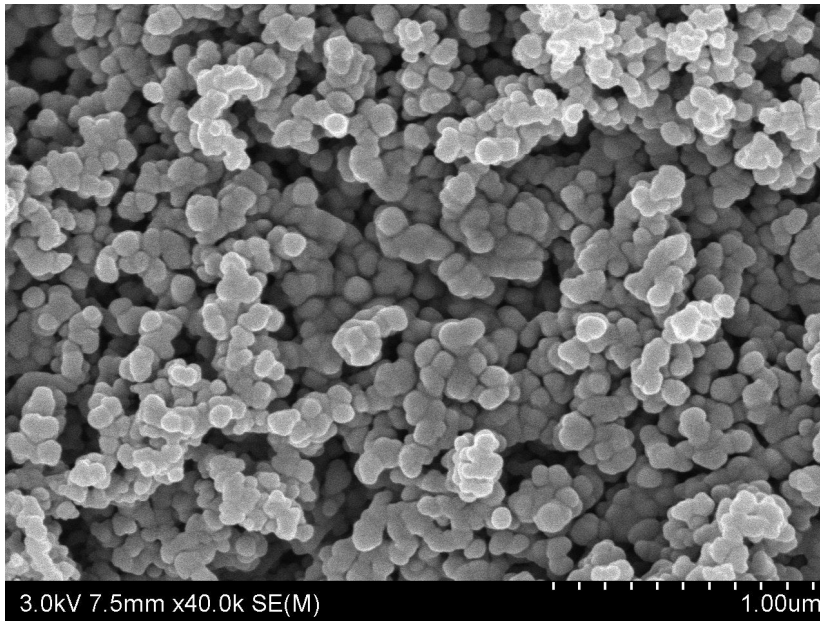
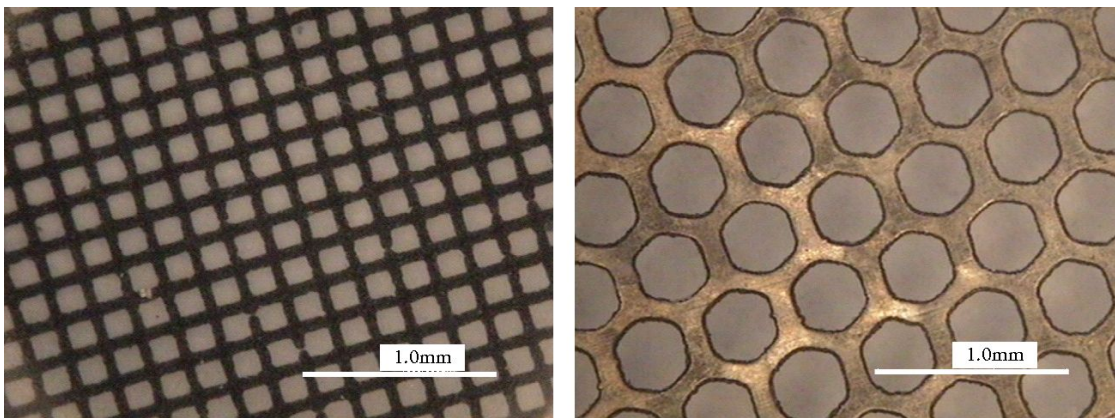


Fig. 6 Micro-structures of a carbon black power

시험편 제작 시 사용된 고 개구율 구리 메쉬 (Fine copper mesh) 와 범용 개구율 구리 메쉬 (General copper mesh) 는 E 회사의 제품을 사용하였으며, Fig. 7 에 고 개구율 구리 메쉬와 범용 개구율 구리 메쉬 구조의 현미경 사진을 도시하였다.



(a) Fine copper mesh

(b) General copper mesh

Fig. 7 Micro-patterns of fine and general copper mesh ( $\times 40$ )

고 개구율 구리 메쉬와 범용 개구율 구리 메쉬에 대한 재료의 물성은 Table 3 과 같다.

Table 3 Typical properties of fine 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

강화재인 섬유는 Y 회사의 현무암을 이용해 제작한 현무암 유리섬유를 사용하였다. Table 4 에 시험편 제작 시 사용된 유리섬유의 물성을 나타내었으며, Fig. 8 은 유리섬유의 직조형상을 나타내었다.

Table 4 Typical properties of glass fiber

Trad Name	Structure	Fiber Diameter [ $\mu\text{m}$ ]	T/S [MPa]	Melting Temperature $\eta=10^2$ poise [ $^{\circ}\text{C}$ ]
Glass fiber	Plain weave	9~10	3,100	1,350

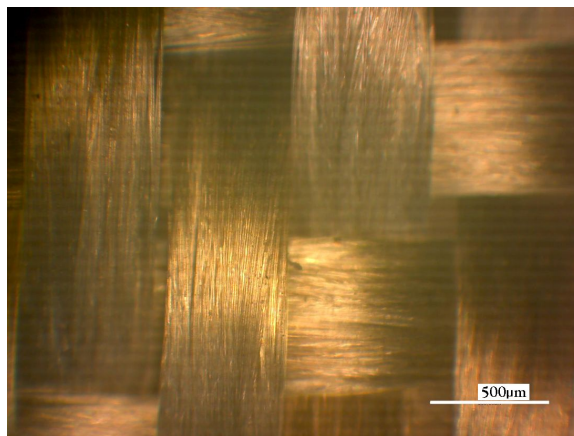


Fig. 8 Micro-structures of a glass fiber( $\times 100$ )



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

### 2.1.2 시험편 제작

카본블랙을 용매인 아세톤 (Acetone) 과 혼합하여 분산시킨 후, 이 용액과 에폭시를 혼합하여 2,000 rpm 으로 30 분 동안 교반하였다. 이 과정에서 아세톤의 급격한 기화를 막으면서 용액의 점성을 낮게 유지하기 위해 40 °C 로 유지하였다. Fig. 9 에 시험편 제작 시 사용된 교반기(Stirrer)와 온도를 유지하기 위한 장치인 히팅 맨틀 (Heating mantle) 을 도시하였다.

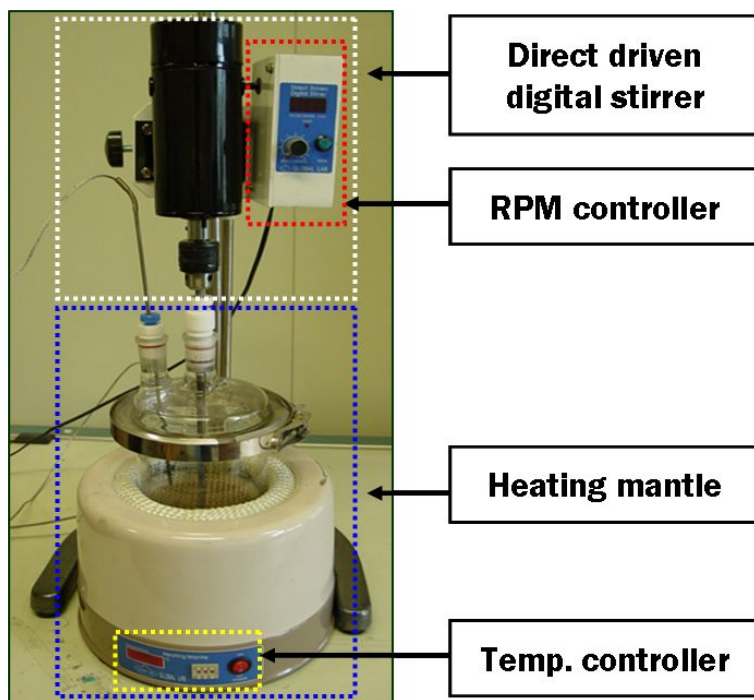


Fig. 9 Stirrer and heating mantle for mixing of elements

Table 5 와 6 에 각각 시험편 제작 시 사용된 교반기와 히팅 맨틀의 사양을 나타내었다.

Table 5 Specifications of direct driven digital stirrer

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

Table 6 Specifications of heating mantle

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

카본블랙, 아세톤, 에폭시가 혼합된 용액을 상온에서 12 시간, Fig. 10 와 같은 전기로 (Electric muffle furnace) 를 이용하여 80 °C 에서 24 시간 넣어 용매인 아세톤을 제거 하고 카본블랙과 에폭시로만 이루어진 혼합물을 얻었다. 이때 사용된 전기로의 사양은 Table 7 과 같다.

Table 7 Specifications of electric muffle furnace

Voltage [V]	Heater [kw]	Temperature [°C]
AC 220	2	Max. 1.200

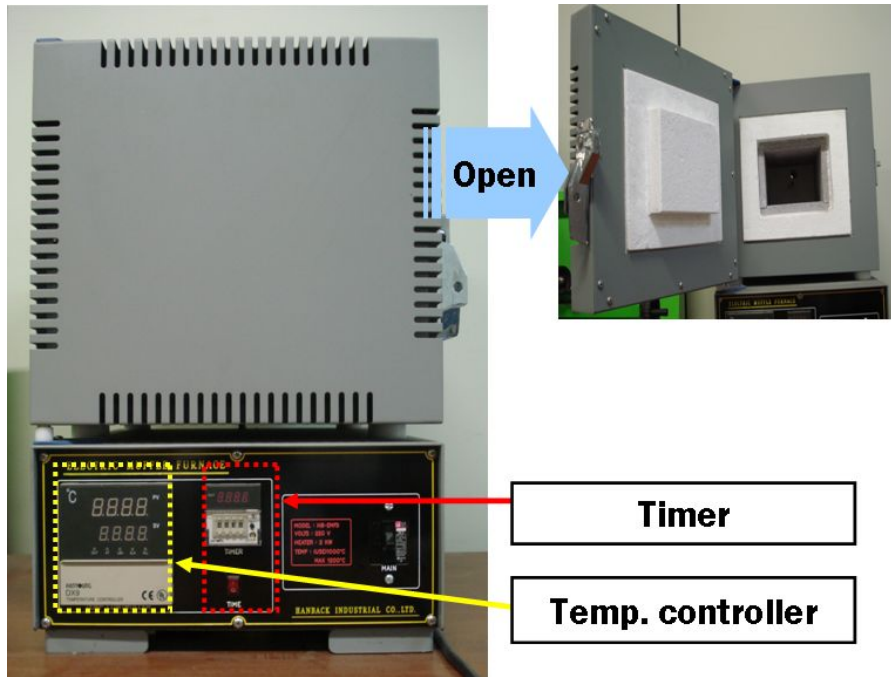
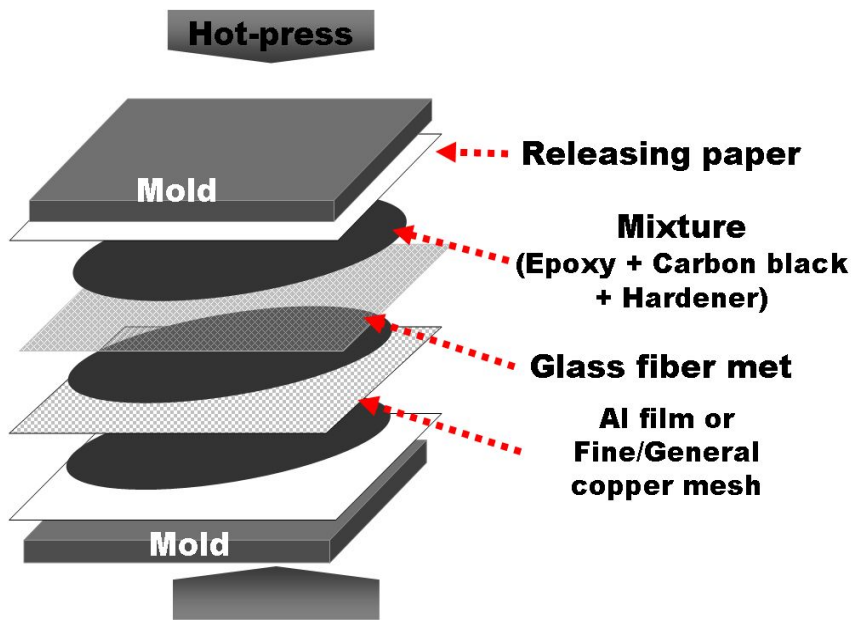
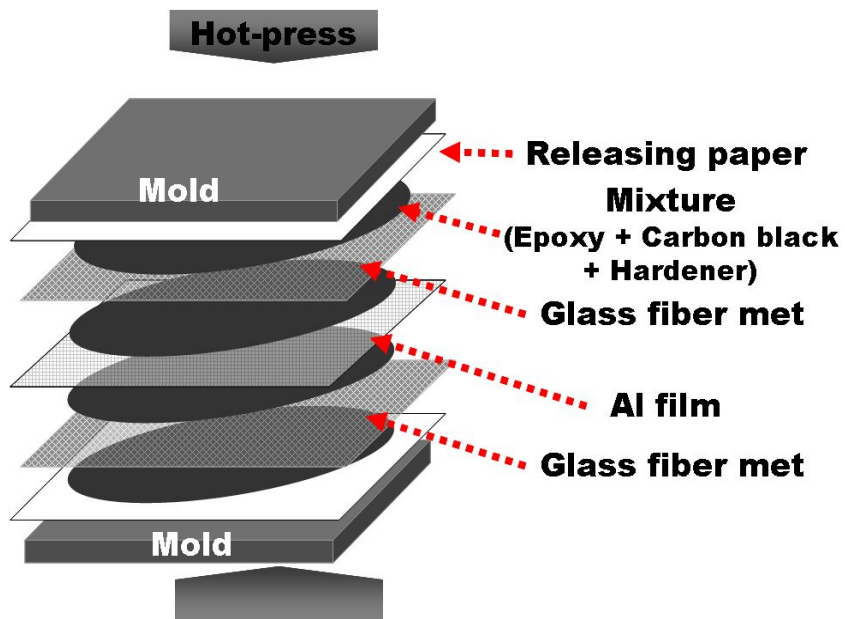


Fig. 10 Electric muffle furnace

이 혼합물과 경화제를 2 : 1 의 비율로 혼합하여 이형제를 바른 금형에 부어 섬유 매트 에 함침 시킨 후 80 ℃ 의 고온 압축 프레스를 사용하여 섬유강화 복합재료 시험편 을 제작하였다. 시험편 제작과정을 Fig. 11 에 도시하였다.



(a) Normal



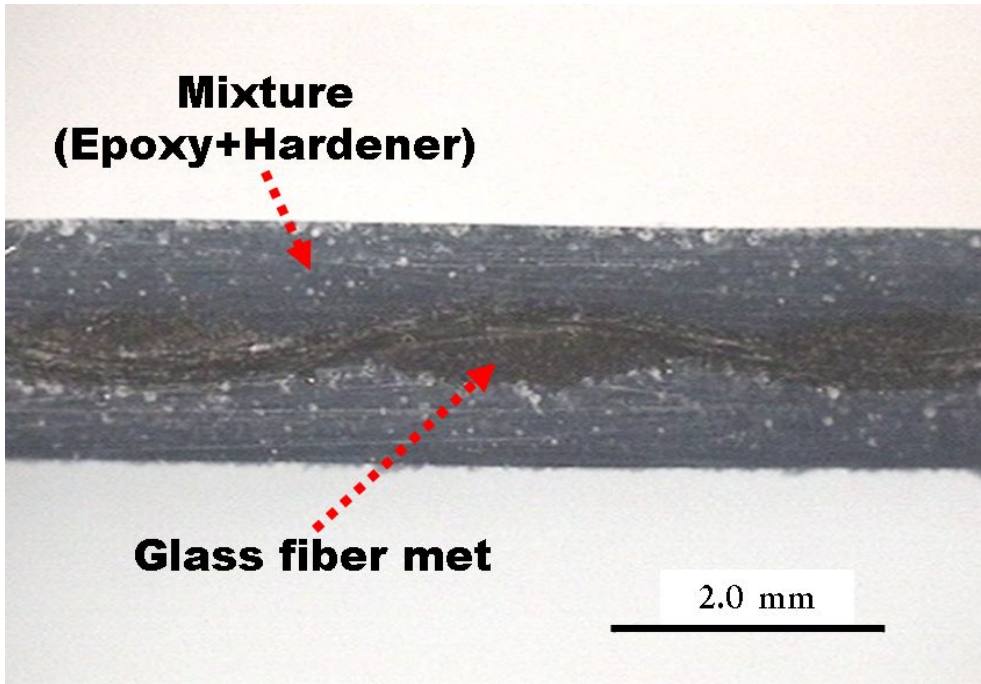
(b) Sandwich

Fig. 11 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens

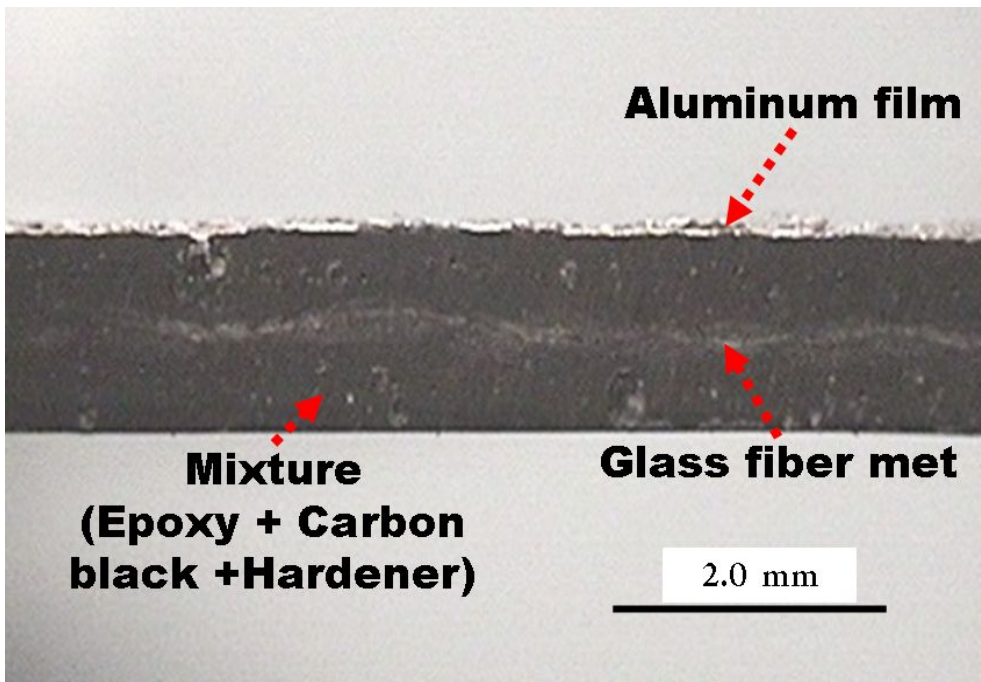
시험편 제작 시 전도성 고분자 재료인 카본블랙 첨가 중량비를 2.7 wt% 이상으로 하였을 경우 수지의 점성이 높아져 시험편 성형이 어려웠다. 카본블랙의 함량이 증가할수록 전자파 차폐효율 또한 증가할 것으로 예상되나 시험편 성형의 어려움으로 인해 카본블랙의 첨가 중량비를 2.7 wt% 로 하여 실험을 수행하였다. 카본블랙과 에폭시를 혼합한 혼합물을 고온 프레스를 이용하여 350 × 250 × 2 mm 의 크기를 가지는 유리 섬유를 보강재로 한 유리섬유강화 복합재료 (Glass fiber reinforced plastics) 시험편 (GFRP), GFRP 시험편의 한쪽 면에 각각 알루미늄 필름, 고 개구율 구리 메쉬, 범용 구리 메쉬를 접착시킨 알루미늄 필름 시험편 (AG), 고 개구율 구리 메쉬 시험편 (FCG), 범용 구리 메쉬 시험편 (GCG), 알루미늄 필름을 코어재료하고 코어재 양쪽에 GFRP 시험편을 배치한 샌드위치 시험편 (AGS) 을 제작하였다. Table 8 은 시험편 제작 시 사용된 적층 재료를 나타내고 있다. Fig. 12 는 제작된 시험편의 단면을 확대한 사진이다.

Table 8 Staking materials of specimen

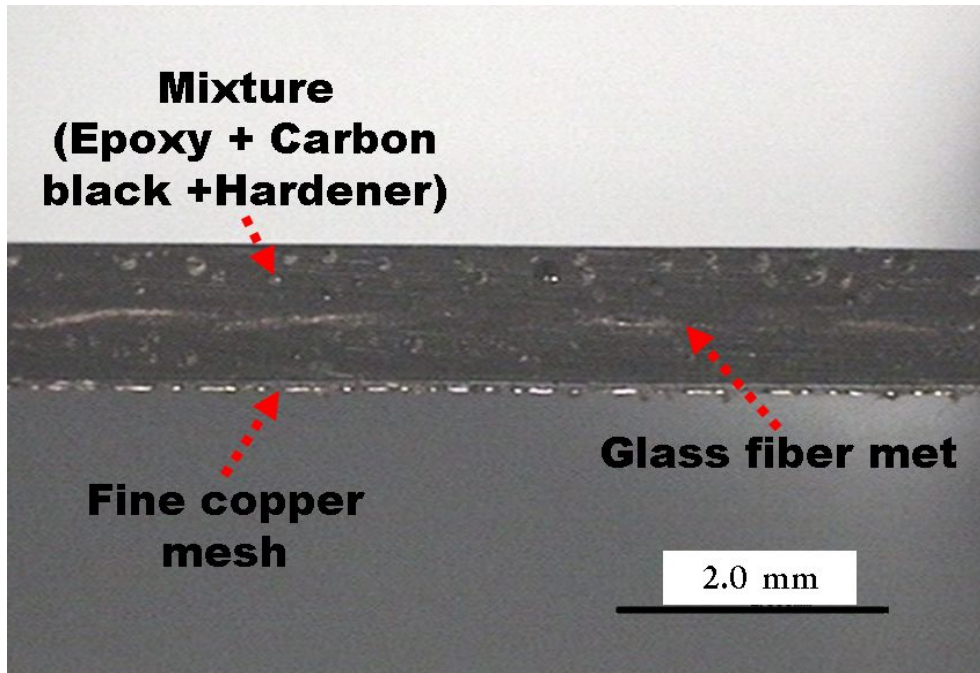
Specimen	Material
GFRP	Glass fiber mat
GFRP/Carbon black	Glass fiber mat / Carbon black (2.7 wt%)
AG	Aluminum film / Glass fiber mat
FCG	Fine copper mesh / Glass fiber mat
GCG	General copper mesh / Glass fiber mat
AGS	Glass fiber mat / Aluminum film / Glass fiber mat



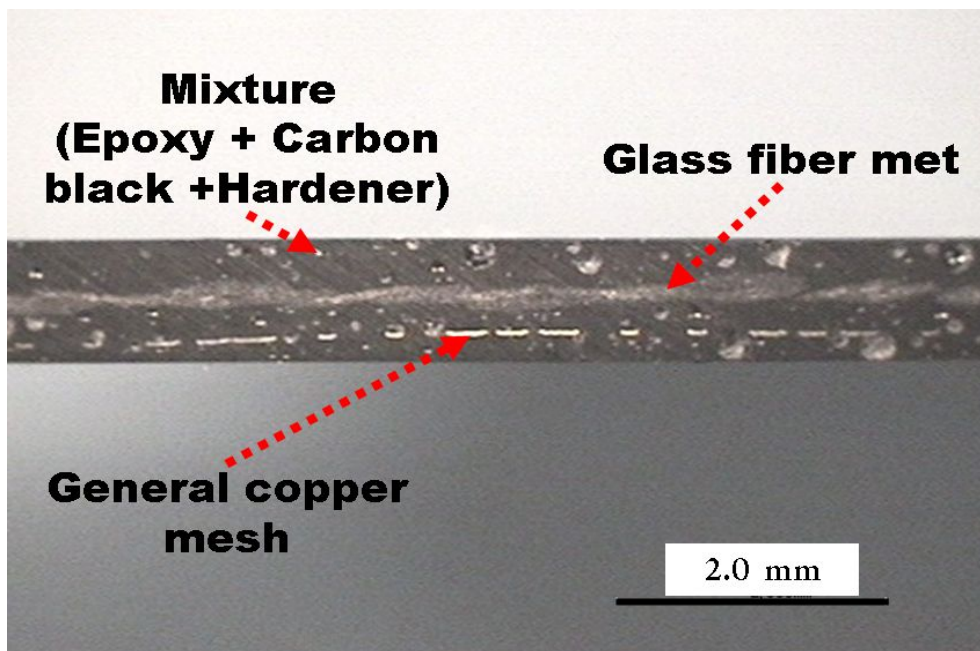
(a) GFRP specimen



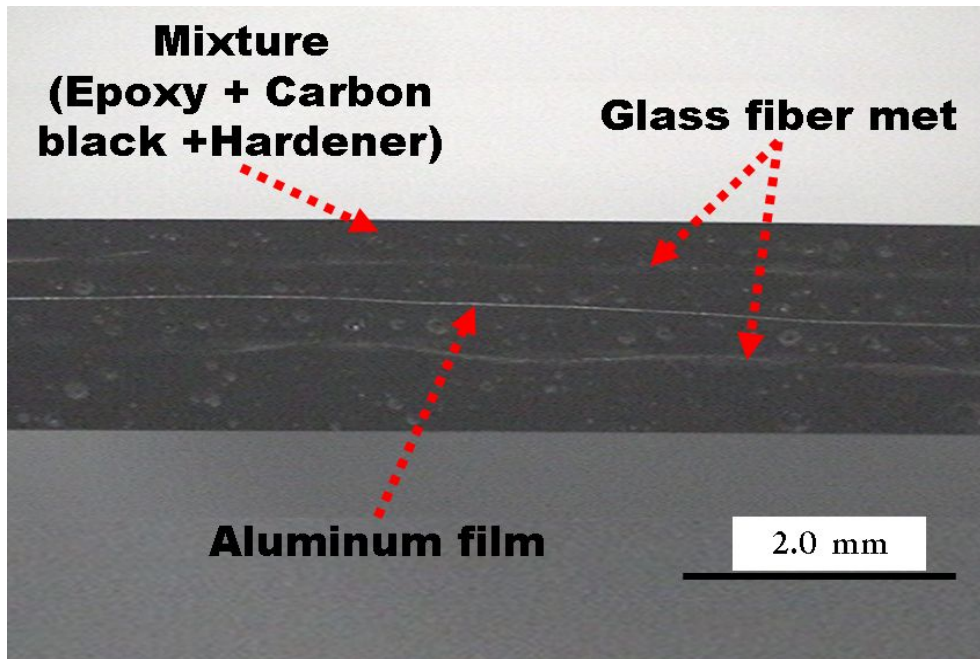
(b) AG specimen



(c) FCG specimen



(d) GCG specimen



(e) AGS specimen

Fig. 12 Micro-structures in the specimens ( $\times 40$ )

제작한 시험편 판넬은 다이아몬드 휠 톱을 이용하여 Fig. 13 과 같은 플랜지형 동축 전송선 측정치구에 결합할 수 있도록 Fig. 14 와 같이 ASTM D4935-89 규격을 참고하여 내부 도체의 외경 32 mm, 외부 플랜지 외경 직경이 133 mm, 내경 76 mm 를 가지는 시험편을 시험 조건별로 기준 (Reference) 시험편과 부하 (Load) 시험편을 각각 3 개씩 제작하였다.

ASTM D4935-89 규격은 ASTM 에서 1983 년에 제안한 ASTM ES 7-83 규격의 연속 동축선 측정치구 (Circular coaxial transmission-line holder with continuous conductor) 의 단점을 보완한 것으로 내부 도체의 외경이 32 mm, 외부 플랜지의 외경이 133 mm, 내경이 76 mm 인 측정치구이다.<sup>21)</sup>



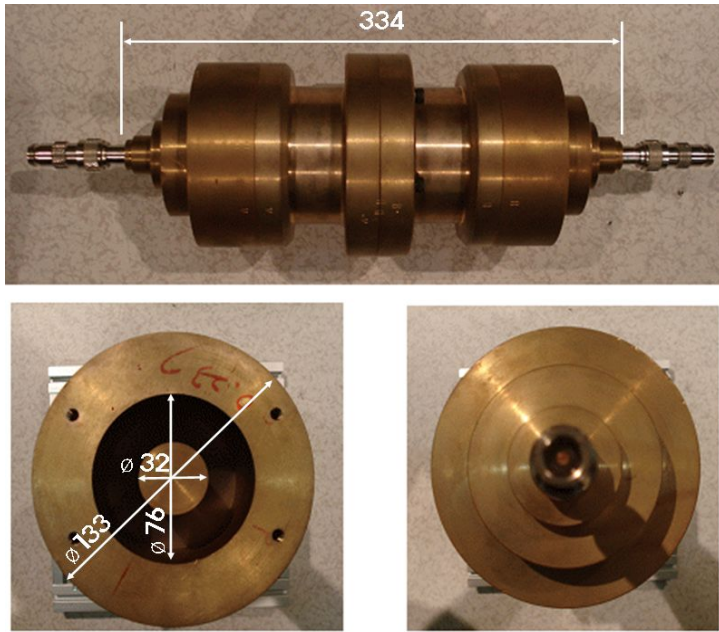
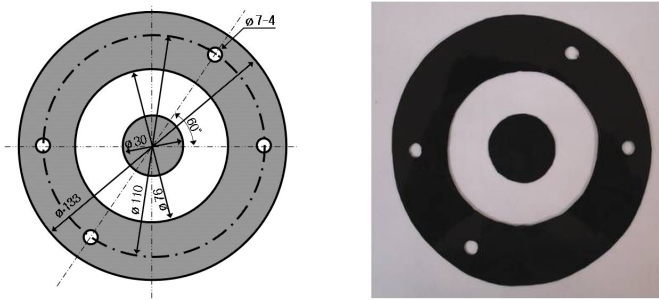
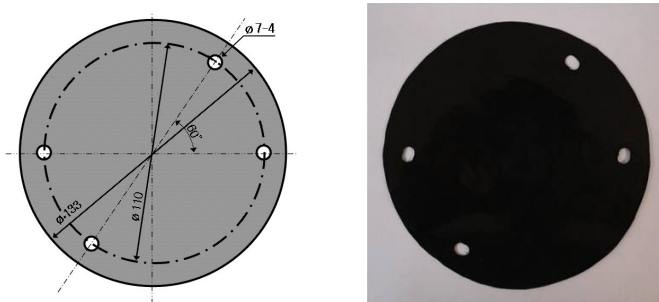


Fig. 13 Flanged coaxial transmission line sample holder



(a) Reference



(b) Load

Fig. 14 Dimensions of reference and load specimens

## 2.2 전자파 차폐용 금속 섬유강화 복합재료의 제작 방법

### 2.2.1 재료의 선정

전자파 차폐용 금속 섬유강화 복합재료 시험편 제작 시 사용된 재료로는 Y 회사의 현무암 유리섬유와 W 회사의 금속직물 (Metal woven fabric) 을 사용하였다. Table 9 에 금속직물의 특성을 나타내었다. Fig. 15는 금속직물의 직조형상을 40 배로 확대한 사진이다.

Table 9 Typical properties of a metal woven fabric

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

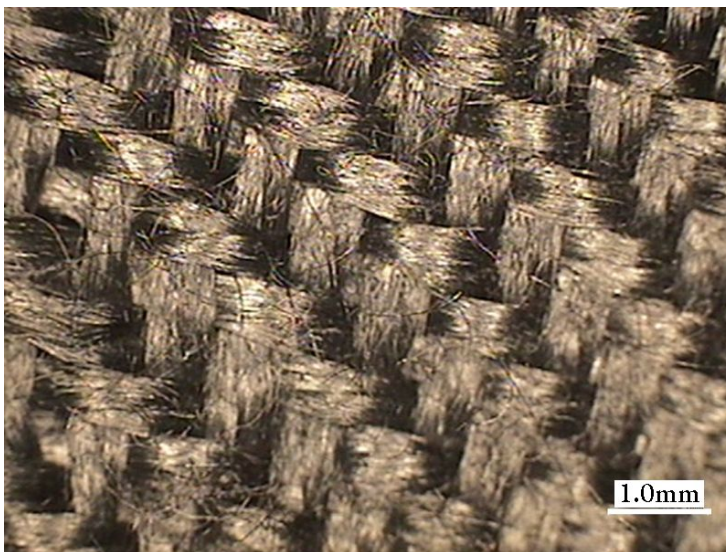
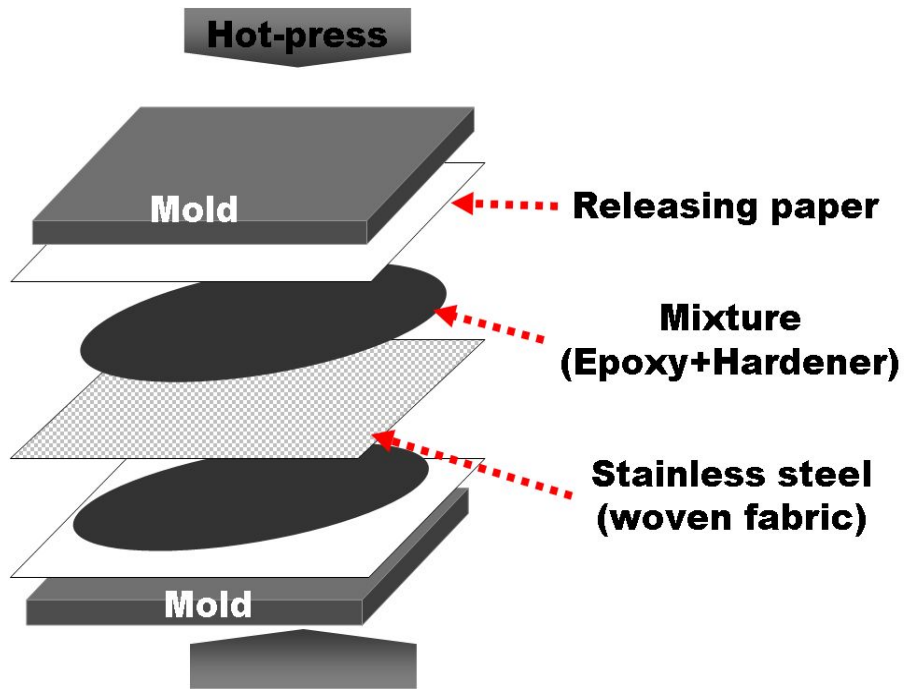


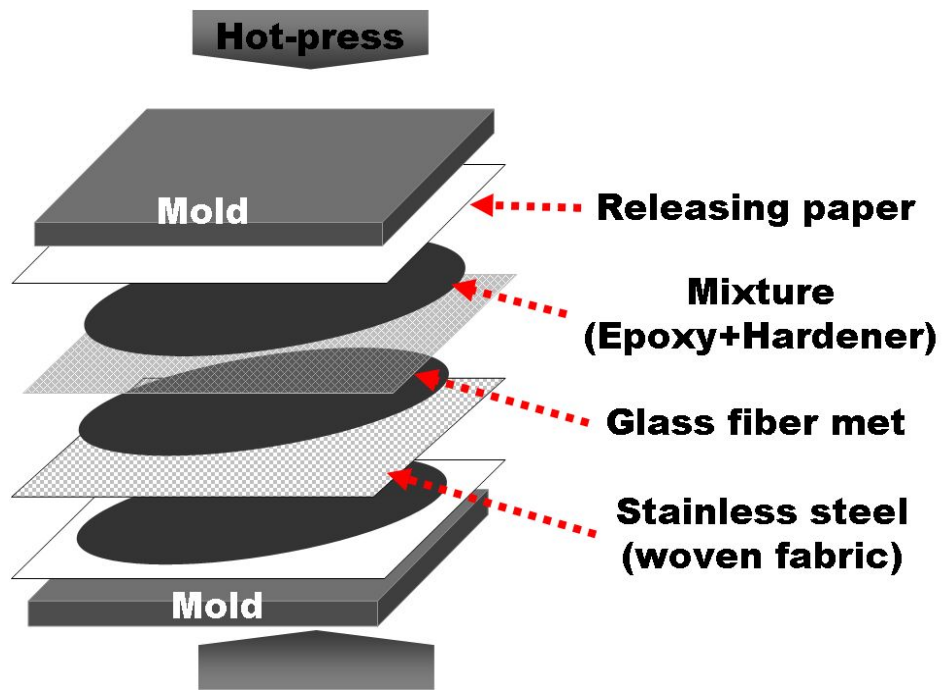
Fig. 15 Micro-structures of a metal woven fabric ( $\times 40$ )

## 2.2.2 시험편 제작

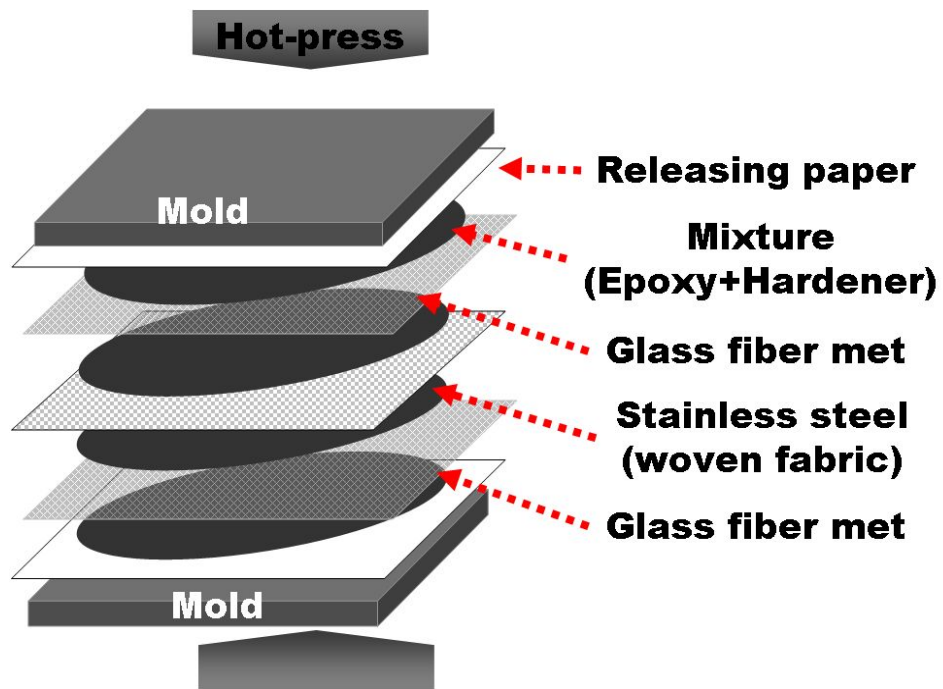
Fig. 16 에 에폭시와 경화제를 혼합한 혼합물에 스테인레스 섬유를 함침 시킨 S 시험편, 유리섬유와 스테인레스 섬유를 함침시킨 SG 시험편, 스테인레스 섬유를 코어재로 한 SGS 시험편, 유리섬유를 코어재로 한 GSG 시험편의 제작 방법을 나타내었다.



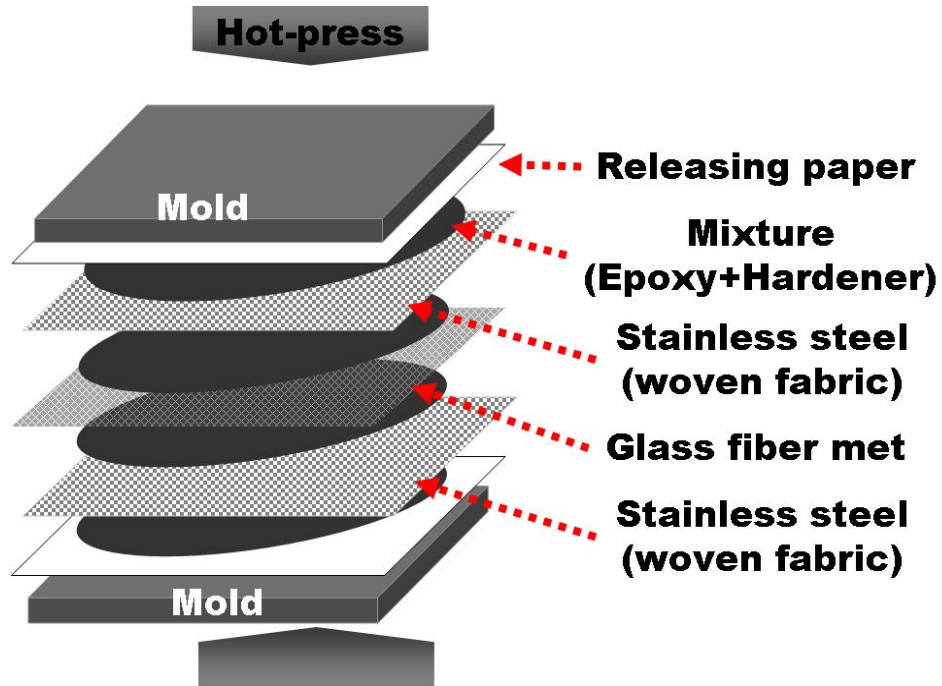
(a) S specimen



(b) SG specimen



(c) GSG specimen



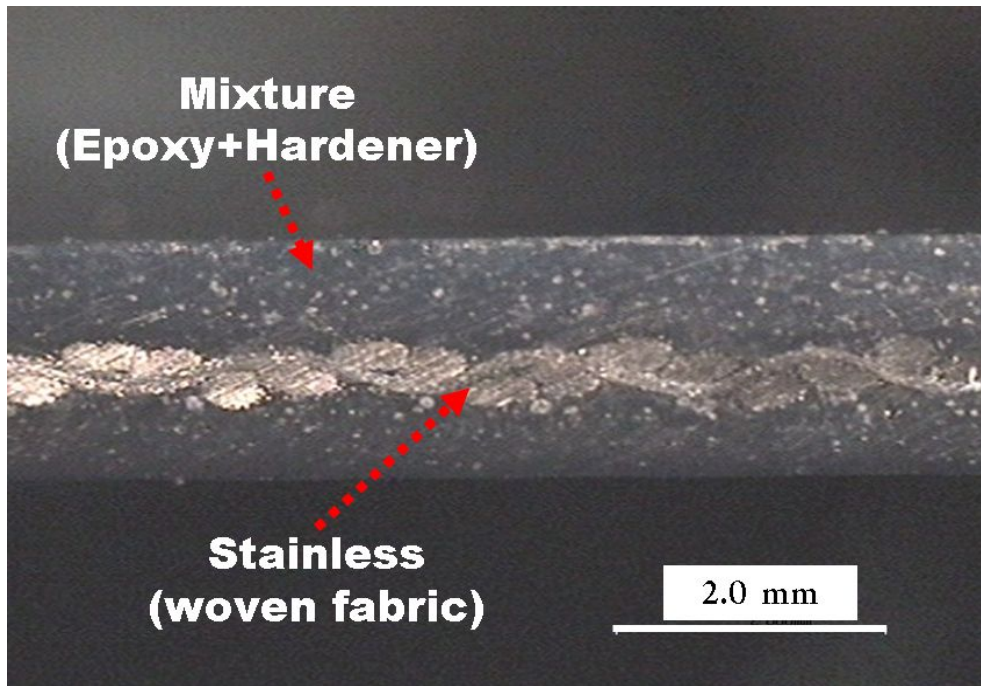
(d) SGS specimen

Fig. 16 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens

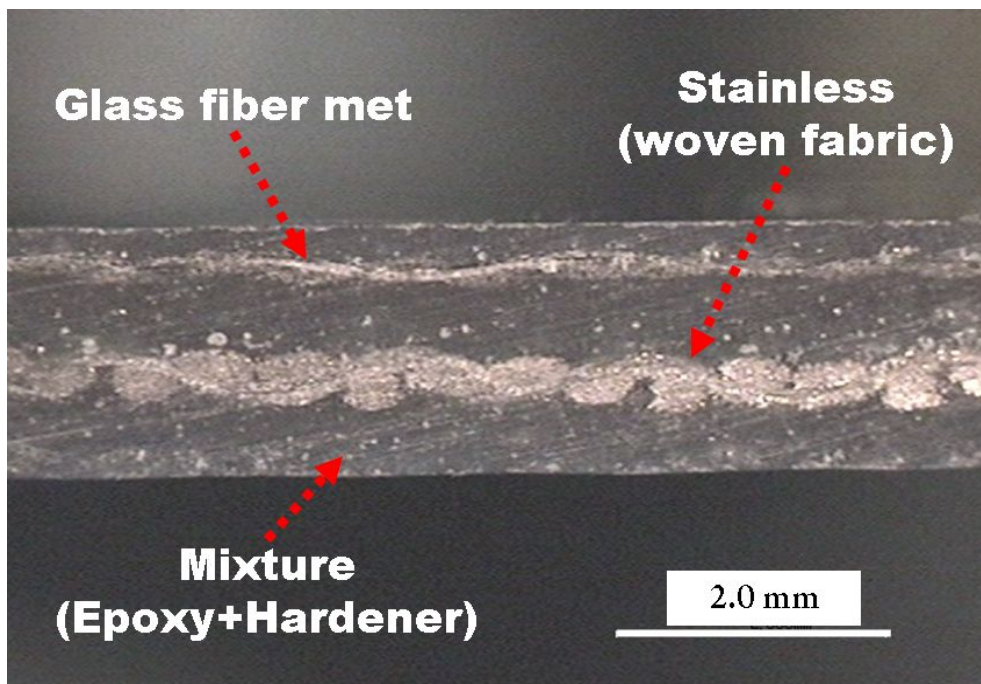
제작된 시험편 판넬의 크기는  $300 \times 300 \times 2$  mm 이며, Fig. 16 과 같이 시험편을 제작하였다. 시험편 제작 시 사용된 적층 재료는 Table 10 과 같다. 시험편의 단면을 관찰하기 위해 다이아몬드 휠 톱을 사용하여 시험편을 절단하였으며, Fig. 17 에 절단한 단면 사진을 도시하였다.

Table 10 Staking materials of specimen

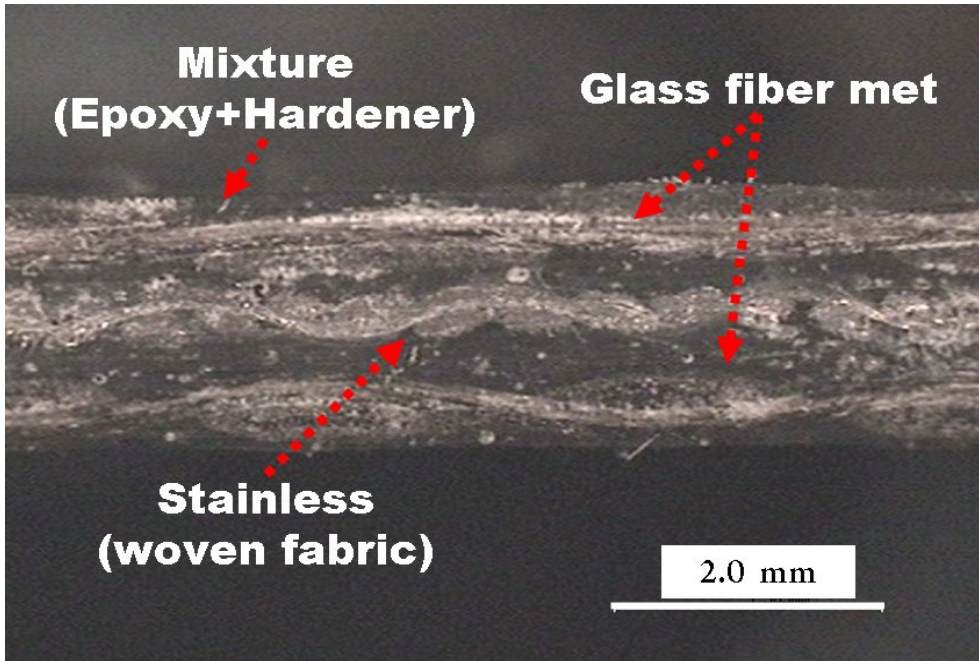
Specimen	Material
S	Stainless fiber mat
SG	Stainless fiber mat / Glass fiber mat
SGS	Stainless fiber mat / Glass fiber mat / Stainless fiber mat
GSG	Glass fiber mat / Stainless fiber mat / Glass fiber mat



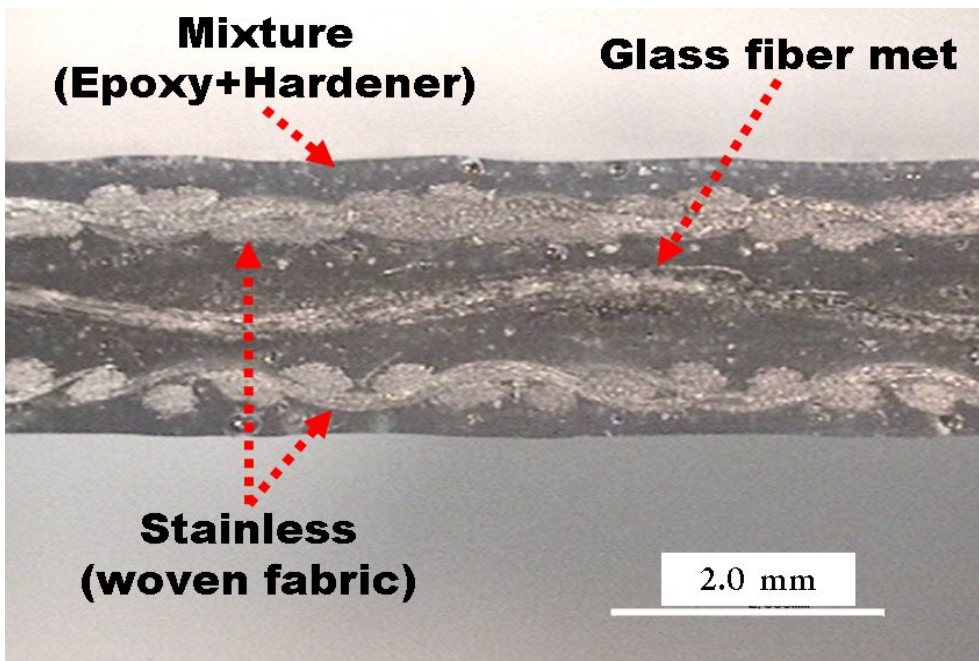
(a) S specimen



(b) SG specimen



(c) GSG specimen



(d) SGS specimen

Fig. 17 Micro-structures in specimens ( $\times 40$ )

## 제 3장. 전자파 차폐효율 측정

### 3.1 전자파 차폐 이론

전형적인 전자파 차폐효과 측정법은 Fig. 18 에 의한 방법에 의해 이루어진다.

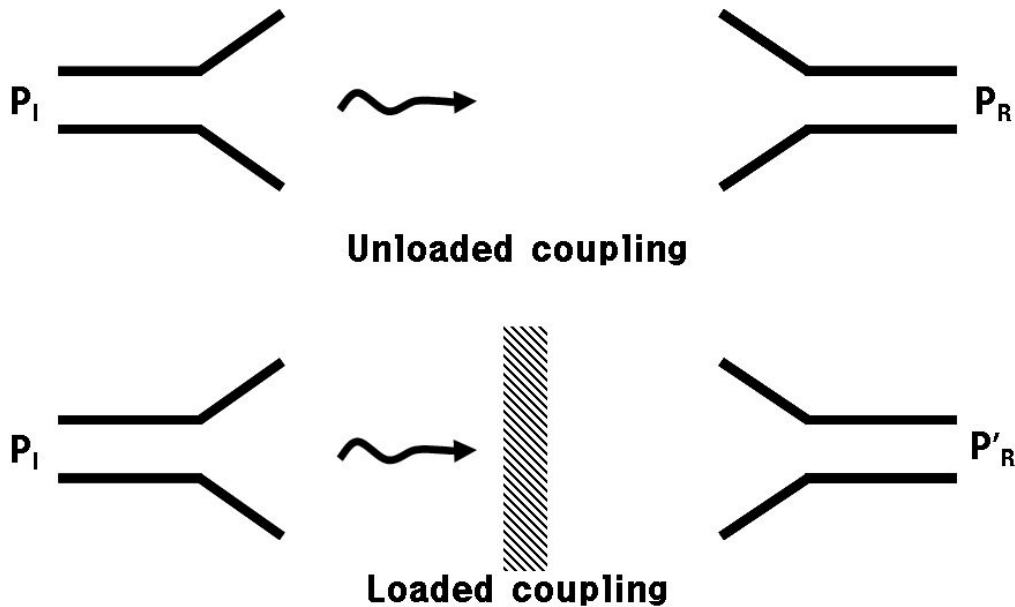


Fig. 18 A typical arrangement for measuring the shielding effectiveness of a material

물질의 전자파 차폐의 정도를 나타내는 전자파 차폐효율 (ElectroMagnetic Shielding Efficiency : EMSE) 은 식 (1) 과 같이 입사 전자파의 세기 ( $P_I$ ) 와 투과 전자파 ( $P_R$ ) 의 세기의 비로 정의되며, Decibel (dB) 을 단위로 쓴다. 여기서  $E_I$  와  $E_T$  는 입사와 투과되는 전기장의 세기이다.

$$EMSE = 10 \log \left( \frac{P_I}{P_R} \right) \text{ (dB)} = 20 \log \frac{E_I}{E_T} \quad (1)$$

전자파가 전자파 차폐재로 입사하면 반사, 흡수, 다중반사를 거쳐 투과하게 되며 반



사나 흡수된 전자파로서 재료의 차폐효율을 확인 할 수 있다.

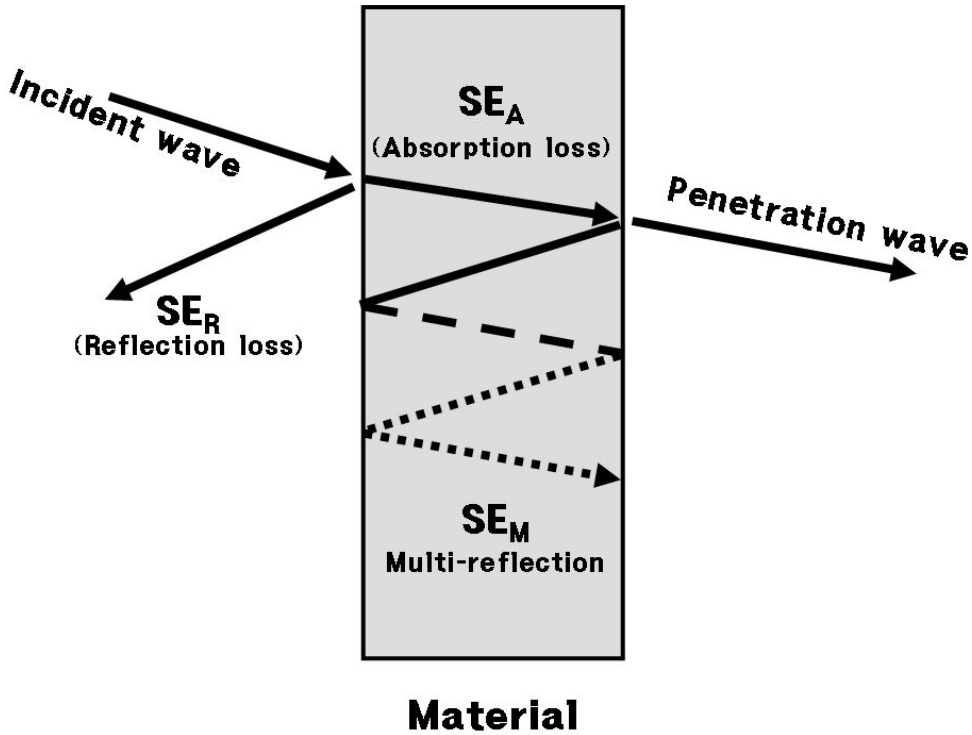


Fig. 19 Schematic of reflection, absorption and multi-reflection of electromagnetic waves

Fig. 19 는 전자파 차폐 원리를 나타낸 것으로 전자파 차폐재의 반사, 흡수, 다중반사 현상을 나타내고 있다.

일반적으로 전자파가 전기적 도체에 도달하게 되면 Fig. 19 에 나타낸 것처럼 일부의 에너지는 반사 및 흡수된다. 따라서 일반적으로 전자파 차폐효율은 아래의 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$EMSE = SE_R + SE_A + SE_M \quad (2)$$

여기서 EMSE 는 전자파 차폐효율, SE<sub>R</sub> 은 차폐재 반사에 의한 손실, SE<sub>A</sub> 는 흡수에 의한 손실, 그리고 SE<sub>M</sub> 은 다중반사보정을 나타낸다.

보통 0 dB ~ 10 dB 은 차폐효과가 거의 없다고 판정되며 10 dB ~ 30 dB 은 최소한의 차폐효과, 30 dB ~ 60 dB 은 평균적인 차폐효과, 60 dB ~ 90 dB 은 평균이상, 90 dB 이상의 차폐효과는 최고 수준의 차폐효과를 나타낸다고 알려져 있다.<sup>32)</sup> 일반적으로 상업적 응용을 위해서는 40 dB 이상, 군사적 응용을 위해서는 80 dB 이상의 전자파 차폐효과가 요구된다.

### 3.2 전자파 측정장치 시스템

전자파 차폐 측정 방법에는 크게 전자파가 시편재료를 통과하여 나오는 전자파의 세기를 직접 측정하는 직접 측정방법, RF (Radio frequency) 임피던스 분석기를 이용하여 각 주파수 대역에서 입사 전자파의 파동 임피던스와 시료의 특성 임피던스를 측정하여 전자기파 차폐효율을 측정하는 간접측정 방법, 시료의 체적비저항을 측정하여 체적비저항과 전자기파 차폐효율의 관계로부터 대략적인 전자기파 차폐효율을 추정할 수 있는 방법이 있다.<sup>1)</sup>

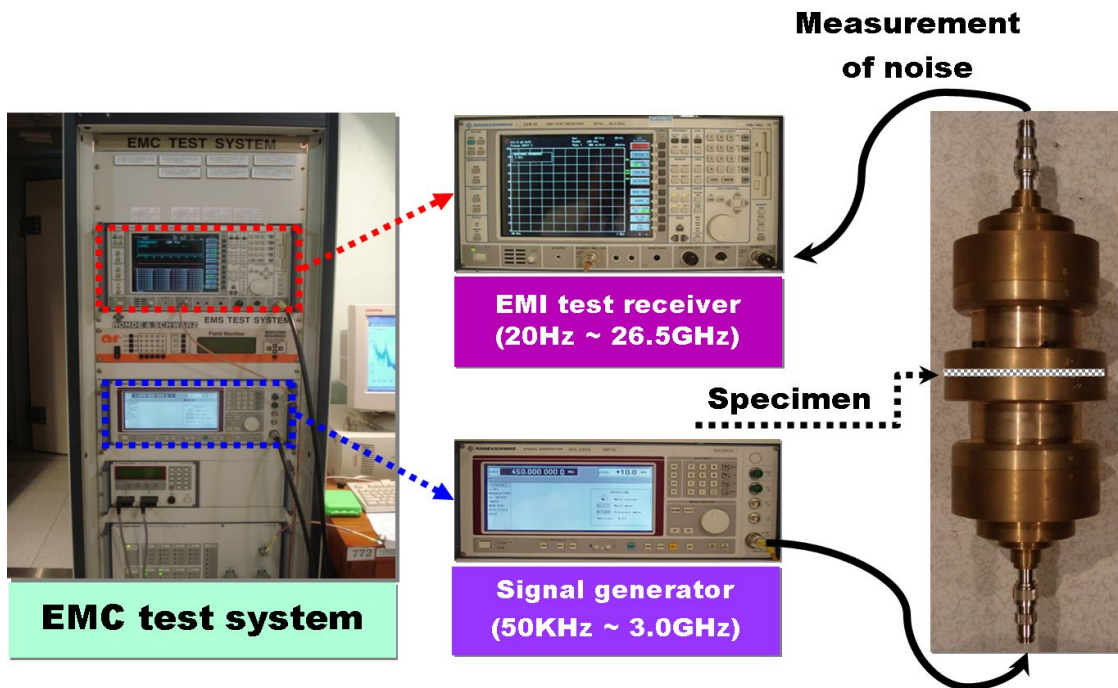


Fig. 20 Experimental set-up electromagnetic compatibility test system

본 연구에서는 직접 측정방법으로 ASTM D4935-89 규격에 따른 전자파 차폐효율 측정하기 위해 전자파 측정 실험장치 시스템 (Electromagnetic compatibility test system) 의 전자파 장애 시험 수신기 (Electromagnetic interference test receiver), 신호 발생기 (Signal generator) 및 플랜지형 동축 전송선 치구를 사용하여 각 시험편의 전자파 차폐효율을 측정하였다. Fig. 20 에 사용된 전자파 측정 실험장치 시스템을 나타내었다.

사용된 전자파 장애 시험 수신기와 신호발생기의 사용 주파수 범위는 각각 20 Hz ~ 26.5 GHz, 50 KHz ~ 3.0 GHz 이다. 제작한 시험편을 Fig. 20 과 같이 플랜지형 동축 전송선 치구의 중앙에 위치시킨 후 전자파 측정장치 시스템의 신호발생기를 이용하여 실험 주파수 범위인 300 MHz ~ 1,500 MHz 까지 주파수를 발생시키고, 시험편이 장착된 플랜지형 동축 전송선 치구를 통과하여 전자파 장애 시험 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 차폐효율 측정하였다. 전자파 차폐 실험은 동일조건에 대하여 각각 3 회씩 측정하였다.

### 3.3 실험결과

#### 3.3.1 GFRP 시험편과 GFRP/Carbon black 시험편의 전자파 차폐 효율 비교

전도성 고분자 재료인 카본블랙이 전자파 차폐효율에 미치는 영향을 알아보기 위하여 유리섬유를 이용한 시험편 (GFRP) 과 GFRP 시험편에 카본블랙을 2.7 wt% 첨가한 시험편 (GFRP/Carbon black) 의 전자파 차폐효율을 측정하였으며, 측정결과는 Fig. 21 과 같이 나타났다. 측정주파수 범위인 300 MHz ~ 1,500 MHz 영역에서 카본블랙을 첨가하지 않은 GFRP 시험편의 차폐효율은 0.02 dB ~ 0.96 dB 이며, GFRP 시험편에 카본블랙을 첨가한 GFRP/Carbon black 시험편의 경우 GFRP 시험편보다 높은 1.0 dB ~ 2.0 dB 의 차폐효율을 나타내었다. 이러한 결과는 GFRP 시험편에 첨가된

전도성 고분자 재료인 카본블랙이 2.7 wt% 중량비 범위 내에서는 전자파 차폐효율에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었다. 전도성 고분자 재료인 카본블랙의 첨가 중량비를 증가 시킬수록 시험편의 전도성이 향상되어 보다 높은 차폐효율 값이 나타날 것으로 사료되나 카본블랙의 첨가 중량비 증가 시 시험편 성형의 어려움이 있음을 시험편 제작 과정을 통해 확인하였다.

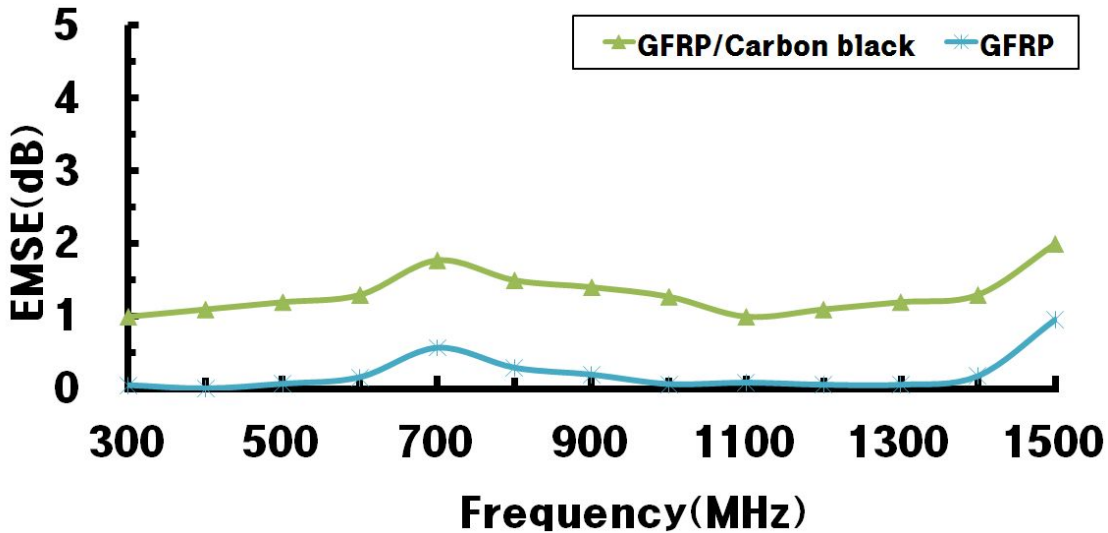


Fig. 21 EMSE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of GFRP and GFRP/Carbon black specimens

### 3.3.2 AG 시험편과 AGS 시험편의 전자파 차폐효율 비교

알루미늄 필름이 시험편 표면에 부착되어 표면재로 작용하였을 때와 양쪽 유리섬유 사이의 코어재로 작용하였을 때의 차폐효율을 알아보기 위하여 GFRP 시험편에 알루미늄 필름을 부착한 시험편 (AG) 과 알루미늄 필름을 코어재로 한 GFRP 샌드위치 시험편 (AGS) 의 전자파 차폐효율을 비교하였다. 그 결과 Fig 22 와 같이 AG 시험편은 측정주파수 영역인 300 MHz ~ 1,500 MHz 에서 51 dB ~ 74 dB 의 높은 차폐효율을 나타낸 반면, AGS 시험편은 300 MHz 주파수 영역에서 차폐효과를 거의 가지고 있지 않았으나 측정 주파수가 증가하면서 차폐효율 또한 점차 증가하여 약 600 MHz 에서는 60 dB 정도의 전자파 차폐효율 값을 가지는 특성을 확인하였다.

차폐효율 측정 결과 300 MHz ~ 600 MHz 의 주파수 대역에서는 AG 시험편의 차폐효율이 AGS 시험편에 비해 높게 나타났으며 특히 300 MHz 에서 약 50 dB 정도 높게 나타났다. 이후 700 MHz ~ 900 MHz 주파수 범위에서는 거의 동일한 차폐효율을 나타내었다.

1.0 GHz ~ 1.2 GHz 에서는 다시 AG 시험편의 차폐효율이 AGS 시험편의 차폐효율보다 높게 나타났으며, 1.1 GHz 에서는 약 30 dB 정도 높게 나타났다. 대부분 AGS 시험편보다 AG 시험편의 경우가 300 MHz ~ 1,500 MHz 주파수 범위에서 우수한 차폐효율을 보였다. 이러한 결과는 금속재료인 알루미늄 필름은 전자파 흡수에 의한 차폐효율 보다는 반사에 의한 차폐효율이 우수하기 때문에 알루미늄 필름을 코어재가 아닌 표면재로 사용한 경우가 더욱 우수한 차폐효율이 나타난 것으로 판단된다.

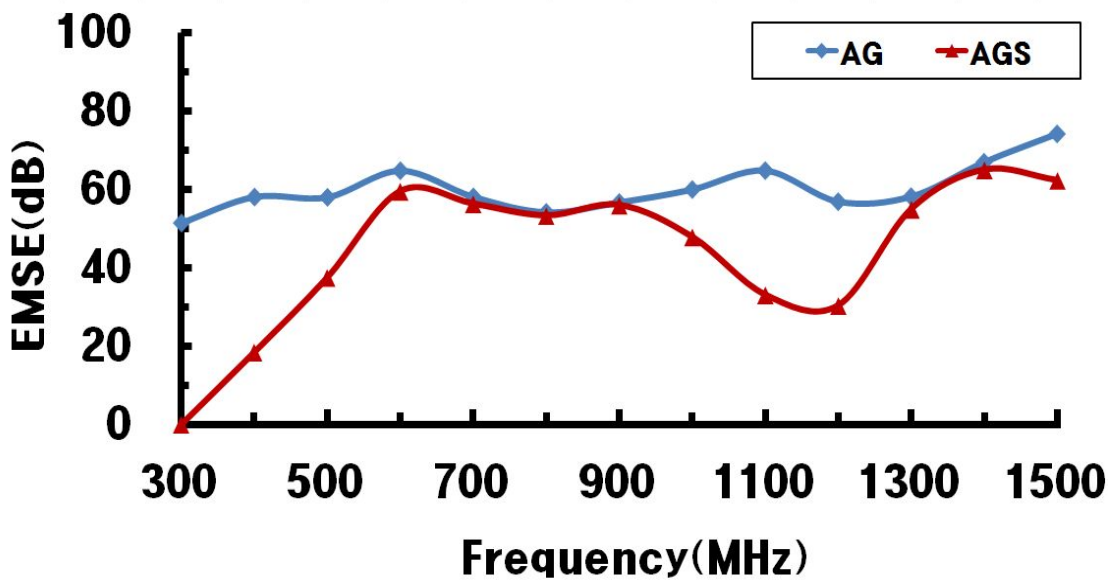


Fig. 22 EMSE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of AG and AGS specimens

### 3.3.3 FCG 시험편과 GCG 시험편의 전자파 차폐효율 비교

금속의 메쉬 형태에 따른 전자파 차폐효율을 측정하기 위하여 고 개구율 구리 메쉬를 이용한 시험편 (FCG) 과 범용 개구율 구리 메쉬를 이용한 시험편 (GCG) 을 제작

하여 차폐효율은 측정하였다. 측정결과 Fig. 23 과 같이 두 시험편 모두 300 MHz 주파수 영역에서부터 600 MHz 주파수 영역까지 차폐효율 값이 증가하는 특성을 나타내었으며 300 MHz ~ 1,500 MHz 주파수 영역에서 거의 유사한 패턴의 전자파 차폐효율 특성을 나타내었다.

300 MHz 주파수 영역에서 FCG 시험편이 GCG 시험편보다 14 dB 정도 높은 차폐효율을 보였으나 400 MHz ~ 800 MHz 주파수 영역에서는 0.3 dB ~ 3 dB 정도 차이로 거의 동일한 차폐효율은 나타내었다. 900 MHz ~ 1,500 MHz 주파수 영역에서는 FCG 시험편이 GCG 시험편 보다 3 dB ~ 12 dB 정도 높은 차폐효율을 나타냈었다. 이는 GCG 시험편의 구리 메쉬의 간격이 FCG 시험편의 구리 메쉬 간격보다 넓기 때문에 입사하는 전자파가 반사되지 않고 구리 메쉬 사이로 투과되기 때문에 나타나는 결과로 생각된다.

특히, FCG 시험편의 경우 1.5 GHz 주파수 영역에서 가장 높은 71 dB 정도의 차폐효율을 나타냈으며, GCG 시험편의 경우 600 MHz 주파수 영역에서 가장 높은 64 dB 정도의 차폐효율을 보였다.

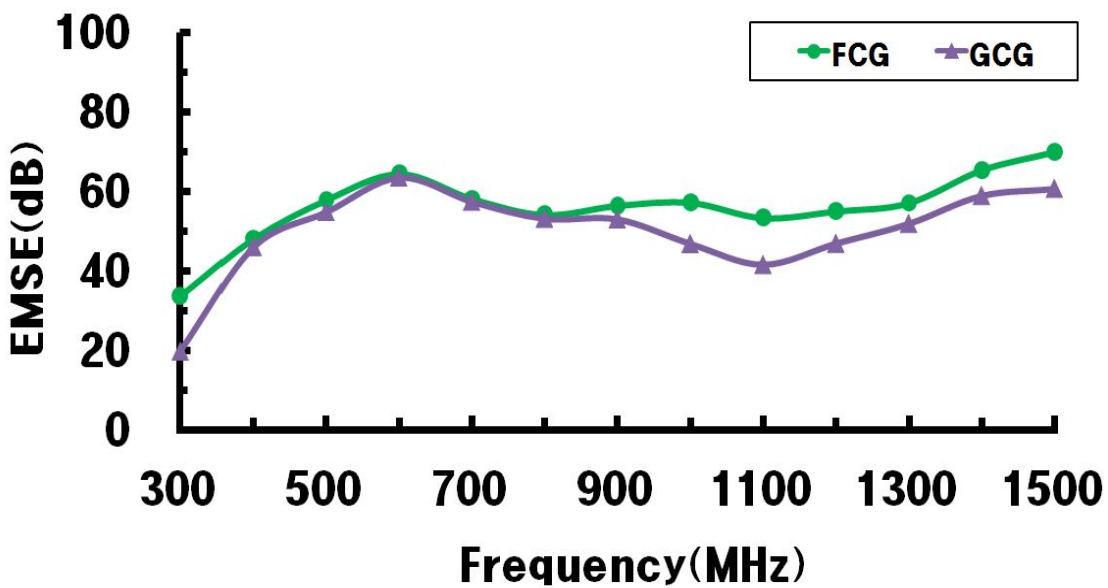


Fig. 23 EMSE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of FCG and GCG specimens

### 3.3.4 S 시험편과 SG 시험편의 전자파 차폐효율 비교

스테인레스 섬유와 유리섬유를 에폭시와 경화제로 이루어진 혼합물에 함침시킨 시험편의 차폐효율을 확인하기 위하여 스테인레스 직조 섬유에 에폭시와 경화제를 섞은 혼합물을 함침시킨 시험편 (S) 과 스테인레스 직조 섬유와 유리 섬유를 혼합물에 함침시킨 시험편 (SG) 의 차폐효율 측정 결과 값을 비교하였다. 두 시험편의 전자파 차폐효율 측정결과 Fig. 24 와 같이 S 시험편이 SG 시험편보다 300 MHz ~ 700MHz, 1.0 GHz ~ 1.1 GHz 주파수 영역에서는 2 dB ~ 6 dB 정도 높은 차폐효율을 나타내었다. 하지만 800 MHz ~ 900 MHz 주파수 영역에서는 SG 시험편의 차폐효율이 S 시험편보다 2 dB ~ 3 dB 정도 높은 차폐 효율을 보였다. 전체적으로 S 시험편과 SG 시험편의 차폐효율 값이 유사하게 나타났다. 이 결과 스테인레스 섬유를 이용한 시험편의 경우 유리섬유를 함께 함침시켜도 전자파 차폐효율이 향상되지 않음을 확인 할 수 있었다. 이는 유리섬유의 비전도성 특성에 기인한 것으로 사료된다.

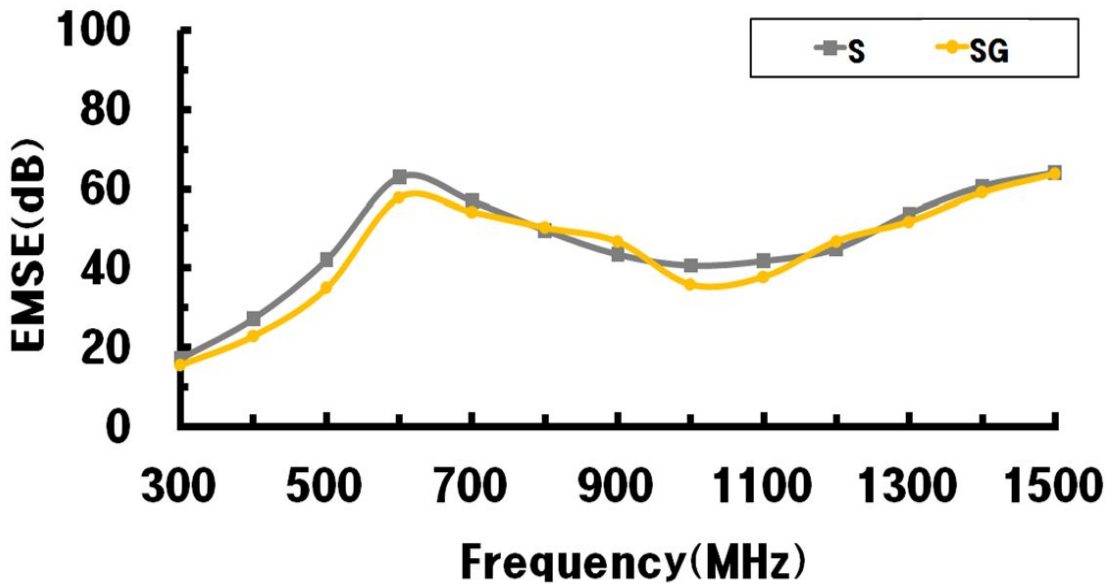


Fig. 24 EMSE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of S and SG specimens

### 3.3.5 SGS 시험편과 GSG 시험편의 전자파 차폐효율 비교

유리섬유를 코어재로 제작한 샌드위치 시험편 (SGS) 과 스테인레스섬유를 코어재로 제작한 샌드위치 시험편 (GSG) 의 차폐효율을 비교하기 위하여, SGS 시험편과 GSG 시험편의 전자파 차폐효율을 측정하였다. 측정결과 Fig. 25와 같이 300 MHz ~ 1,500 MHz 주파수 범위에서 SGS 시험편은 33 dB ~ 80 dB, GSG 시험편은 15 dB ~ 65 dB의 차폐효율을 보였으며, 측정 주파수 영역에서 SGS 시험편이 GSG 시험편 보다 8 dB ~ 24 dB 정도 높은 차폐효율을 보였다. 이 결과를 통해 샌드위치 시험편의 경우 스테인레스 섬유를 코어재로 하기 보다는 유리섬유를 코어재로 하여 제작할 때 더 높은 차폐효율 값을 나타냄을 확인하였다. 특히 900 MHz ~ 1,100 MHz 에서는 21 dB ~ 25 dB 정도의 많은 차이를 나타내었다.

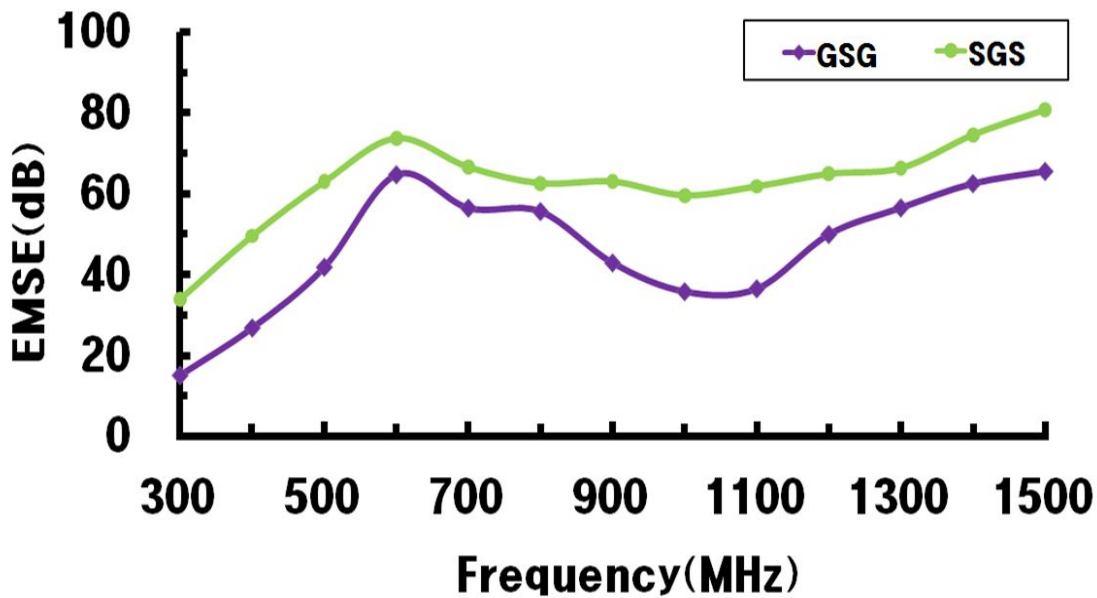


Fig. 25 EMSE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of GSG and SGS specimens



### 3.3.6 S, SG, GSG 시험편의 전자파 차폐효율 비교

시험편 제작 시 유리섬유 증가에 따른 전자파 차폐효율을 알아보기 위해 Fig. 26 에 S 시험편, SG 시험편, GSG 시험편의 전자파 차폐효율을 비교하였다. 전자파 차폐효율의 비교 결과 300 MHz ~ 1,500 MHz 주파수 범위에서 시험편 모두 유사한 차폐효율을 나타내었다. 이 결과를 통해 유리섬유보다는 스테인레스 직조 섬유가 전자파 차폐 효율 값에 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 또한 스테인레스 섬유를 이용하여 제작한 S, SG, GSG 시험편 모두 300 MHz 주파수 측정 영역에서부터 600 MHz 까지 점차적으로 차폐효율이 증가하고 다시 1.0 GHz 주파수 영역까지는 감소하였다가 이후 1.5 GHz 주파수 영역까지 증가하는 특성을 확인하였다.

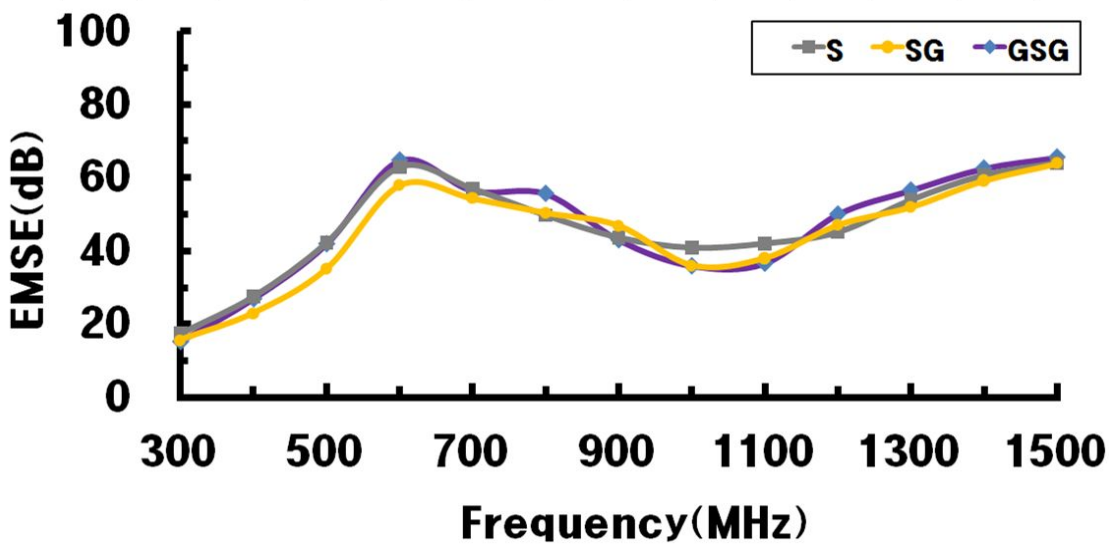


Fig. 26 EMSE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of S, SG and GSG specimens

### 3.3.7 차폐효율 측정 결과

Table 11 에 유리섬유와 스테인레스섬유를 이용한 전자파 차폐 시험편의 전자파 차폐효율 측정값을 나타내었다. 제작된 시험편의 차폐효율 측정값의 경우 300 MHz ~

400 MHz 주파수 영역에서 시험편 모두 가장 낮은 차폐효율 값을 나타내었으며, GCG 시험편을 제외한 시험편 모두 1.4 GHz ~ 1.5 GHz 주파수 영역에서 가장 높은 차폐효율 값을 나타내었다. 이러한 차폐효율 측정값을 통해 본 논문에서 유리섬유와 스테인레스섬유를 이용해 제작한 시험편의 경우 300 MHz ~ 400 MHz 주파수 영역에서 차폐효율 값이 가장 낮으며, 1.4 GHz~1.5 GHz 주파수 영역에서 가장 높은 차폐효율 값을 갖는 특성을 확인 할 수 있었다.

특히, 300 MHz ~ 400 MHz 주파수 영역에서 AG 시험편은 300 MHz 주파수 영역에서 시험편 중에서 최소 차폐효율 값이 51.60 dB 로 가장 높은 값을 나타내었으며, SGS 시험편은 1.5 GHz 주파수 영역에서 측정 시험편 중 가장 높은 80.86 dB 의 차폐효율 값을 나타냄으로서 1.5 GHz 주파수를 발생시키는 발생원 주변에 전자파 차폐 재료로 사용될 경우 우수한 차폐효율을 나타낼 것으로 사료된다.

Table 11 EMSE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of specimens

Specimen	Minimum		Maximum	
	EMSE (dB)	Frequency (MHz)	EMSE (dB)	Frequency (MHz)
GFRP	0.02	400	0.96	1,500
GFRP/Carbon black	1.00	300	2.00	1,500
AG	51.60	300	74.24	1,500
AGS	0.02	300	65.03	1,400
FCG	33.82	300	70.07	1,500
GCG	19.84	300	63.68	600
S	17.36	300	64.16	1,500
SG	15.79	300	63.88	1,500
SGS	33.95	300	80.86	1,500
GSG	15.27	300	65.55	1,500

## 제 4장 전자파 차폐 시험편의 기계적 성질

### 4.1 인장시험 방법

전자파 차폐용으로 제작된 금속 섬유강화 복합재료의 기계적 성질을 알아보기 위해 인장 시험을 실시하였다. 시험편은 ASTM D 3039 규격<sup>31)</sup>을 참고하여 Fig. 27 과 같은 치수와 형상으로 제작하였다. 인장시험기 (Tension tester) 는 Fig. 28 과 같은 R 회사의 Unitech - M 장비를 사용하였다.

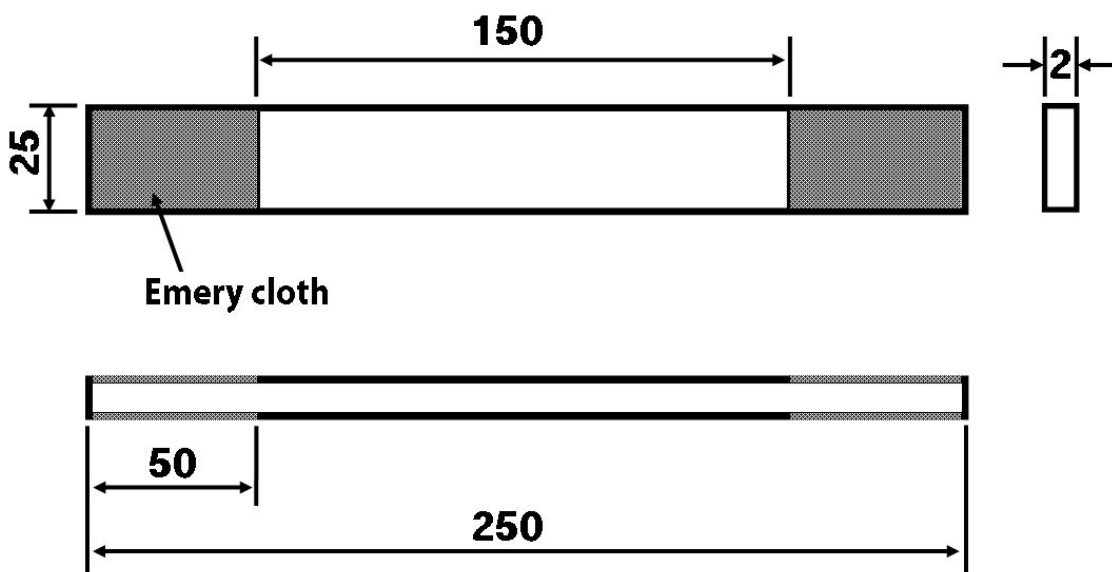


Fig. 27 Design of specimen for tensile test

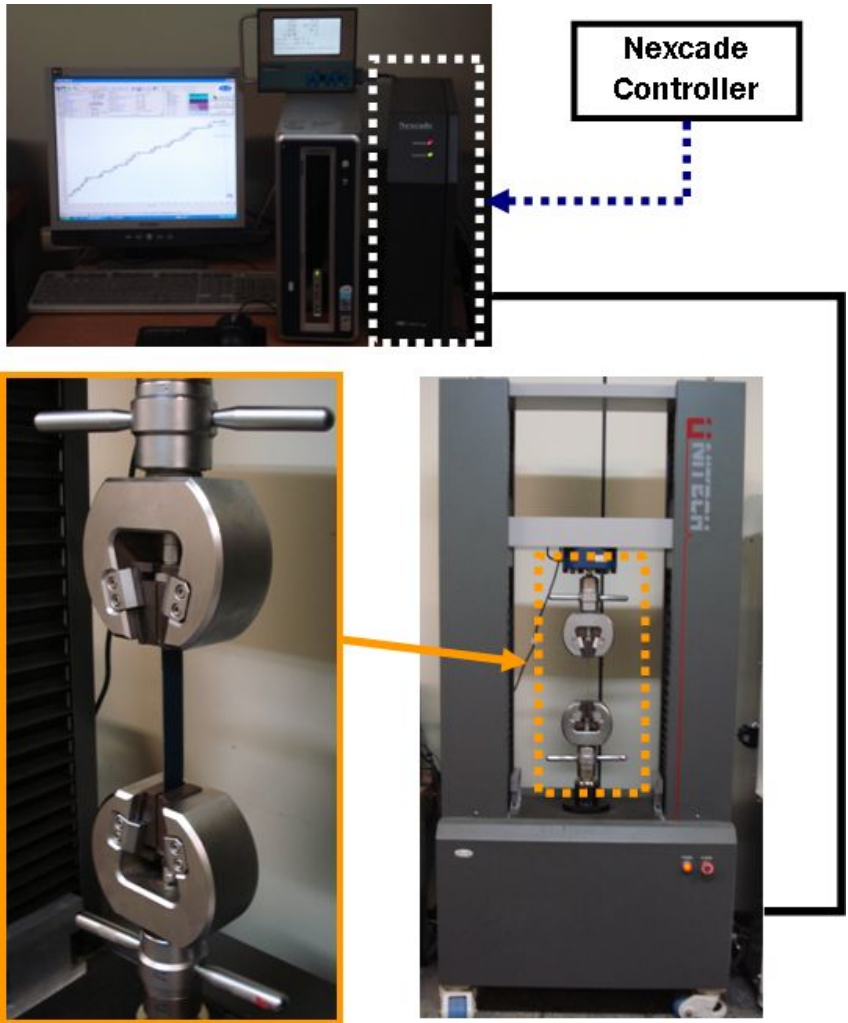


Fig. 28 Set-up for tensile test of specimens

## 4.2 인장시험 결과

전자파 차폐용으로 제작된 금속 섬유강화 복합재료의 보통 (Normal) 시험편의 인장시험 결과는 Fig. 29 와 Table 12 에 나타내었다.

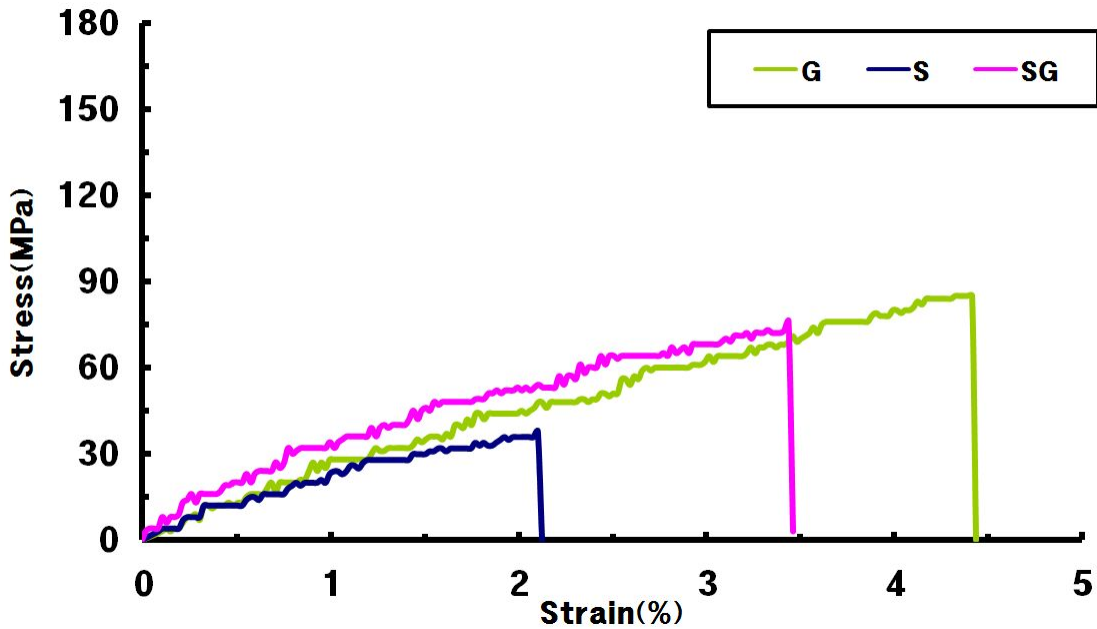


Fig. 29 Stress-strain relationships for normal specimens

Table 9 Results of tensile test (normal specimens)

Type	Specimen	Tensile strength (MPa)	Max. Strain (%)	Young's Modulus (GPa)
Normal	S	38.04	2.13	1.55
	G	85.10	4.44	1.81
	SG	76.11	3.46	1.65

보통 시험편의 인장시험 결과 유리섬유를 보강재로 제작한 G 시험편의 인장강도와 변형율이 각각 85.10 MPa 과 4.44 % 의 수치를 보였으며, 스테인레스 섬유를 보강재로 한 S 시험편의 경우 인장강도와 변형율 값이 38.04 MPa 와 2.13 % 의 수치를 보였다. 유리섬유와 스테인레스 섬유가 포함된 SG 시험편의 인장강도와 변형율 값의 경우 76.11 MPa 과 3.46 % 로 나타났다.

Fig. 30 과 Table 13 은 전자파 차폐용으로 제작 된 샌드위치 (Sandwich) 금속섬유 강화 복합재료 시험편의 인장시험 결과이다.

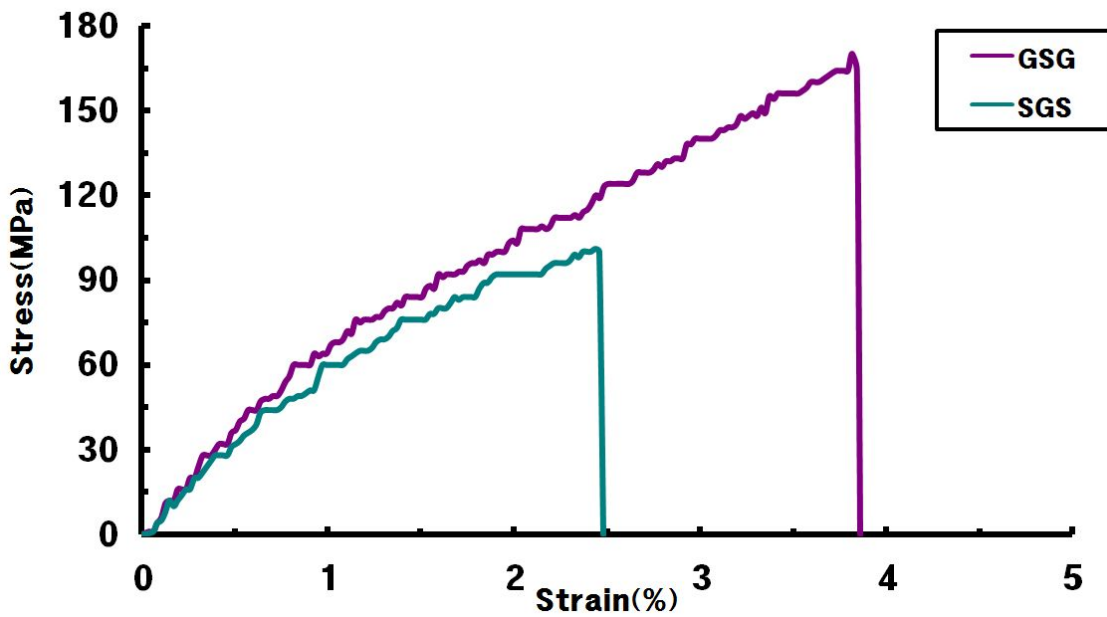


Fig. 30 Stress-strain relationships for sandwich specimens

Table 10 Results of tensile test (sandwich specimens)

Type	Specimen	Tensile strength (MPa)	Max. Strain (%)	Young's Modulus (GPa)
Sandwich	GSG	170.23	3.86	3.88
	SGS	101.14	2.48	3.76

샌드위치 시험편의 인장시험 결과 스테인레스 섬유를 코어재로 제작한 GSG 시험편의 인장강도와 변형율이 각각 170.23 MPa 과 3.86 % 로 나타났으며, 유리섬유를 코어재로 한 SGS 시험편의 경우 인장강도와 변형율 값이 101.14 MPa 와 2.48 % 로 나타났다.

## 제 5장. 결론

본 연구에서는 전자파 차폐재료 개발을 목적으로 유리섬유를 이용하여 Table 8, Table 10 과 같은 시험편을 제작하여 300 MHz~1,500 MHz 주파수 영역에 대한 전자파 차폐효율을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) GFRP 시험편에 카본블랙을 혼입한 경우 카본블랙의 함량이 2.7 wt% 이하에서는 차폐효과가 거의 없음을 알 수 있었다.

(2) AG 시험편은 측정주파수 영역에서 51 dB ~ 74 dB 의 고른 차폐효율을 나타내는 반면 AGS 시험편은 300 MHz 주파수 영역에서는 차폐 효율이 낮았으나 점차적으로 증가하여 600 MHz 에서는 60 dB 정도의 차폐효율을 나타냄을 확인하였다

(3) FCG 시험편과 GCG 시험편은 전자파 차폐효율 측정 주파수가 변함에 따라 유사한 차폐효율 경향을 나타내었으나 FCG 시험편이 GCG 시험편에 비해 상대적으로 높은 차폐효율을 보였다.

(4) S, SG, SGS, GSG 시험편의 전자파 차폐효율 측정을 통해 유리섬유를 코어재료로 한 스테인레스 샌드위치 시험편인 SGS 시험편의 차폐효율이 가장 뛰어남을 알 수 있었으며, 이 실험결과 유리섬유보다는 스테인레스 직조 섬유가 전자파 차폐효율 값에 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

본 연구를 통하여 금속매쉬 / 섬유강화 복합재료의 전자파 차폐효율 특성을 확인할 수 있었다. 복합재료의 전자파 차폐효율의 경우 사용된 재료와 특성에 따라 다양한 차폐효율 값을 나타내며 실험을 통하여 실질적인 재료의 전자파 차폐효율을 확인할 수 있다. 향후 더욱더 다양하고 우수한 전자파 차폐재료 개발을 위한 추가적인 연구가 필요하고 생각된다.



## REFERENCE

1. 변성원, 박재기, 김기영, “레이더 위장용 전자파 차폐 섬유소재”, *Fiber Technology and industry*, Vol. 10, pp. 33-50, 2006
2. Frank S. Barnes, Ben Greenebaum, "Biological and medical aspects of electromagnetic fields", Boca Raton: CRC Press, 2007
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. Charles Polk, Elliot Postow, "Handbook of biological effects of electromagnetic fields", Boca Raton, FL : CRC Press, 1995.
5. 김덕원, “전자파공해”, 수문사, P 1, 1996
6. 이준영, 주진수, “전자파차폐 섬유소재”, *섬유기술과 산업*, Vol 7, No 1, pp 28, 2003
7. Kang, P.G., “S&T Information Analysis”, KISTL, pp. 3, 2003
8. Ki-Yeon Park, Sang-Eui Lee, Chun-Gon Kim, Jae-Hung Han, "Fabrication and electromagnetic characteristics of electromagnetic wave absorbing sandwich structures", *Composites Science and Technology*, Vol. 66, pp. 576-584, 2006
9. Ki Yeon Park, Sang Eui Lee, Won Jun Lee, Chun Gon Kim, Jae Hung Han, "The Application of Fiber-Reinforced Composites to Electromagnetic Wave Shielding Enclosures", *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 19, No. 3, pp. 1-6, 2006
10. Ki-Yeon Park, Sang-Eui Lee, Chun-Gon Kim, Jae-Hung Ha, "Application of MWNT-added glass fabric/epoxy composites to electromagnetic wave shielding enclosures", *Composite Structures*, Vol. 81, No. 3, pp. 401-406, 2007
11. Hwan-Bho Shim, Min-Kang Seo, Soo-Jin Park, "Electromagnetic Interference Shielding of Carbon Fibers-Reinforced Composites" *Polymer(Korea)*, Vol. 24, pp. 860-868, 2000
12. 유영중, 장삼규, 차상윤, “電磁波 遮蔽能 向上을 위한 鋼板코팅에 관한 研究”, 한국표면공학회 춘계 학술발표회 논문초록집, pp. 83-83, 1998
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
  17. Xiangcheng Luo, Chung D. D. L. "Electromagnetic interference shielding using continuous carbon-fiber, carbon-matrix and polymer-matrix composites," Composites part B : Engineering, Vol. 30, pp. 227-231, 1999
  18. 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.
  19. 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
  20. 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
  21. 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
  22. Jung, P. B., Mallick, A. K. and Won, M. S., "Comparison of Electromagnetic-Wave Shielding Effect in Glass Fiber Reinforced Nano Composites," J. of the KSPE, Vol. 22, No. 10, pp. 121-128, 2005
  23. Jeong Min Park, Byung Woo Kim, Sung Hoon Jeong, Suk Kyu Song, "A Study on the Electromagnetic Properties of PC / ABS Resin Filled with Stainless Steel Fiber ( SSF )" Journal of the Korean Fiber Society, Vol.35, pp. 1225-1089, 1998
  24. Christopher J., von Klemperer, Denver Maharaj, "Composite electromagnetic interference shielding materials for aerospace applications", Composite Structures,

Vol. 91, pp. 467-472, 2009

25. 정연춘, 강태원, 정낙삼, “전자파차폐현상과 측정시스템의 구현“, 한국전자과학회, Vol. 4, pp. 45-53, 1993
26. C. Y. Lee, D. E. Lee, J. Joo, M. S. Kim, J. Y. Lee, S. H. Jeong, S. W. Byun, “Conductivity and EMI shielding efficiency of polypyrrole and metal compounds coated on (non) woven fabrics”, Synthetic Metals, Vol. 119, pp. 429-430, 2001
27. Y. Huh, I. S. Kim, Y. N. Paik, “Experimental Analysis of the Shielding Mechanism of Stainless Steel Woven Fabrics”, Textile Science and Engineering, Vol. 42, pp. 54-59, 2005
28. K. B. Cheng, S. Ramakrishna, K. C. Lee, “Electromagnetic shielding effectiveness of copper/glass fiber knitted fabric reinforced polypropylene composites”, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 31, pp. 1039-1045, 2000
29. Ju-Tae Park, Jae-Sung Park, Young-Soo Do, “Fabrication and Characteristics of Shielding Effects for the Complex Conductive Filler”, 電子工學會論文誌, Vol. 43, pp. 334-339, 2006
30. Woo Kyun Jung, Sung Hoon Ahn, Myung Sik Won, “Comparison of Electromagnetic-wave Shielding Effect in Glass Fiber Reinforced Nano Composites”, Jurnal of the Korea Society of Precision Engineering, Vol. 22, pp. 121-128, 2005
31. Sang-Eui Lee, Won-Jun Lee, Chun-Gon Kim, “A Study on Tensile Properties of Multi-Walled Carbon Nanotube/Epoxy Composites”, Journal of the Korean Society for Composite Materials, Vol. 17, pp.1-7, 2004
32. J. N. Baucom, M. A. Zikry, “Low-velocity impact damage progression in Woven E-glass composite systems”, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, pp. 1-7, 2004
33. Hyun Sae Shin, Jun Sik Son, Young Sang Kim, Jin Soo Jeong, “Electromagnetic Shielding Effectiveness of Melt-blown Nonwoven Fabric with Width and Interval of Thin Copper Film”, Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers, Vol. 16, pp. 42-47, 2004
34. ASTM “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials” D-3039-00, 2002

## 감사의 글

무엇하나 아는 것 없이 대학원 실험실에 들어와 ‘실험실 막내입니다. 잘 부탁드립니다!’ 라고 하던 때가 엇그제 같은데 벌써 2년이 훌쩍 넘어 졸업이라는 대학원 생활의 마지막을 향해 가고 있습니다. 그 동안 실험실에서 웃고 울고 힘들어하며 지내왔던 모든 것들이 너무나도 값진 추억이 되었습니다.

부족한 저를 위해 항상 격려해주시고 정성으로 지도해주신 지도교수님이자 든든한 후원자이신 한길영 교수님과 보다 넓은 시야를 가지도록 많은 조언과 가르침을 주신 안동규 교수님께 깊은 감사의 말씀을 드리고 싶습니다. 또한 적극적인 지도와 아낌없는 격려를 해주신 김종관 교수님께 감사의 말씀 올립니다.

실험실에 들어와 선후배 자리에서 처음 만나 많은 조언과 좋은 말씀을 해주신 실험실의 대선배이신 상훈이 형과 민수 형 그리고 FRP 실험실의 직계 선배인 진석이 형, 같이 FRP 실험실에서 생활하며 많은 걱정과 관심을 가져주신 경제 형, 처음으로 해석 프로그램을 알려준 경원이 형, 지금은 일본에서 열심히 공부하고 있을 미래의 박사 광운이 형, 춤 잘 추는 대원이 형, 하나를 물어보면 열을 알려주던 현우 형, 동고동락했던 동기인 경흠이와 승화, 실험실의 활력소인 세훈이와 민우, 뭐든지 맛있게 먹는 창규, 실험실 막내 향선이, 이 모든 분들에게 감사의 말씀 올립니다.

엄하면서도 다정하신 병희 형, 실험과 더불어 많은 격려와 조언을 해주신 호준이 형, 옆 실험실에 계시면서 많은 관심을 가져주신 승철이 형과 광호 형, 만나면 항상 웃어주시는 1층의 미애 누나, 6개월 동안 학과실에서 같이 동고동락했던 승원이 형과 성빈이, 고향 선배이자 많은 조언을 해준 진현이 형, 학과실 사수이자 많은 도움을 주었던 관웅이 형, 마을 형 같은 마음씨 좋은 주홍이 형과 재경이 형, 다른 실험실 동기인 키 큰 재상이와 인성이 처음에는 못 알아봤던 고등학교 후배 득현이, FMS 건물의 현철이 형과 재원이 형, 이외 기계공학과 대학원 일원 모두에게 진심으로 감사드립니다.

실험하면서 많은 지도와 도움을 주신 박재현 소장님과 중소기업청의 서정남 선생님, 오토폼사의 김병식 차장님, 이시화 차장님, 노지훈 과장님과 나라씨, 학과업무에 많은 도움을 주신 이기복 선생님, 이연탁 선생님, 이경노 선생님, 유연옥 선생님께 진심으로 감사드립니다.

마지막으로 지금의 제가 있기까지 가장 큰 힘이 되어준 할아버지, 할머니, 아버지, 어머니, 누나, 마이프랜드 진용이 그리고 저에게 관심과 애정을 가져주신 모든 분들께 감사드립니다.

2009년 12월

송 동 한