



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

2013년 2월
석사학위논문

하이브리드 도전성 필러를 이용한
섬유강화 복합재료의 전자파 차폐
효과에 관한 연구

조선대학교 대학원

기계공학과

최 명 일

하이브리드 도전성 필러를
이용한 섬유강화 복합재료의
전자파 차폐 효과에 관한
연구

A Study on Electromagnetic Interference
Shielding Effectiveness of Fiber Reinforced
Composite with Hybrid Conductive Filler

2013 년 2 월 25일

조 선 대 학 교 대 학 원

기계공학과

최 명 일

하이브리드 도전성 필러를
이용한 섬유강화 복합재료의
전자파 차폐효과에 관한 연구

지도교수 한 길 영

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로
제출함.

2012 년 10 월

조 선 대 학 교 대 학 원

기계공학과

최 명 일

최명일의 석사학위 논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 조규재

위원 조선대학교 교수 이행남

위원 조선대학교 교수 한길영

2012 년 11월

조선대학교 대학원

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 | 5 |
| 제 2 장 이론적 고찰 | 7 |
| 2.1 전자파란 | 7 |
| 2.2 전자파의 특성 | 9 |
| 2.3 전자파 차폐이론 | 11 |
| 2.4 전자파 차폐효율 측정 방법 | 14 |
| 2.5 전자파 차폐효율 측정 장비 | 15 |
| 2.6 카본블랙의 도전성 | 19 |
| 제 3 장 시험편 제작 | 20 |
| 3.1 카본블랙 복합재료의 제작 | 20 |
| 3.1.1 시험편 재료 | 20 |
| 3.1.2 카본블랙페이스트 시험편 제작 | 21 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2 섬유강화 복합재료의 제작 방법 | 26 |
| 3.2.1 시험편 재료 | 26 |
| 3.2.2 섬유강화 복합재료 시험편 제작 | 27 |
| | |
| 제 4 장 실험 결과 및 고찰 | 32 |
| 4.1 카본블랙 함량에 따른 전자파 차폐효율 | 32 |
| 4.2 카본블랙페이스트 희석비에 따른 전자파 차폐효율 | 33 |
| 4.3 카본블랙페이스트 시험편 적층에 의한 전자파 차폐효율 | 37 |
| 4.4 CFRP와 CFRPS 시험편의 전자파 차폐효율 | 38 |
| 4.5 CC와 CCS 시험편의 전자파 차폐효율 | 40 |
| 4.6 AC와 ACS 시험편의 전자파 차폐효율 | 41 |
| 4.7 전자파 차폐효율 실험 결과 | 43 |
| | |
| 제 5 장 결론 | 47 |
| | |
| REFERENCES | 48 |

감사의 글

LIST OF TABLES

| | |
|--|----|
| Table 1 Resistance and frequency for shielding efficiency | 14 |
| Table 2 Typical properties of Carbon black | 19 |
| Table 3 The Typical Properties of Dispersants | 19 |
| Table 4 Typical properties of binder resin | 20 |
| Table 5 Typical properties of PET film | 20 |
| Table 6 Specification of direct driven digital stirrer | 22 |
| Table 7 Specification of heating mantle | 22 |
| Table 8 Specification of Spray gun | 23 |
| Table 9 Staking materials of specimen | 23 |
| Table 10 Typical properties of Carbon fiber mat | 24 |
| Table 11 Typical properties of Aluminum film | 24 |
| Table 12 Typical properties of Copper film | 24 |
| Table 13 Staking materials of specimen | 25 |
| Table 14 EMSE as a function of frequency measured in the 300 MHz ~ 1,500 MHz range of specimens | 37 |

LIST OF FIGURES

| | | |
|---------|---|----|
| Fig. 1 | Electromagnetic waves | 1 |
| Fig. 2 | Magnetic, Electric fields and wavelength of electromagnetic waves | 7 |
| Fig. 3 | Frequency spectrum of electromagnetic wave | 8 |
| Fig. 4 | An apparatus of electromagnetic wave reflection by metal | 10 |
| Fig. 5 | Diffraction of electromagnetic waves by an obstacle | 10 |
| Fig. 6 | Refraction of electromagnetic waves, according to the substances | 11 |
| Fig. 7 | A typical arrangement for measuring the shielding effectiveness of a material | 11 |
| Fig. 8 | Schematic of reflection, absorption and multi-reflection of electromagnetic waves | 12 |
| Fig. 9 | Flanged coaxial transmission line sample holder | 15 |
| Fig. 10 | Dimensions of reference and load specimens | 16 |
| Fig. 11 | Experimental set-up electromagnetic compatibility test system | 17 |
| Fig. 12 | Microstructures of carbon black powder | 20 |
| Fig. 13 | The manufacturing process of conductive carbon-black paste | 21 |
| Fig. 14 | Microstructure of carbon black paste | 21 |
| Fig. 15 | Stirrer and temperature control system | 22 |
| Fig. 16 | Reference(a) and Load(b) specimens | 23 |
| Fig. 17 | CFRP/CFRPS specimen manufacturing process | 26 |
| Fig. 18 | A metal(Al/Cu) thin film specimen manufacturing process | 27 |
| Fig. 19 | CFRP/CC/AC specimen and Micro-structures in CFRPS/CCS/ACS specimens ($\times 40$) | 28 |
| Fig. 20 | EMSE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.5GHz range of PCB1 and PCB4 specimens | 29 |
| Fig. 21 | EMSE of carbon black (5Wt%) and solvents dilution ratio according to the specimen | 31 |
| Fig. 22 | EMSE of carbon black (7.5Wt%) dilution ratio according to the specimen | |

| | |
|---|----|
| | 31 |
| Fig. 23 EMSE due to the dilution ratio and the carbon black content of the specimen | 32 |
| Fig. 24 EMSE of specimens due to layer variation(carbon black 5Wt%) | 33 |
| Fig. 25 EMSE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of CFC and CFCS specimen | 33 |
| Fig. 26 EMSE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of PC and PCS specimens | 36 |
| Fig. 27 EMSE as a function of frequency measured in the 300MHz ~ 1.5GHz range of AC and ACS | 37 |

NOMENCLATURE

| | |
|--------|---|
| Hz | : Units of Frequency |
| dB | : Units of ElectroMagnetic Shielding Efficiency |
| 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 | : Shielding effectiveness of reflection |
| SE_A | : Shielding effectiveness of absorption |
| SE_M | : Shielding effectiveness of multi reflection |
| t | : Thickness of shielding materials |
| pH | : Potential of hydrogen |
| EL | : Elongation |
| Tg | : Glass transition temperature |
| EMI | : Electromagnetic Interference |
| EMS | : Electromagnetic susceptibility |
| EMC | : Electromagnetic compatibility |
| EMSE | : Electromagnetic shielding effectiveness |

ABSTRACT

A Study on Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Fiber Reinforced Composite with Hybrid Conductive Filler

Choi Myoung Il

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

Dept. of Mechanical Engineering

Graduate School of Chosun University

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

The goal of this thesis is to investigate the influence of material composition on electromagnetic interference shielding characteristics. In order to achieve the goal, carbon black composites (PCb1~PCb6) and carbon fiber reinforced composites (CFRP/CFRPS/CC/CCS/AC/ACS) are prepared to see their

electromagnetic interference shielding effect.

For the test, the range of frequency between 300MHz ~ 1.5GHz is applied using ASTM D4935-89 standard method. The shielding effectiveness of the specimen was measured using the Anritsu 37369C vector network analyzer system and flanged coaxial transmission line measurement jig.

It is found that AC and ACS specimens show higher shielding efficiency than the other specimens at whole frequency range applied. In particular, at around 1.5GHz, the efficiency is more than 90dB, which is quite effective. In addition, PCb specimen appears to be the more conductive carbon black content, the higher shielding efficiency. But it also causes to increase the viscosity, resulting in difficulty of specimen fabrication. Through this study, it is confirmed that fiber-reinforced composites as well as carbon black coposites using conductive filler show various, but distinguished trend of efficiency depending on the characteristics of the materials used.

제 1장 서론

1.1 연구배경 및 관련연구

전자산업의 발전과 정보사회의 급속한 구축에 따라 통신 분야, 제어계측분야, 전력분야, 의료분야 등 다양한 분야에서 전파를 이용한 기술이 발전을 거듭해오고 있다. 이러한 분야의 새로운 전기·전자기기가 급증하면서 사용하는 주파수 스펙트럼이 확장되고, 전자파 잡음이 증가함에 따라서 전자파 공해 현상이 심각한 문제로 대두되고 있다. 현대의 인간은 전자파에 둘러싸여 살고 있다고 해도 과언이 아닐 만큼 인간의 몸은 다양한 전자파에 노출되어 있다. 전자파의 원래 명칭은 전자기파(Electromagnetic Wave)다. 공간상에서 전기장이 시간적으로 변화하게 되면 그 주위에 자기장이 발생하고, 또한 자기장이 시간적으로 변화하면 그 주위에 전기장이 발생하여 전기력선(전계)과 자력선(자계)이 서로 유도하여 Fig. 1과 같이 파의 진행방향과 직각을 이루고 공간에서 전파되는 합성파동이다.¹⁾

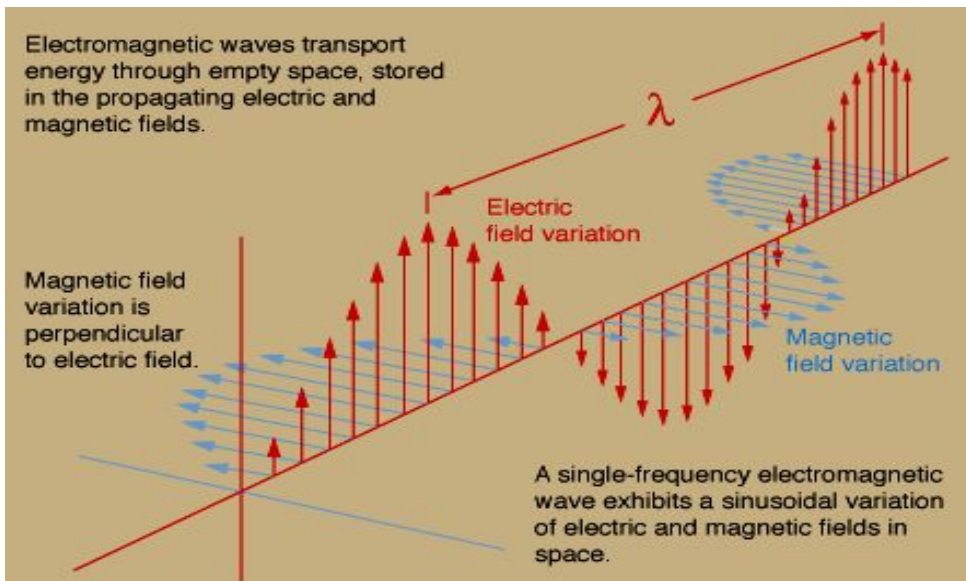


Fig. 1 Electromagnetic Waves

우리가 사용하는 모든 전기·전자기기에는 전류가 흐른다. 이 전류의 주위에는 전계와 자계가 유도되는데 전위차에 의해 공간이 생긴 전계가 시간적으로 변화하면 그 주위에 전자계가 발생한다.²⁾ 전기·전자소자들의 저전력화, 고집적화, 고속화 및 다기능화로 되어가는 추세이므로 미세한 전자파 장애(Electro Magnetic Interference, EMI)에 의한 기계의 성능 저하나 오작동을 유발하고 산업기기의 오작동을 일으켜 산업재해를 유발할 수 있으며, 인체의 면역기능 및 생체리듬의 불균형을 초래하여 가임여성들의 유산 및 기형아 출산과 혈액암, 뇌암 등의 여러 가지 질병들을 유발시킬 수 있다고 알려져 있다.^{3·4)}

전기·전자기기에서 전도 또는 방사되는 전자파가 다른 전기·전자기기에 불필요한 노이즈를 발생시켜(Emission), 다른 전기·전자기기에 대해 장애를 일으키는 것을 전자파장애(EMI), 다른 전기·전자기기에서 발생한 노이즈에 대해 견딜 수 있는 정도, 전자파방해의 배재능력을 전자파방해 감수성 EMS(Electro Magnetic Susceptibility)라고 하고, 전기·전자기기가 다른, 전기·전자기기로부터 전자파 방해에 의해 장애를 일으키지 않으며, 다른 기기에도 장애를 주지 않는 것 즉, 이러한 양면성을 유지하는 것을 전자기 양립성 또는 전자기 접합성 EMC (Electro Magnetic Compatibility)라 한다.⁵⁾

휴대전화의 전자파의 경우 인체, 특히 뇌에 직접 배출되어 악영향을 미친다. 휴대전화에서는 800~900MHz의 마이크로파(Microwaves)를 사용한다. 이러한 마이크로파(Microwaves)는 물체에 전자파를 발생시키면 전파가 물체의 중심 부분으로 모이고, 거기에서 열이 발생한다는‘열점효과’(Hot Spot Effect)를 발생시킨다. 사람의 뇌 부분의 온도가 상승하면 자율신경 반사기능 등이 저하되고 생체리듬이 깨지며, 혈압의 상승, 혈액순환계 이상, 유전자 단백질 손상, 백혈병, 뇌종양을 유발할 수 있으므로 위험성이 더 높다고 할 수 있다.⁶⁾ 이러한 현상들 때문에 국내외적으로 전자파 장애 규제가 본격화됨에 따라 효과적인 전자파 차폐 소재의 개발이 활발히 진행되고 있는 상황이다.

국내 및 국제적으로 적용되는 전자파 규격은 나라마다 차이가 있으나 일반적으로 국제전파 장애 특별위원회 (International Special Committee on Radio Interference; CISPR)에서 발간되는 규격을 자국의 규격으로 채택하고 있다. 국내규격에는 1997년 정보통신부에서 고시된 전자파 장애방지규칙과 전자파 보호(내성)에 관한 규칙이 있으며, 1999년부터 전파연구소에서 제·개정 작업을 추진하여 2000년 10월에 정보통신부장관 고시로 ‘국내 전자파 장애방지 및 보호 시험방법’을 신설하였다. 전기·전자 제품의 판매를 위해서는 각국에서 규정하고 있는 전자파 규정 기준을 만족시켜야 한다. 특

히 유럽의 경우 1996년 EMC 지침을 제정하고, 전자파의 발생(EMI)과 피해(EMS)의 양면을 대상으로 하는 전자기기의 EMC 규제를 단행하여, 전기·전자 제품의 전 품목에 대한 내성시험 결과를 요구하고 있으며, 국내는 1990년부터 전자파에 대한 규제를 시작하여 2000년부터 전 품목에 대한 규제를 시행하고 있다.⁷⁾

전자파 차폐(Electromagnetic shielding)란 전도체 혹은 자성체 등을 이용하여 잡음원을 완전히 차폐하거나 새로운 회로를 형성하여 보호할 대상의 주변에 존재하는 유해파의 세기를 감소시켜 전자파로부터 장비 또는 인체를 보호하는 것을 말한다. 전자파 차폐재는 재료의 도전, 유전 및 자성 손실을 이용하여 전자파가 차폐 막을 통과할 때 전자파의 반사, 흡수, 투과 및 다중반사에 의해서 전자파의 세기를 효과적으로 감소시킬 수 있는 재료이다.⁸⁾

전자파 흡수 재료에는 도전성 전자파 흡수 재료, 유전성 전자파 흡수 재료, 자성전자파 흡수 재료 등이 있다. 도전성 재료는 저항체나 저항선, 저항 피막 등을 흐르고 있는 전류에 의해 전파를 흡수시키는 재료이며, 도전성 섬유로 만든 직물에 의해서도 뛰어난 전파 흡수체를 얻을 수가 있다. 유전성 재료에는 카본, 카본함유 발포 우레탄, 카본함유 발포 폴리스티렌 등이 있다. 이런 종류의 흡수체로 광대역 특성을 얻기 위해서는 다층 구조로 하여 표면 가까이에서의 감쇠를 적게 하고, 내부로 들어감에 따라 감쇠를 크게 할 필요가 있다. 자성 재료의 대표적인 것은 페라이트이다. 금속판을 덧붙인 페라이트판은 비교적 넓은 주파수에 대해서 좋은 흡수 특성을 나타낸다. 또한 페라이트 분체를 고무에 혼련한 고무 페라이트는 유연성이 있으며, 고무에 대한 페라이트의 혼합비를 조절하여 정합 주파수를 바꿀 수 있다.

일반적으로 전자파 차폐용 재료로 많이 사용되고 있는 것은 금속 재료로 차폐 효과는 전자기적 특성에 의존하며, 구리, 철, 니켈, 알루미늄, 주석, 아연, 금, 은 등이 우수한 특성을 갖는 것으로 알려져 있다. 이들 도전성 금속재료에 전자파가 닿으면 일부는 흡수 통과 하지만 대부분 표면에서 반사된다. 이것은 전자파가 도체에 닿으면 도체 내에 전자유도에 의해 와전류가 생기고, 이것이 전자파를 반사하기 때문이다. 입사하는 전자파의 반사율이 높은 대신에 전자파가 재료내부를 통해 진행되어 흡수할 수 있는 깊이가 작아 반사에 의한 차폐를 이용한 전자파 차폐 재료이다.⁹⁾ 이들 도전성 금속재료는 판금, 박막, 메쉬 등의 형태로 이용되고 있으며, 통상 30 dB 이상의 차폐 효과를 가지면 실용 가능하며, 상기 금속재료의 경우 이음매나 구멍이 없으면 100 dB 정도의 우수한 차폐 효과를 얻을 수 있다. 이러한 금속재료를 진공 증착, 무전해 도금, 분사도금 등을 이용하여 재료 표면에 도전성 피막을 형성시켜 전자파 차폐 성능을 부여하

는 방법¹⁰⁾이 널리 쓰이고 있으나, 금속은 재료에 따라서 가격이 비싸고 그 무게가 무겁다는 단점이 있고, 전기·전자산업의 발전과 함께, 소형화, 경량화, 저렴화라는 시대의 흐름에 따라 최근에는 플라스틱 재료 및 복합재료(Composite materials) 등이 주류를 이루고 있다. 이들 재료는 금속에 비하여 가격이 저렴하고 경량화 및 가공성이 우수하여 전기·전자 제품의 외장재(Housing materials)로 사용되고 있다.¹¹⁾ 플라스틱 재료 및 복합재료의 경우 전기적으로 절연체이므로 대부분의 전자파가 투과하는 특성을 가지고 있어 전자파 차폐효과를 전혀 갖지 못하므로 복사방출규제 및 복사내성 규제에 효과적으로 대응하기 어렵다. 따라서 이들 재료가 전자파를 차폐하기 위해서는 도전성 충전재(Filler)를 첨가하여 사용하는 것이 효과적이다. 전자파 차폐 도전성 플라스틱을 제조하는 방법으로는 도전성 필러를 넣어 플라스틱자체에 도전성을 부여하는 방법, 폴리아닐린(Polyaniline)등과 같이 플라스틱 자체가 도전성을 갖는 도전성 고분자를 사용하는 방법, 도전성 도료를 도포하는 방법^{12~13)} 및 금속염과 환원제가 공존하는 용액에서 자기축매에 의한 화학반응으로 원하는 재료에 금속피막을 석출시키는 무전해 도금법 등의 플라스틱을 표면처리 하여 도전성을 부여하는 방법이 있으며, 현재 각종 도전성 고분자재료 및 복합재료의 전자파 차폐에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다.^{14~21)} 이와 관련된 선행 연구로써 Dou²²⁾ 등은 Aluminum alloy-fly ash 복합재료와 2024 알루미늄의 전자파 차폐효과를 실험하여 30.0KHz ~ 600MHz 범위에서 2024 알루미늄과 Aluminum alloy-fly ash 복합재료는 각각 약 36 dB ~ 46 dB과 40 dB ~ 102 dB의 차폐 효과를 얻을 수 있었다고 보고 하였다. Renee M²³⁾ 등은 에폭시를 기지체로 사용한 단섬유 구리를 혼입하여 1.0GHz에서 45 dB 이상의 전자파 차폐효과를 얻을 수 있었다고 보고하였다. Das²⁴⁾ 등은 도전성 카본블랙과 탄소섬유를 충전재로 사용한 천연고무와 에틸렌 비닐 아세테이트(Ethylene vinyl acetate)의 전자파 차폐특성을 고찰하여 충전재의 중량비 증가에 따라 차폐효과가 크게 증가함을 보고 하였다. 고분자 재료를 기지체로 한 복합재료는 일반적으로 부도체이기 때문에 전자파 차폐에 직접적으로 기여하지는 않으나 혼입된 도전성 충전재는 입자가 되도록 작으면서 분산성이 우수하게, Aspect 비율(입자의 지름과 길이의 비율)은 크고, 입자간의 접촉성능이 우수하여 되도록 많은 도전통로가 생성되도록 제작한다면 전기 전도도를 높여 전자파 차폐효과를 높이게 된다.

전자파 차폐효율(ElectroMagnetic Shielding Efficiency; EMSE)의 측정방법은 크게 두 가지 방법으로 구분할 수 있다. 첫째 방법은 재료를 실제로 사용되는 구조물 형태로 제작하여 특성을 측정하는 방법이다. 이러한 방법은 평가하고자 하는 재료를 사용

하여 최종구조물을 근사적으로 제작하여 평가하기 때문에 실제 상황에 가장 근접하는 측정 결과를 얻을 수 있는 장점이 있지만, 제품의 외장 구조물의 설계 단계에서 사용할 예정의 모든 재료에 대해 구조물을 만들어야 하고, 구조물의 형태를 변경시킬 때 다시 모든 재료에 대해 구조물을 만들어야 하는 단점이 있다. 두 번째 방법은 측정치구(Sample holder, test fixture)에 맞게 재료를 편형하고, 얇게 시편으로 제작하여 측정하는 방법이다. 이러한 방법은 재료 자체의 특성을 간편하게 평가할 수 있는 장점이 있으나, 차폐구조물을 만들 때 포함되는 다양한 형태의 인입구 등에 의해 성능이 저하되는 것을 파악하기 어려운 단점이 있다.²⁵⁾

1.2 연구목적 및 방법

최근 전자기술의 발달로 전기·전자제품과 통신기기의 사용이 급속히 확대되었다, 일상생활에서 많이 사용되는 휴대전화, 컴퓨터, 무선기기, 디스플레이 등 또한 전기 및 전자 장치가 사용되어지고 있는 기기이다. 하지만 이러한 기기들은 전기가 흐름에 따라 전자파를 방출하게 되는데 이때 방출되어지는 전자파는 상호 간섭으로 다른 기기의 오작동을 초래하고 인체에 여러 가지 악영향을 미치는 등 여러 전자파장애를 동시에 유발시키고 있다. ^{26~28)} 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, 니켈, 알루미늄 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. 플라스틱에 전자파 차폐 기능을 부여하는 방법으로 폴리아닐린 등 플라스틱 자체가 도전성을 갖는 도전성 고분자를 사용하는 방법. 플라스틱에 금속섬유, 탄소섬유 등의 도전성 충전재를 혼입하여 기존의 플라스틱 성형법으로 도전성 플라스틱을 성형하는 방법. 플라스틱 표면에 무전해 도금, 진공 증착 등으로 금속박막의 코팅하는 방법. 플라스틱 표면에 도전성 도료, 도전성 테이프 등으로 피복처리 하는 방법 등이 있다.²⁹⁾

따라서, 본 연구에서는 카본블랙(Carbon black)을 이용하여 카본블랙페이스트를 제조하여 카본블랙의 함량에 따른 전자파 차폐효율과 용제와의 희석비에 대한 도전성 도료로서의 전자파 차폐효율을 측정하였다. 또한 카본블랙페이스트를 이용한 섬유강화

복합재료를 제작하여 전자파 차폐효율을 측정하였다.

카본블랙을 중량비 5wt%, 7.5wt% 첨가한 카본블랙페이스트(Carbon black paste)를 제조하여 카본블랙의 중량비(wt%)에 따른 전자파 차폐효율을 측정하였다. 또한 카본블랙페이스트와 용제와의 희석 비율을 부피비 1:1, 1:2, 1:3으로 혼합하여 분사기를 사용하여 3회 도포한 시험편(PCb1~PCb6)을 제작하여 카본블랙페이스트와 용제와의 희석비에 따른 전자파 차폐효율을 측정하였다. 또한 카본블랙페이스트 시험편을 3회 적층한 시험편을 제작하여 차폐효율을 측정하고 1회 도포한 시험편과의 전자파 차폐효율을 비교하였다. 탄소섬유에 카본블랙을 5wt% 첨가한 PCb1 시험편을 부착하여 탄소섬유강화 복합재료 시험편(Carbon Fiber Reinforced Plastics; CFRP)을 제작하고, CFRP 시험편을 이용하여 시험편 양쪽 면에 PCb1 시험편을 부착한 CFRP 샌드위치 시험편(PCb1/CFRP/PCb1), CFRP 시험편의 한쪽 면에 알루미늄 필름과 구리 필름을 접착시킨 알루미늄 시험편 AC(CFRP/Al film)와 구리 시험편 CC(CFRP/Cu film), 알루미늄 필름을 코어재로 사용하고 코어재 양쪽 면에 CFRP 시험편을 배치한 알루미늄 샌드위치 시험편 ACS(CFRP/Al film/CFRP)와 구리 필름을 코어재로 사용하고 코어재 양쪽 면에 CFRP 시험편을 배치한 구리 샌드위치 시험편 CCS(CFRP/Cu film/CFRP)을 제작하여 전자파 차폐효율을 측정하였다.

제작된 시험편의 전자파 차폐효율을 측정하기 위하여 ASTM D4935-89 규격을 참고하였으며, 플랜지형 동축 전송선 측정 치구를 사용하여 300MHz-1.5GHz의 주파수 대역에서 전자파 차폐효율에 대한 특성을 고찰하였다.³⁰⁾

제 2 장 이론적 고찰

2.1 전자파란

전자파는 전자기파(Electromagnetic wave)로서 전기장과 자기장으로 구성된 파동으로서, 공간상에서 전기장이 시간적으로 변화하게 되면 그 주위에 자기장이 발생하고, 또한 자기장이 시간적으로 변화하면 그 주위에 전기장이 발생하게 되어 공간상을 빛의 속도로 전파하는 파동 즉, 전계와 자계가 서로 유도하여 Fig. 2와 같이 파의 진행방향과 직각을 이루고 공간에서 전파되는 합성 파동이다.³¹⁾ 전기장과 자기장이 반복하면서 파도처럼 퍼져가기 때문에 전자파라고 부른다. 전자파(Electromagnetic wave)는 주파수에 따라 0Hz인 직류부터 10^{22} Hz인 γ 선, 10^{23} Hz인 우주선에 이르기까지 광범위한 주파수 영역을 갖는 일종의 전자기 에너지로서 빛의 속도와 같이 초당 30만km의 속도로 진행된다. 이러한 주파수는 초당 사이클의 수를 나타내며 단위로는 Hz를 사용한다.³²⁾

우리가 사용하는 전력은 60Hz로서 초당 60번의 “+” 와 “-” 의 극성이 바뀌며 공기 중에 전파된다.

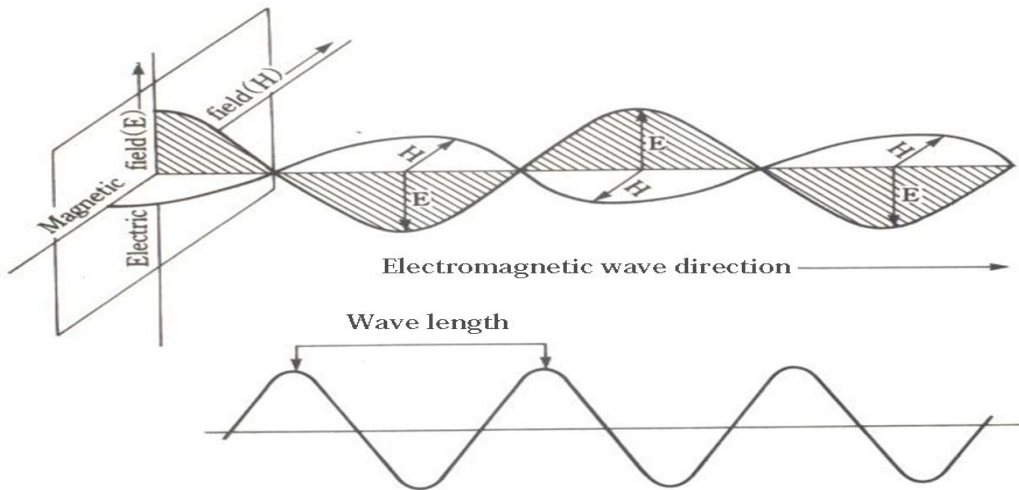


Fig. 2 Magnetic, Electric fields and wavelength of electromagnetic waves¹⁾

전기장파는 전기의 힘이 수직으로 미치는 공간을 말하며 보통 미터당 볼트(V/m)로 표시하고, 자기장파는 자기의 힘이 수평으로 미치는 공간을 말하며 단위는 밀리가우스 (mG) 또는 마이크로 테슬라(μT)로 나타내는데 $1\mu\text{T} = 10\text{mG}$ 이다. 전파의 세기는 통상 단위면적 당 전력(W), 즉 W/m^2 로 표시한다. ⁹⁾ Fig. 3은 전자파의 주파수에 따른 분류를 보여주고 있다.¹⁾ 전자파를 파장이 긴 순서대로 분류해보면 감마선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 전파(장파, 중파, 단파, 초단파, 극초단파, 마이크로파)로 나뉘게 된다. 주파수에 따라 가정용 전원 주파수 60Hz, 극 저주파(0~1,000Hz), 저주파(1~500kHz), 통신주파수(500kHz~300MHz), 마이크로웨이브(300MHz~300GHz)로 분류되는데 극 저주파와 저주파는 전계와 자계가 발생된다. 이 중 우리생활에서 유해성이 제기되고 있는 것은 전파다. 전파는 그 주파수가 초당 3조 번 진동하는 즉, 300GHz 이하의 전자파로서 휴대폰, TV, 라디오, 무전기 등에서 발생하는 전파를 말한다. 우리 생활주변의 전파발생원은 방송이나 통신용 안테나, 휴대폰, 레이더, 전자레인지 등이 있다.

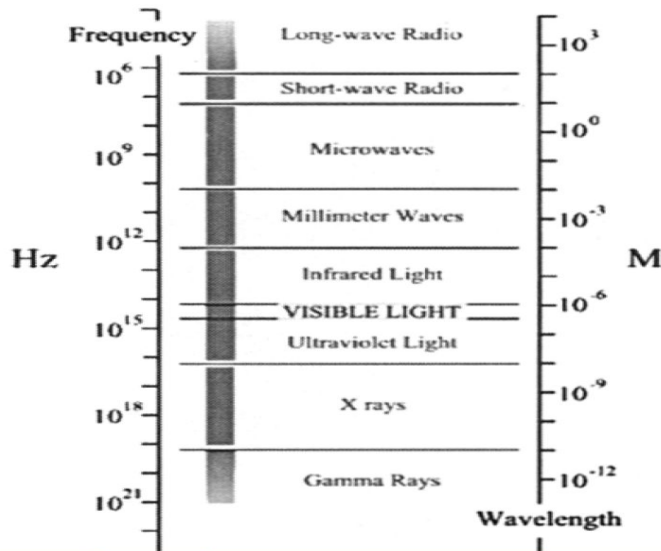


Fig. 3 Frequency spectrum of electromagnetic wave

전자파는 주파수뿐만 아니라 세기, 파형 등에 따라 무한한 종류와 형태를 갖는데 전자파는 주파수가 높을수록 파장이 짧아지며 전자파가 갖는 에너지는 증가한다. 이와 같은 사실은 Plank의 복사법칙을 통해서 알 수 있다.

$$E = h \cdot f \quad (1)$$

여기서 E는 에너지, h는 Plank상수, f는 주파수이다.

가정에서 사용하는 전기는 60Hz의 주파수이며, 주방에서 사용하는 전자레인지는 2.45GHz의 높은 주파수를 갖는 마이크로웨이브를 음식에 가하여 음식에 포함된 물 분자를 가열하여 음식물을 뜨겁게 한다. 전자레인지에서 사용하는 마이크로웨이브(2.45GHz)의 파장은 $30\text{만Km}/2.45 \times 10^9 = 12.2 \text{ cm}$ 로 매우 짧아 음식물을 가열시킬 정도의 높은 에너지를 갖고 있는 것이다. 우리가 사용하고 있는 휴대폰도 800 MHz ~ 900 MHz의 마이크로웨이브를 사용하므로 안테나로부터 송신되는 전자파가 뇌 속으로 전파되어 세포의 온도를 높임으로써 문제가 되는 것이다. 광선도 일종의 전자파로서 적외선, 가시광선, 자외선 등으로 분류되며 이 중에서 자외선의 파장이 가장 짧아 에너지가 가장 강하여 피부암 등을 유발하는 것으로 알려져 있다.³³⁾

2.2 전자파의 특성

전자파의 특성으로는 전자파가 금속을 만나면 발생하는 반사(Reflection), 전자기파가 진행하다가 만난 물체 표면에서 구조특성에 따라 사방으로 전자기파가 흩어지는 산란(Scattering), 전자파가 진행 중에 장애물을 만났을 때 옆으로 돌아서 진행되는 현상인 회절(Diffraction), 전자파가 물리적 성분이 다른 재질에 입사했을 때 그 재질 차이에 의해 진행방향이 옆으로 변화하는 것을 굴절(Refraction)등이 있다.

전자파가 금속을 만나면 반사되는 현상은 스넬의 법칙(Snell's law)³⁴⁾으로 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. 또한 진행 중인 매질과 성분이 다른 매질을 만났을 때는 일정량이 반사된다. 금속에 의한 전자파 반사원리는 Fig 4에 나타낸 바와 같이 진행 중에 금속을 만난 전자파는 전기를 잘 통하는 도체에 닿으면서 거의 모든 에너지가 순간적으로 금속 표면의 전류로 변환된다. 이로 인해 갑작스럽게 발생된 표면전류는 입사각과 같은 각도의 전자파를 생성하는데 이 과정에서 금속의 도전율에 따라 약간의 전류 손실이 발생한다.

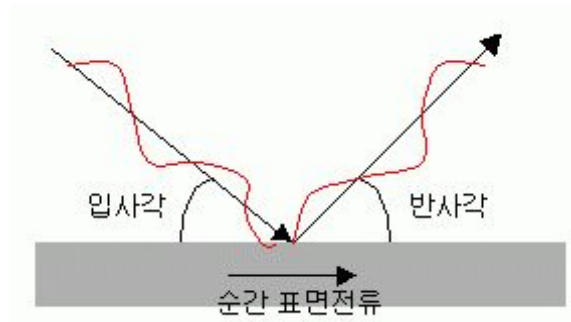


Fig. 4 An apparatus of electromagnetic wave reflection by metal

산란은 반사와 매우 유사한 개념처럼 생각되어진다. 하지만 반사는 전자기파가 입사각과 반사각으로 거의 모든 에너지가 한꺼번에 움직이는 것을 의미하지만, 산란은 에너지가 분산되는 난반사를 의미한다. 산란은 금속과 유전체 등 모든 재질표면에서 발생하는 것으로서 레이더 측정의 중요한 요소가 된다.

전자기파가 진행 중에 장애물을 만났을 때 Fig 5와 같이 옆으로 돌아서 진행하는 현상을 회절 (Diffraction)이라 한다. 만약 이 현상이 없었다면 오늘날의 이동통신은 거의 불가능했을지 모른다. 저주파 신호가 더욱 멀리 도달하는 이유는 바로 주파수가 낮을수록 회절성이 강해서이다. 주파수가 높아지면 전자기파는 점점 더 직진성이 강해져서 결국에는 가시광선처럼 LOS (Line of Sight), 즉 직선 영역에서의 통신만 가능해진다.



Fig 5. Diffraction of electromagnetic waves by an obstacle

전자파가 물리적 성분이 다른 재질에 입사했을 때 Fig. 6과 같이 그 재질 차이에 의해 진행방향이 옆으로 변화하는 것을 굴절 (Refraction)이라 한다. 이 성질을 이용하면 재질차이를 이용하여 전반사를 유도해낼 수 있는데, 이것을 이용해 만든 것이 바로 Optical fiber(광섬유)이다. 전자기파의 입사각이 일정 각 이상으로 비스듬히 높기 시작

하면 굴절각이 수평각을 넘어서게 되어 결국 다른 매질로 전자기파가 입사하지 못하고 완전반사(total reflection)하게 된다. 결국 일종의 waveguide처럼 동작하여 신호를 선로 끝까지 안전하게 보낼 수 있게 된다. 페라이트 전파흡수체면에 전자기파를 입사하면 내부적으로 전반사를 이루며 에너지를 소멸시키는 것도 비슷한 원리이다.

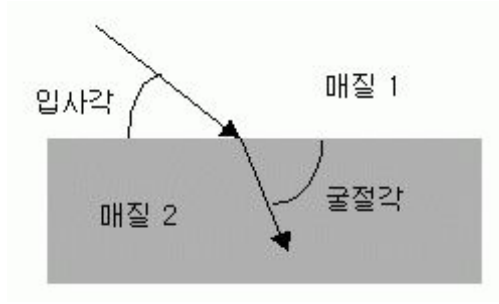


Fig. 6 Refraction of electromagnetic waves, according to the substances

2.3 전자파 차폐이론

전형적인 전자파 차폐효과 측정법은 Fig. 7 에 의한 방법에 의해 이루어진다.

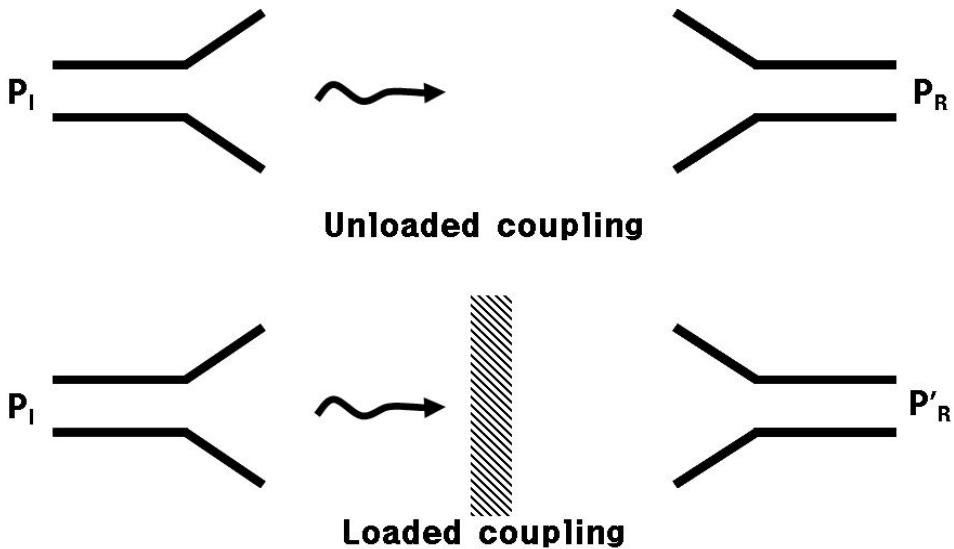


Fig. 7 A typical arrangement for measuring the shielding effectiveness of a material

물질의 전자파 차폐의 정도를 나타내는 전자파 차폐효율(ElectroMagnetic Shielding Efficiency : EMSE)은 식 (2)와 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.

$$EMSE=10\log\left(\frac{P_I}{P_R}\right) \text{ (dB)} = 20\log\frac{E_I}{E_T} \quad (2)$$

전자파가 전자파 차폐재로 입사하면 반사, 흡수, 다중반사를 거쳐 투과하게 되며 반사나 흡수된 전자파로서 재료의 차폐효율을 확인 할 수 있다.

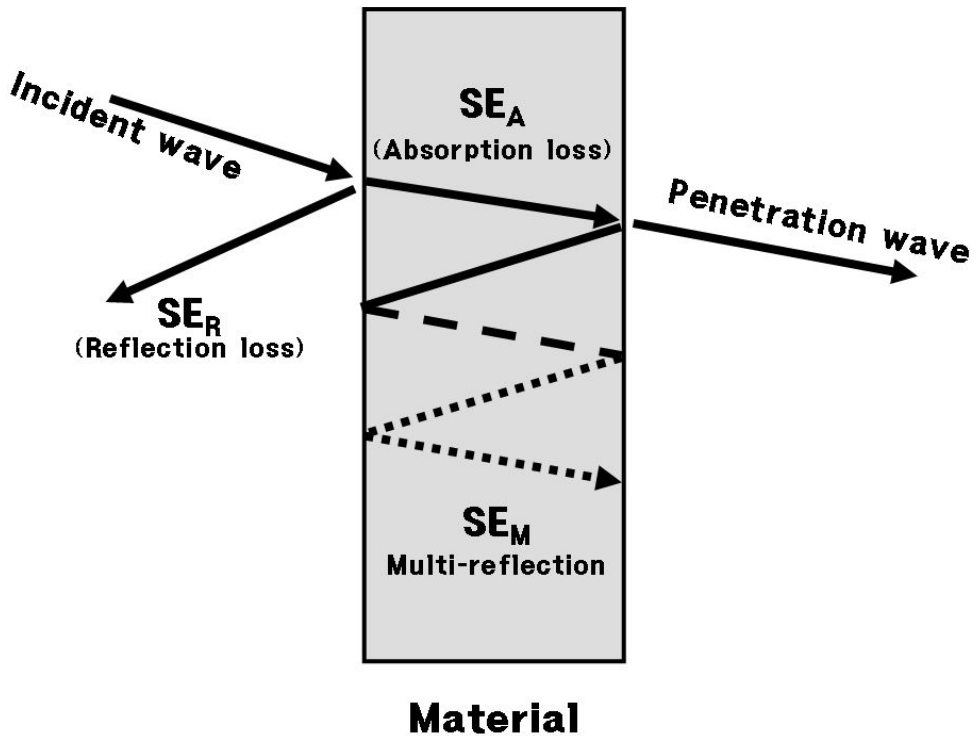


Fig. 8 Schematic of reflection, absorption and multi-reflection of electromagnetic waves

Fig. 8 는 전자파 차폐 원리를 나타낸 것으로 전자파 차폐재의 반사, 흡수, 다중반사 현상을 나타내고 있다.

일반적으로 전자파가 전기적 도체에 도달하게 되면 Fig. 8 에 나타난 것처럼 일부의 에너지는 반사 및 흡수된다. 따라서 일반적으로 전자파 차폐효율은 아래의 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$EMSE = SE_R + SE_A + SE_M \quad (3)$$

여기서 EMSE 는 전자파 차폐효율, SE_R 은 차폐재 반사에 의한 손실, SE_A 는 흡수에 의한 손실, 그리고 SE_M 은 다중반사보정을 나타낸다. 위의 식에서 SE_A가 10 dB 이상인 경우 SE_B는 무시된다.

또한 반사에 의한 손실 SE_R과 흡수에 의한 손실 SE_A는 다음 식으로 표시된다.

$$SE_R = 50 + 10 \log(\rho f)^{-1} \quad (4)$$

$$SE_A = 1.7t \left(\frac{f}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

ρ : 체적고유저항($\Omega \cdot \text{cm}$)

f : 주파수(MHz)

t : 차폐재의두께(cm)

식 (4)와 (5)에서 차폐효율은 차폐재가 두껍고 체적고유저항이 적을수록 크다는 것을 알 수 있다. 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.³⁵⁾ 일반적으로 metal을 이용한 전자파 차폐도료는 60 dB이상의 효과가 있는 도막의 구현이 가능하다. 상기의 식 (4)와 (5)를 더하면 다음의 식으로 정리된다.

$$SE_R = 50 + 10 \log\left(\frac{1}{\rho f}\right) + 1.7t \left(\frac{f}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

차폐재의 체적고유저항이 1, 10, 100 $\Omega \cdot \text{cm}$ 일 때 각기 다른 주파수에 있어서의 차폐효과를 위의 정리된 식에 대입하여 계산한 결과를 Table 1에 나타내었다. 차폐효율은 주파수에 크게 의존하므로 충분한 차폐효과를 기대하기 위해서는 최저 1 $\Omega \cdot \text{cm}$ 이하의 체적고유저항이 요구된다. 즉 전자파차폐용 도막이 이와 같은 체적고유저항을 지니면

대략의 차폐효과를 예측할 수 있게 된다.³⁶⁾

Table 1. Resistance and frequency for shielding efficiency

| 체적고유저항 ($\Omega \cdot \text{cm}$) | EMSE(dB) | | | |
|--|----------|-------|--------|------|
| | 10MHz | 100MH | 500MHz | 1GHz |
| 1 | 42 | 35 | 34 | 36 |
| 10 | 31 | 22 | 17 | 15 |
| 100 | 21 | 10 | 4 | 2 |

2.4 전자파 차폐효율 측정 방법

전자파 차폐효율을 측정하는 방법은 전자파를 입사하여 차폐 재료를 투과하여 나오는 전자파의 세기를 직접 측정하여 차폐효율을 직접적으로 측정하는 방법과 전기전도도를 측정하여 이론식에 의하여 차폐효율을 간접적으로 측정하는 방법이 있다.¹⁾

ASTM D 4935 규격은 직접적인 측정방법으로서 측정원리는 신호발생기 (Signal generator) 에서 발생된 전자파가 측정치구에 있는 시험편을 투과하여 나오는 전자파를 수신기 (Receiver) 에서 측정하여 전자파 차폐효율을 측정한다. 이 때 시험편의 규격은 ASTM-D-4935 규격을 따른다. 이때 시료의 표면에서의 반사 및 시료의 내부에서의 흡수에 의한 상대적인 차폐정도를 다음과 같은 식으로 측정할 수 있다.³⁷⁾

$$T_R + R_e + A_b = 1 \quad (7)$$

여기서, T_R , R_e , A_b 는 각각 투과도 (Transmittance), 반사도 (Reflectance), 흡수도 (Absorbance) 를 나타내며, 식 (8) 와 식 (9) 에 의해 투과도와 반사도를 측정한 후 식 (7) 을 이용하여 흡수도를 계산하여 반사도와 흡수도를 비교하면 흡수에 의한 차폐와 반사에 의한 차폐를 상대적으로 비교할 수 있다.

$$T_R = \frac{E_T^2}{E_I^2} = |S_{21} \text{ (or } S_{12})|^2 \quad (8)$$

$$R_e = \frac{E_R^2}{E_I^2} = |S_{11} \text{ (or } S_{22})|^2 \quad (9)$$

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

전자파 차폐 재료의 임피던스 측정에 의한 간접 측정방법으로 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 차폐효율과 반사손실을 다음 식에 의해 측정할 수 있다.

$$SE(\text{dB}) = 20 \log \frac{(1+K)^2}{4K} = 20 \log \frac{(Z_w + Z_m)^2}{4Z_w Z_m} \quad (10)$$

$$R = \left| \frac{Z_w - Z_m}{Z_w + Z_m} \right|^2 \quad (11)$$

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

2.5 전자파 차폐효율 측정 장비

본 연구에서는 직접 측정방법으로 ASTM D4935-89 규격에 따른 전자파 차폐효율 측정하기 위해 벡터 네트워크 분석기 시스템(Vector Network Analyzer System)의 Anritsu 37369C 모델과 Fig. 9와 같이 플랜지형 동축 전송선 치구를 사용하여 각 시험편의 전자파 차폐효율을 측정하였다. ASTM D4935-89 규격은 ASTM에서 1983년에 제안한 ASTM ES 7-83 규격의 연속 동축선 측정치구(Circular coaxial transmission-line holder with continuous conductor)의 단점을 보완한 것으로 내부 도체의 외경이 32mm, 외부 플랜지의 외경이 133mm, 내경이 76mm 인 측정치구이다. Fig. 10과 같이

측정시편(test specimen)의 모양이 디스크 형으로 되어 있으며, 기준시편(reference specimen)의 양쪽의 동축 전송선이 시편을 통해 용량성 결합을 할 수 있도록 두 조각으로 되어 있고, 내 외부 동축선은 비어있다. 따라서 두 조각의 기준시편을 측정치구의 큰 동축 플랜지 사이에 끼워 기준 레벨을 측정하고, 다시 디스크형의 측정시편을 측정기구 사이에 끼운 다음 수신되는 전력을 측정하게 되며, 이들 두 값의 차로부터 시편 재료의 전자파 차폐효과가 측정된다.²⁵⁾ 이때 측정 치구는 시편을 통해 용량성 결합을 해야 하므로 나이론 스크류를 사용하여 양쪽 플랜지를 결합하게 되며, 이러한 나이론 스크류는 금속 스크류와는 다르게 접촉 임피던스의 섭동을 시편과 병렬이 되게 유지시켜준다. 이러한 측정 치구를 사용할 때의 측정 주파수대역은 1MHz~1.8GHz 정도인데, 주파수 하한은 측정기기의 주파수 한계에 제한되며, 주파수 상한은 치구의 물리적 크기에 의한 공진 주파수에 의해 제한된다.³⁸⁾

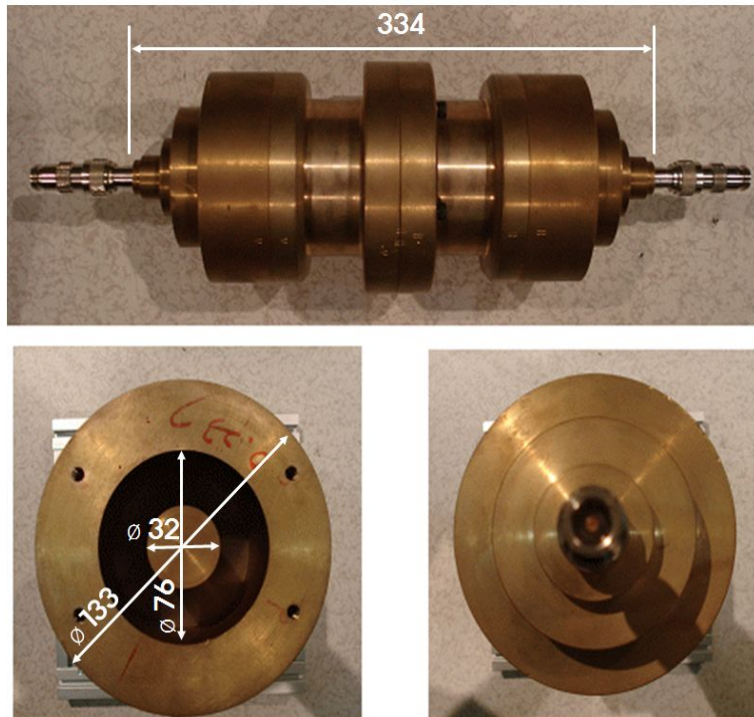
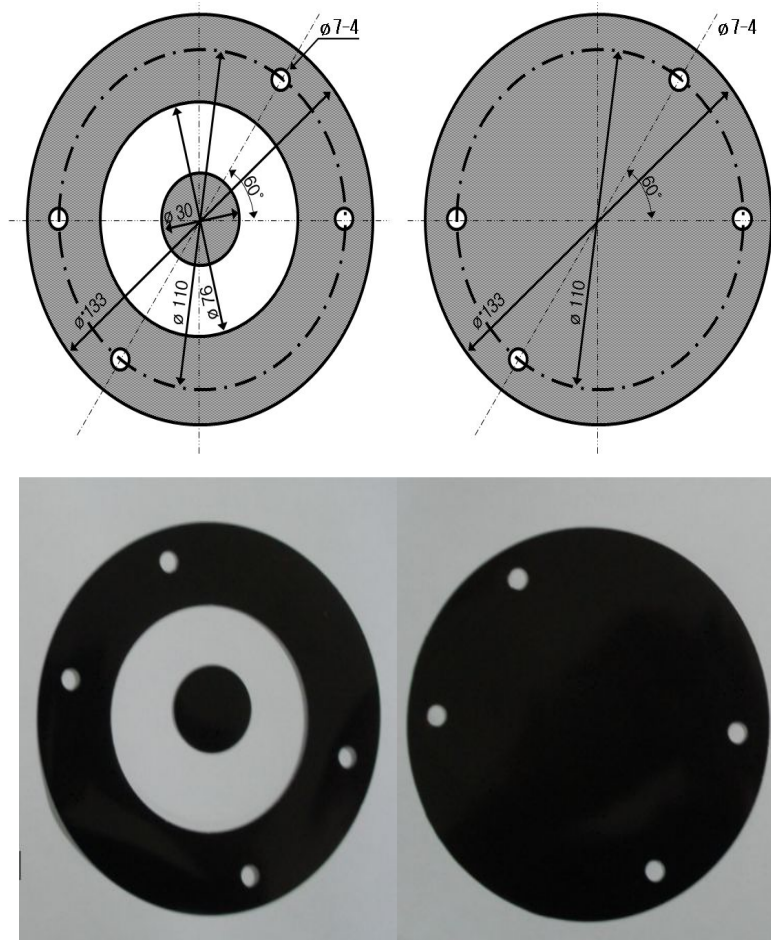


Fig. 9 Flanged coaxial transmission line sample holder



(a) Reference

(b) Load

Fig. 10 Dimensions of reference and load specimens

Fig. 11에 사용된 전자파 측정 실험장치 시스템을 나타내었다. 사용된 Anritsu 37369C 모델은 전자파장해 시험 수신기와 신호발생기가 통합된 장치로 주파수 범위는 각각 40MHz ~ 40GHz이다. 제작한 시험편을 Fig. 9와 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 장해 시험 수신기에 나타나는 전자파 수신량을 측정하였다.

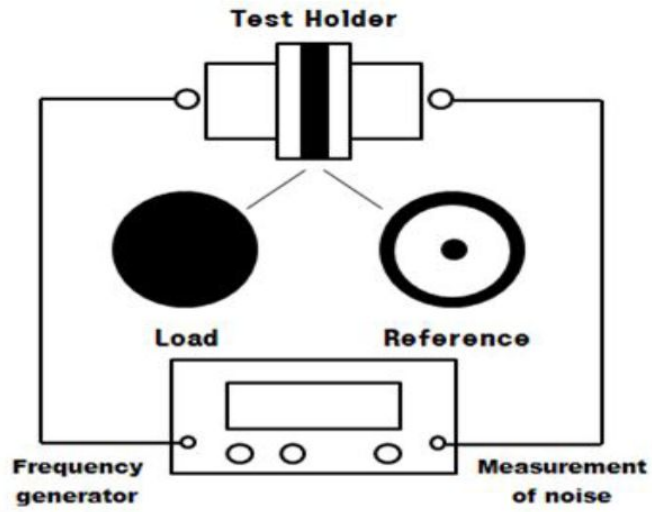


Fig. 11 Experimental set-up electromagnetic compatibility test system

2.6 카본블랙의 도전성

카본블랙은 입자 지름 1nm-1mm의 구형에 가까운 입자로 입자가 몇 개 씩 뭉쳐진 형태 (particle aggregates)로 존재하며, 각각의 기본입자의 내부는 350pm-380pm 간격의 층상구조가 표면에 대해 평행한 방향으로 배열되어 있는 모양을 하고 있다. 고분자 복합재료를 흡수체로 사용하는 경우 충전제로 사용되는 자성체를 최대한 많이 충전시켜야 높은 흡수율을 나타낼 수 있으며 충전제의 입자 형상에 따라서도 많은 영향을 받는데 입자 형상은 aspect ratio가 높은 판상형으로 적용 시 가장 좋은 흡수 특성을 나타낼 수 있다고 알려져 있다.^{39~41)} 즉, 판상 처리(rolling treatment) 하게 되면 자성체 내의 dipole grain 수가 증가하고 dipole을 일방향으로 정렬시킬 수 있어서 투자율이 증가할 뿐만 아니라 자기이력손실의 감소도 이룰 수 있기 때문에 흡수특성도 증가하는 것이다. 카본블랙은 제조방법에 따라 channel black, furnace black, thermal black 의 3종류로 분류되며 이것들은 물리적으로는 충전제 분말의 모양 표면적 크기가 다르고 화학적으로는 표면에 생성된 산화물의 구조에 따라 다르다.^{42~43)} 이러한 화학적 성질에 따라 전기적 성질이 크게 좌우되며 일반적으로 furnace black이 가장 우수한 전기전도성을 나타낸다고 알려져 있다.⁴⁴⁾

카본블랙은 대기 중에서 $0.1-10^2\text{S/cm}$ 정도의 도전성을 가지며 고분자 물질에 일정 농도 이상을 첨가하여 도전재로서 전도성패키지제작, 케이블의 반 도전층 및 전지제작 등에 널리 사용되고 있다.⁴⁵⁾ 카본블랙이 도전성을 지니는 이유를 설명하는 이론으로는 카본블랙 입자가 연쇄구조를 형성하고 이 연쇄를 통하여 전자가 이동하여 도전형상이 생긴다는 도전현상이 생긴다는 도전 통로설, 연쇄구조가 아닌 경우 카본블랙 입자 간을 전자가 jump하여 도전성이 생긴다는 tunnel 효과설, 카본블랙 입자간의 높은 전계 강도에 의해 도전성을 나타낸다는 전계 방사설을 들 수 있다.⁴⁶⁾

카본블랙의 도전성에 영향을 미치는 요소는 다음과 같다. 일반적으로 high structure 카본블랙이 low structure의 것보다 agglomerates의 비 응축성 및 shape의 불규칙성이 강하기 때문에 도전성이 우수하며, 공극률이 높을수록 입자경이 작을수록 입자간 거리가 짧기 때문에 도전성이 우수하다. 카본블랙은 대부분의 탄소와 산소, 수소, 황 및 질소, 할로젠 등 그밖에 다른 성분들로 구성된다. 이러한 non-carboncontents들은 대부분이 카본블랙 내부보다 표면에 존재하는 것으로 알려져 있으며 그 농도가 증가하면 도전성이 감소된다고 보고되어 있다.^{47~48)}

제 3장 시험편 제작

3.1 카본블랙 복합재료의 제작

3.1.1 시험편 재료

본 연구에서 사용된 전도성 재료인 카본블랙(Carbon black paste)은 K 회사의 제품을 사용하였으며, 분산제는 B사의 분산제 DB-2150을 사용하였고, 바인더 수지로는 S사의 SM(스티렌-아크릴)계 SW 7076을 사용하였다. 기지재료는 J사의 PET 필름을 사용하였다. 각 재료의 물성은 Table 2, Table 3, Table 4, Table 5에 각각 나타내었다. Fig. 12는 시험편 제작 시 사용된 카본블랙의 주사 전자 현미경(Scanning electron microscopy : SEM) 사진으로 포도송이처럼 고르게 잘 분포 되어 있음을 확인할 수 있었다.

Table 2 Typical properties of Carbon black

| Trad name | Surface Area[mg/g] | Particle Diameter[nm] | Apparent Density [Kg/m ³] | pH |
|--------------|--------------------|-----------------------|---------------------------------------|----|
| HI-BLACK 41Y | 120 | 23 | 170 | 8 |

Table 3 The Typical Properties of Dispersants

| Trad name | Amine value (mg KOH/g) | Density (20 °C, g/mL) | Non-volatile matter(%) |
|-----------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| DB-2150 | 57 | 1.01 | 52.0 |

Table 4 Typical properties of binder resin

| Trad name | Acid Value (mgKOH/g) | Tg (°C) | Moisture Content (%) |
|-----------|-------------------------|------------|-------------------------|
| SW7076 | 8.0 ~ 16.0 | 62 ~ 68 | 0.3 |

Table 5 Typical properties of PET film

| Trad name | Thickness [μm] | heat resisting temperature [°C] | Tensile Strength [kg/cm ²] | density [g/cm ³] | EL[%] |
|-----------|--------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------|-------|
| AG3381 | 3.5 | 140 | 3.7 | 1.4 | 300 |

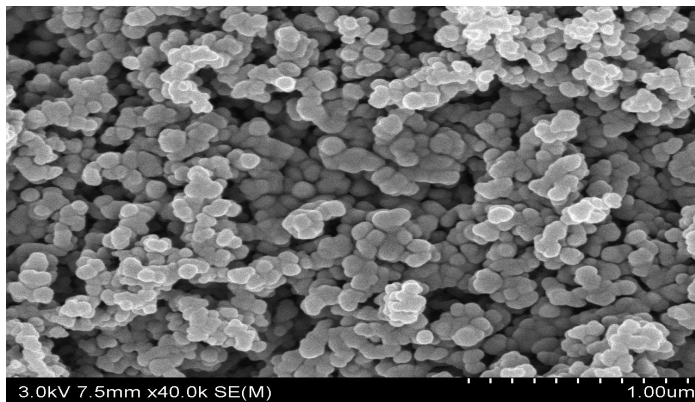


Fig. 12 Microstructures of carbon black powder

3.1.2 카본블랙페이스트 시험편 제작

카본블랙은 분산 특성에 영향을 줄 수 있는 표면의 수분 성분을 제거하기 위해 100 °C에서 2시간 동안 건조한 후 분산제를 첨가하여 카본블랙 밀베이스를 제조하였다. Fig. 13에서 볼 수 있듯이 본 실험에서는 분산기(paint shaker) 안에 밀베이스와 비즈

(beads)를 함께 투입시킨 후, 비즈밀(beads-mill) 분산을 행하였다. 분산된 카본블랙 밀 베이스를 바인더 수지와 혼합하여 600 rpm의 속도로 1시간 동안 교반기를 통해 교반 시킴으로써 전도성 카본블랙 페이스트를 고르게 분산시킬 수 있도록 하였다. 카본블랙 파우더에 대해 분산제 고형분의 함량을 30%(SOP 30%)로 첨가하였다. 바인더 수지의 고형분은 페이스트의 분산 안정성과 전기 전도성을 고려하여 카본블랙페이스트 대해 24%를 첨가하였다. Fig. 14에 제작한 카본블랙페이스트의 주사 전자 현미경(Scanning electro microscopy : SEM) 사진을 나타내었다.

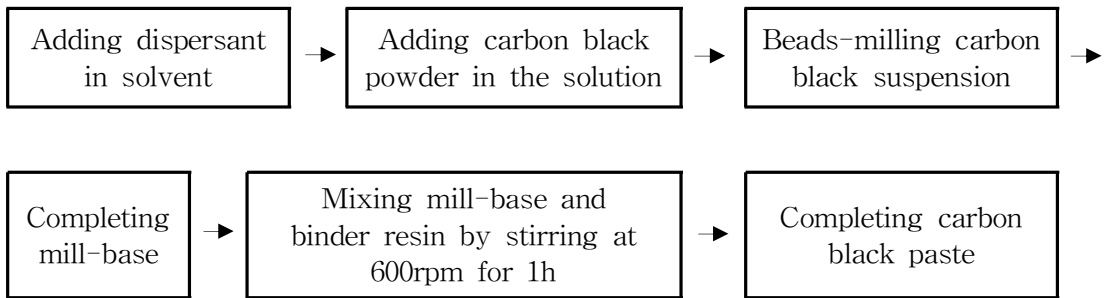


Fig. 13 The manufacturing process of carbon-black paste

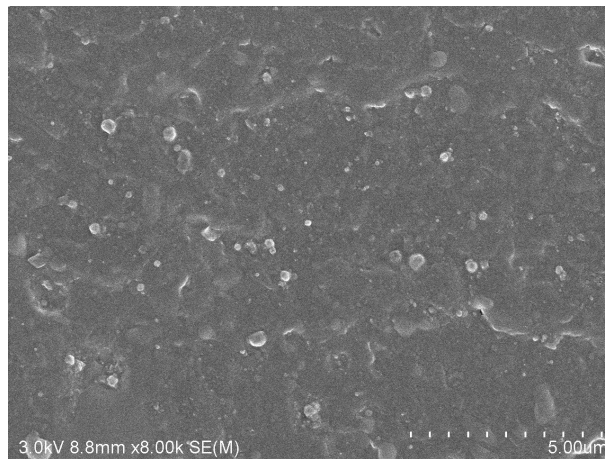


Fig. 14 Microstructure of carbon black paste

시험편 제작시 카본블랙페이스트가 고르게 분포되면서 적절한 점성을 갖도록 하기 위해 카본블랙 함량이 5wt%, 7.5wt%인 카본블랙페이스트를 용매인 시너(Thinner)에 부피비 1:1, 1:2, 1:3으로 혼합하여 600 rpm으로 30분 동안 교반하였다. 이 과정에서 시

너(Thinner)의 기화를 막으면서 혼합이 잘되게 하기 위하여 40℃로 유지하였다. Fig. 15에 시험편 제작 시 사용된 교반기(Stirrer)와 온도를 유지하기 위한 장치인 Heating mantle 을 도시하였다.

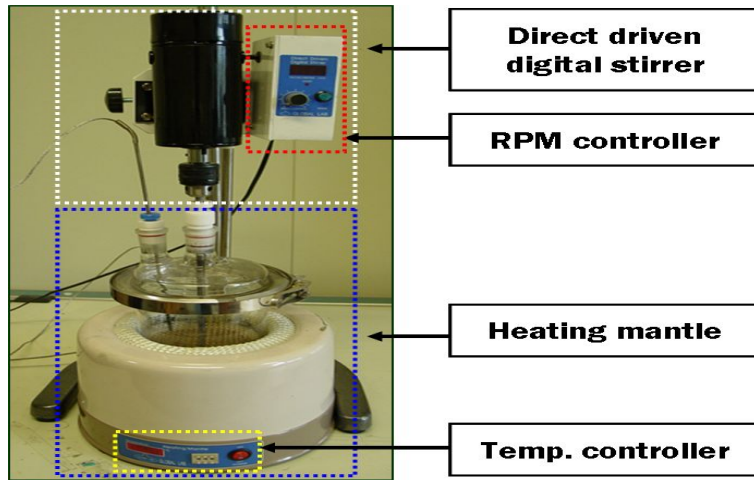


Fig. 15 Stirrer and temperature control system

Table 6과 7에 각각 시험편 제작 시 사용된 교반기와 Heating mantle 의 사양을 나타내었다.

Table 6 Specification of direct driven digital stirrer

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

Table 7 Specification of heating mantle

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

카본블랙페이스트와 시너(Thinner)가 혼합된 용액을 스프레이건을 사용하여 PET 필름에 도포하였고, 건조는 80℃ 오븐에서 5분간 건조한 뒤에 상온에서 24시간 자연건조를 실시하였다. 카본블랙의 함량과 시험편의 두께를 조절하기 위하여 1회 도포 후 완

전히 건조시킨 다음 2회, 3회 도포를 실시하였다. 이때 사용된 스프레이건의 사양은 Table 8과 같다.

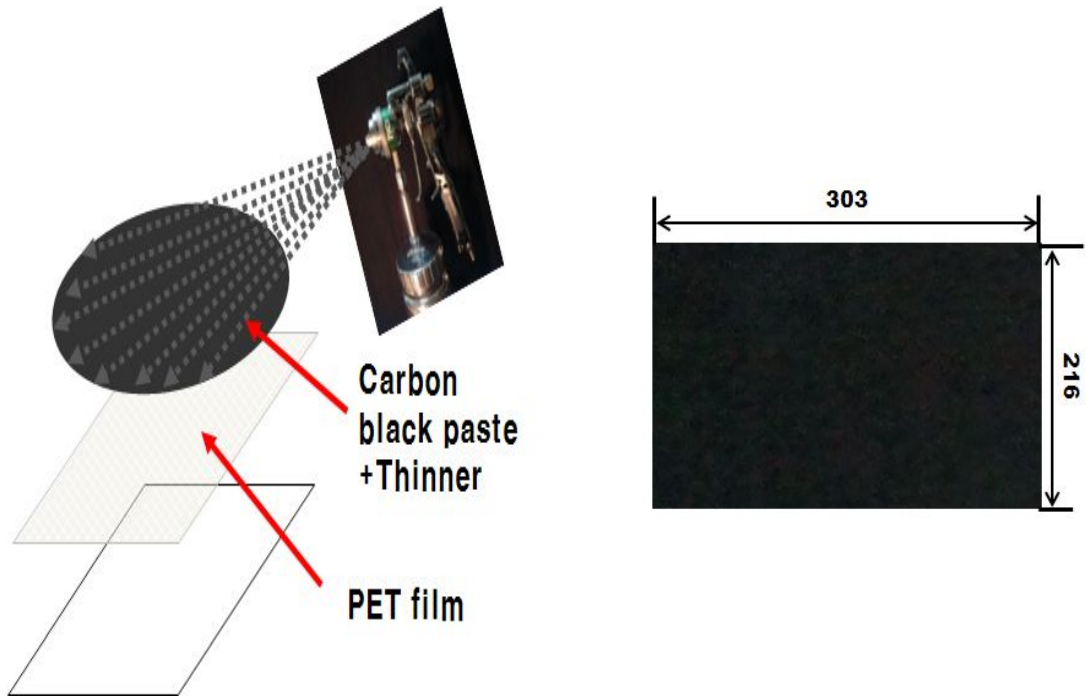
Table 8 Specification of Spray gun

| Voltage [V] | Wattage [W] | Max. motor speed [RPM] | Flow[ml/min] |
|-------------|-------------|------------------------|--------------|
| AC 220 | 600 | 30,000 | 180~380 |

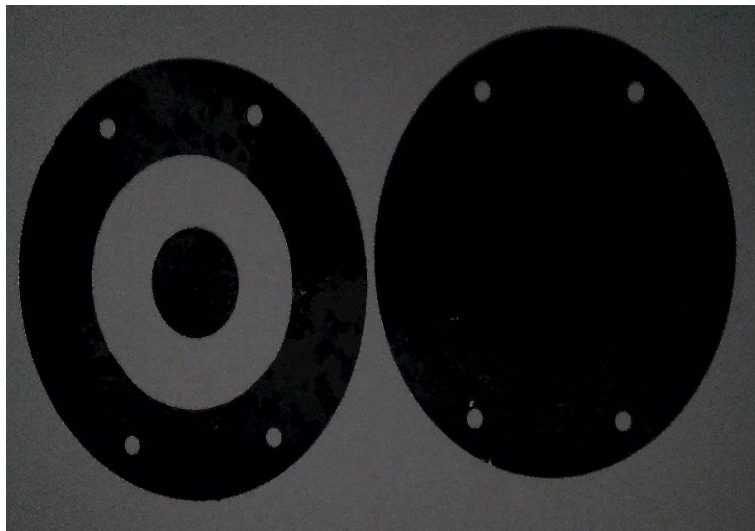
카본블랙페이스트와 시너(Thinner)를 부피비로 1:1, 1:2, 1:3으로 각각 혼합하여 교반기를 사용하여 600rpm으로 10분 동안 교반한 용액을 Fig. 16(a)와 같이 스프레이건을 사용하여 도포하는 방법으로 PET필름에 3회 도포하여 완전 건조시킨 후 $303 \times 216 \times 0.35\text{mm}$ 크기를 가지는 PET필름 시험편을 제작하였고 다음으로 Fig. 16의 (b)와 같은 형상으로 플랜지형 동축 전송선 측정 치구에 결합할 수 있도록 ASTM D4935-89 규격을 참고하여 직경이 133mm를 가지는 시험편을 시험 조건별로 카본블랙 5wt% 첨가된 카본블랙페이스트에 시너(Thinner)를 부피비로 1:1로 혼합한 PCb1, 부피비로 1:2로 혼합한 PCb2, 부피비로 1:3으로 혼합한 PCb3 와 카본블랙 7.5wt% 첨가된 카본블랙페이스트에 시너(Thinner)를 부피비로 1:1로 혼합한 PCb4, 부피비로 1:2로 혼합한 PCb5, 부피비로 1:3으로 혼합한 PCb6 시험편을 각각 3개씩 제작하였다. 제작한 시험편을 각 종류별로 Table 9에 도시하였다.

Table 9 Staking materials of specimen

| Specimen | Material |
|----------|---|
| PCb1 | PET film / 1(Carbon black paste-Carbon black 5Wt%) : 1(Thinner) |
| PCb2 | PET film / 1(Carbon black paste-Carbon black 5Wt%) : 2(Thinner) |
| PCb3 | PET film / 1(Carbon black paste-Carbon black 5Wt%) : 3(Thinner) |
| PCb4 | PET film / 1(Carbon black paste-Carbon black 7.5Wt%) : 1(Thinner) |
| PCb5 | PET film / 1(Carbon black paste-Carbon black 7.5Wt%) : 2(Thinner) |
| PCb6 | PET film / 1(Carbon black paste-Carbon black 7.5Wt%) : 3(Thinner) |



(a) manufacturing process



(b) specimens

Fig. 16 Manufacturing process of PCB specimens

3.2 섬유강화 복합재료의 제작 방법

3.2.1 시험편 재료

전자파 차폐용 섬유강화 복합재료 시험편 제작 시 사용된 강화재로 H사의 일방향 탄소섬유(Toray T-300)와 PCB1을 사용하였고, 충전재로 S사의 알루미늄 필름 (AG3381)과 구리필름(CDA102)을 사용하였다. 시험편의 접착제는 P사의 에폭시 접착제(EP-40)를 사용하였다. 각 재료의 물성은 Table 10, Table 11, Table 12에 각각 나타내었다.

Table 10 Typical properties of Carbon fiber mat

| Trad name | Thickness [μm] | Tensile Strength [kg/mm^2] | Density (g/cm^3) | Surface Resistivity (Ω/\square) | EL (%) |
|-----------|-----------------------------|--|------------------------------------|--|--------|
| T-300 | 4.2 | 360 | 1.76 | 1 | 1.5 |

Table 11 Typical properties of Aluminum film

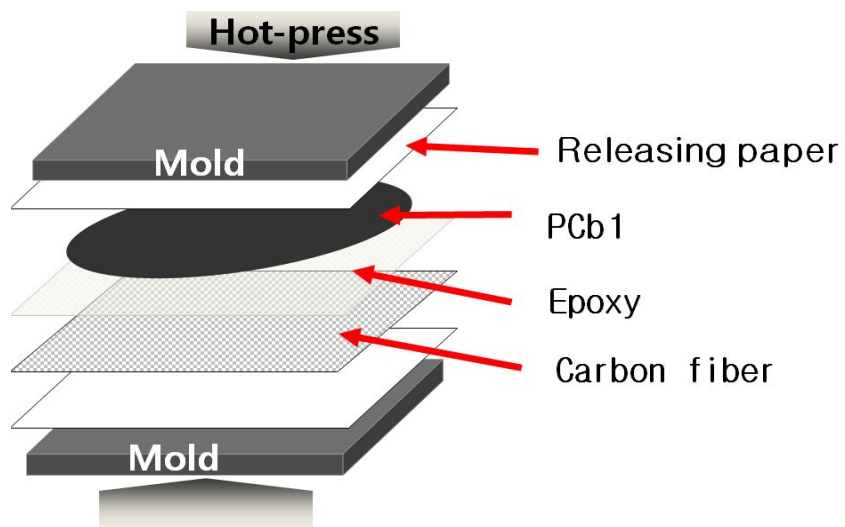
| Trad name | Thickness [μm] | Tensile Strength [kg/mm^2] | EL[%] |
|-----------|-----------------------------|--|-------|
| AG3381 | 5.1 | 7.6 | 2.0 |

Table 12 Typical properties of Copper film

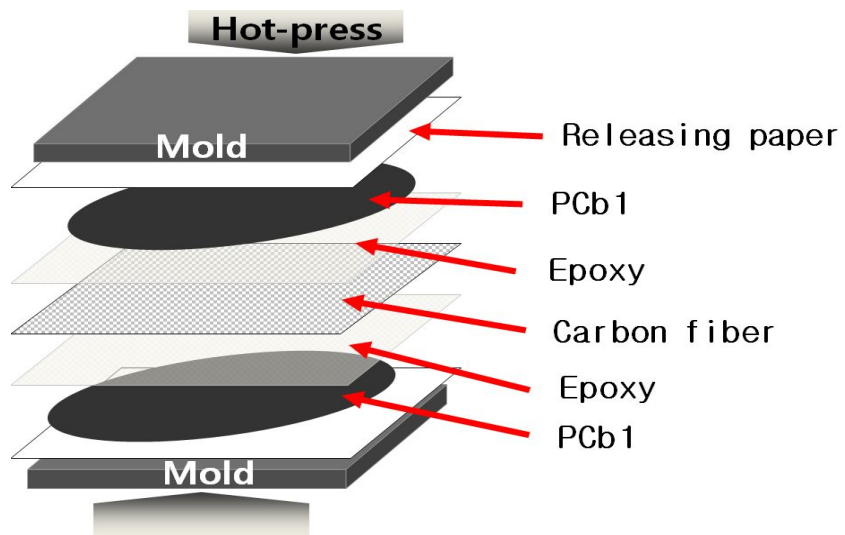
| Trad name | Thickness [μm] | Tensile Strength [kg/mm^2] | EL[%] |
|-----------|-----------------------------|--|-------|
| CDA102 | 7.0 | 4.5 | 2.5 |

3.2.2 섬유강화 복합재료 시험편 제작

카본블랙 5Wt% 첨가된 카본블랙페이스트를 PET필름에 도포 후 80℃ 오븐에서 5분 간 건조한 뒤에 상온에서 24시간 자연건조를 실시한 PCb1[PET film/1(Carbon black paste-Carbon black 5Wt%):1(Thinner)]을 에폭시 접착제를 이용하여 탄소섬유매트에 접착시킨 후 80℃의 고온 압축 프레스를 사용하여 제작한 탄소섬유 강화 복합재료 시험편(Carbon Fiber Reinforced Plastics; CFRP)을 제작하였다. 또한 CFRP 시험편을 이용하여 PET film/CFRP/PET film으로 적층한 CFRP샌드위치 시험편(CFRPS), CFRP 시험편의 한쪽 면에 구리 필름을 접착시킨 구리 시험편 CC(CFRP/Cu film), CFRP 시험편의 한쪽 면에 알루미늄 필름을 접착시킨 알루미늄 시험편 AC(CFRP/Al film), 구리 필름을 코어재로 사용하고 코어재 양쪽 면에 면재인 CFRP 시험편을 배치한 구리 샌드위치 시험편 CCS(CFRP/Cu film/CFRP), 알루미늄 필름을 코어재로 사용하고 코어재 양쪽 면에 면재인 CFRP 시험편을 접착한 알루미늄 샌드위치 시험편 ACS(CFRP/Al film/CFRP)을 Fig. 17 Fig. 18과 같은 방법으로 제작하여 ASTM D4935-89 규격을 참고하여 시험편을 각각 3개씩 제작하였다. 시험편 제작 시 사용된 적층 재료는 Table 13과 같다. 시험편 제작 시 카본블랙 7.5Wt% 첨가된 카본블랙페이스트를 사용하면 도전성 고분자 재료의 함량 증가로 인해 전자파 차폐효율이 증가할 것으로 예상되나, 카본블랙의 함량증가에 따른 수지 점성 증가로 인한 시험편 성형의 어려움으로 카본블랙 5Wt% 첨가된 카본블랙페이스트를 이용하여 시험편을 제작하였다. 전자파 차폐효율은 동일한 조건에서 만들어진 기준 시험편과 부하 시험편의 전자파 수신량을 측정하여 부하 시험편 장착 시 측정된 전자파 수신량과 기준시험편 장착 시 측정된 전자파 수신량의 차이를 식(2)를 이용하여 전자파 차폐효율 값을 계산하였다. 전자파 차폐 실험은 동일조건에 대하여 각각 3 회씩 측정한 평균값을 구하였다. Fig. 19에 CFRP, CC, AC 시험편과 CFRPS, CCS, ACC 시험편의 절단면 사진을 도시하였다.

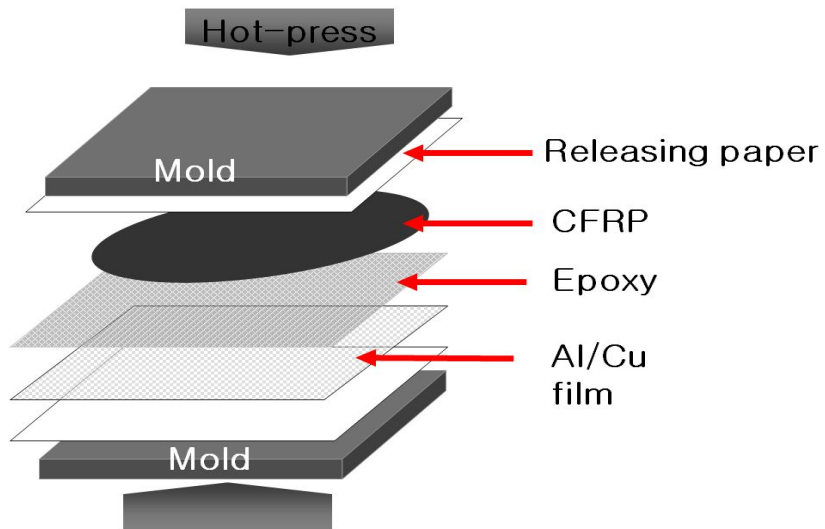


(a) CFRP

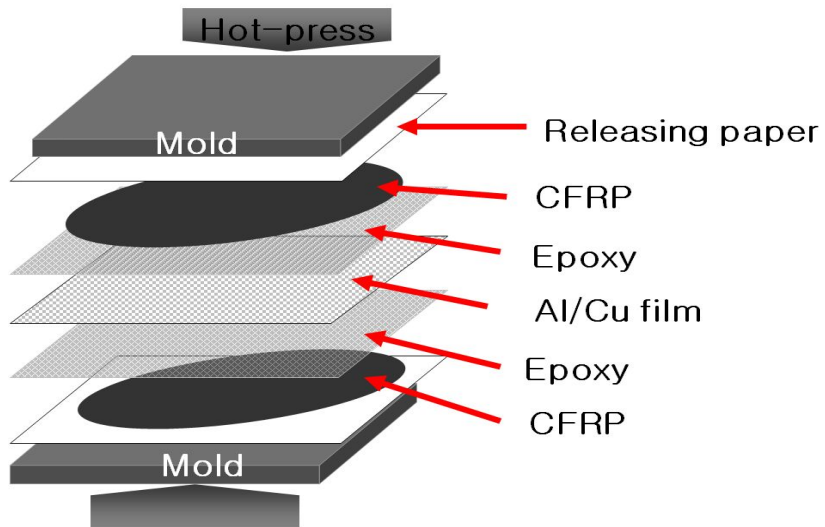


(b) CFRPS

Fig 17. CFRP/CFRPS specimen manufacturing process

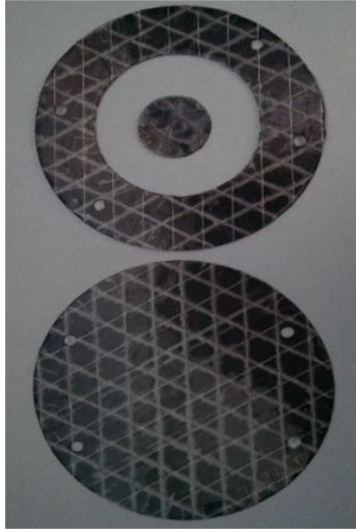


(a) Normal



(b) Sandwich

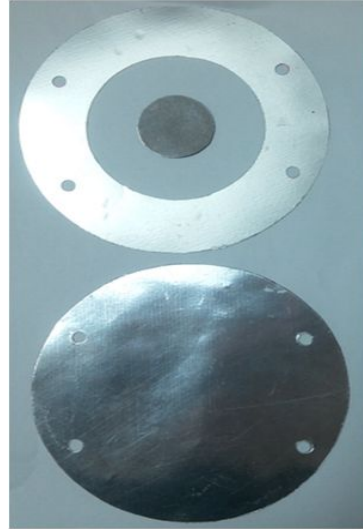
Fig. 18 A metal(Al/Cu) thin film specimen manufacturing process



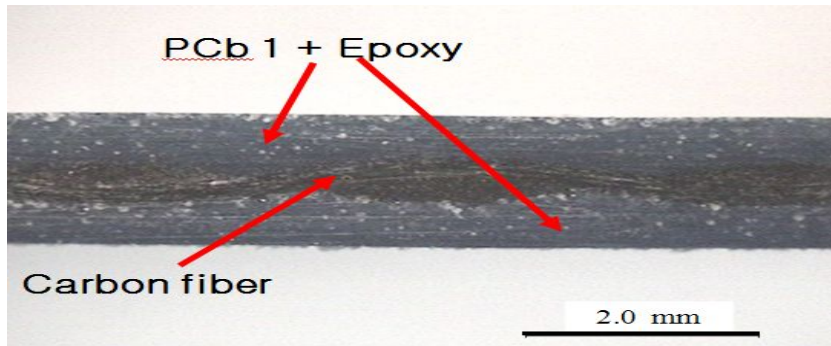
(a) CFRP specimen



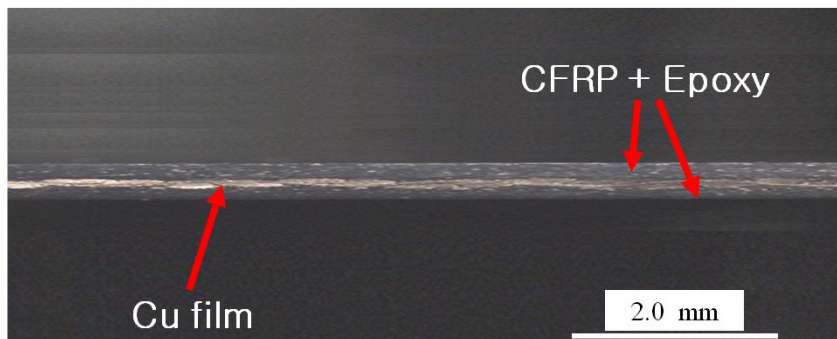
(b) CC specimen



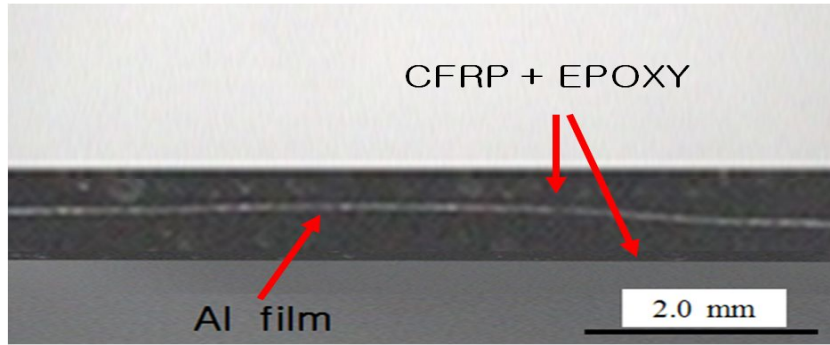
(c) AC specimen



(d) CFRPS specimen



(e) CCS specimen



(f) ACS specimen

Fig. 19 CFRP / CC / AC specimen and Micro-structures in CFRPS / CCS / ACS specimens($\times 40$)

Table 13 Staking materials of specimen

| Specimen | Material |
|----------|--------------------|
| CFRP | Carbon fiber /PCb1 |
| CFRPS | PCb1/CFRP/PCb1 |
| AC | Al film/CFRP |
| ACS | CFRP/Al film/CFRP |
| CC | Cu film/CFRP |
| CCS | CFRP/Cu film/CFRP |

제 4장 실험 결과 및 고찰

4.1 카본블랙 함량에 따른 전자파 차폐효율

전도성 고분자 재료인 카본블랙이 전자파 차폐효율에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 카본블랙을 5wt% 첨가한 카본블랙페이스트와 카본블랙 7.5wt% 첨가한 카본블랙페이스트를 사용하여 시험편을 제작하여 전자파 차폐효율을 측정하였다.

시험편의 제작은 카본블랙 5wt%, 7.5wt% 첨가한 카본블랙페이스트를 시너(Thinner)와 부피비 1:1로 희석하여 PET필름에 스프레이건을 사용하여 1회 도포 후 가열 건조의 방법으로 3회 도포를 실시하여 카본블랙 5wt% 첨가된 시험편(PET_Cb(5wt%))과 카본블랙 7.5wt% 첨가된 시험편(PET_Cb(7.5wt%))을 제작하였다. 전자파 차폐효율 측정결과를 Fig. 20에 도시하였다. 시험편 제작 시 카본블랙페이스트를 1회 ~ 2회 도포한 시험편은 공극의 발생과 평균 차폐효율이 약 1 dB ~ 2 dB 정도로 낮게 측정되어 모든 시험편에 카본블랙페이스트를 3회 도포하여 시험편을 제작하였다.

PET_Cb(5wt%) 시험편은 측정주파수 범위인 300MHz ~ 1,500MHz 영역에서 4.4 dB ~ 5.8 dB의 차폐효율을 나타내었고, 1,400MHz 영역에서 4.4 dB의 최소 차폐효율과 1,500MHz 영역에서 5.8 dB의 최대 차폐효율을 나타내었다. 또한 600MHz 영역에서 4.5 dB의 낮은 차폐효율을 나타내다 700MHz 영역에서 5.5 dB의 두 번째로 높은 차폐효율을 보였다.

PET_Cb(5wt%) 시험편에서는 측정주파수 범위인 300MHz ~ 1,500MHz 영역에서 7.2 dB ~ 10 dB의 차폐효율을 나타내었고, 1,400MHz 영역에서 6.5 dB의 최소 차폐효율과 1,500MHz 영역에서 10 dB의 최대 차폐효율을 나타내었다. PET_Cb(7.5wt%) 시험편에서도 PET_Cb(5wt%) 시험편과 유사한 차폐효율을 나타내는 특성을 보였다.

모든 주파수 영역대에서 PET_Cb(7.5wt%) 시험편이 약 2 dB ~ 4 dB 정도 높은 차폐효율을 나타내었다. 이러한 결과는 카본블랙의 첨가량에 따라서 전자파 차폐효율에 영향을 미침을 알 수 있었다. 도전성 고분자 재료인 카본블랙의 첨가 중량비를 증가시키수록 시험편의 도전성이 증가되어 보다 높은 차폐효율이 나타났으나, 카본블랙의 첨가 중량비 증가 시 점성의 증가로 인한 도포의 어려움과 가열건조 시간의 증가로 인한 시험편 제작이 어려웠다.

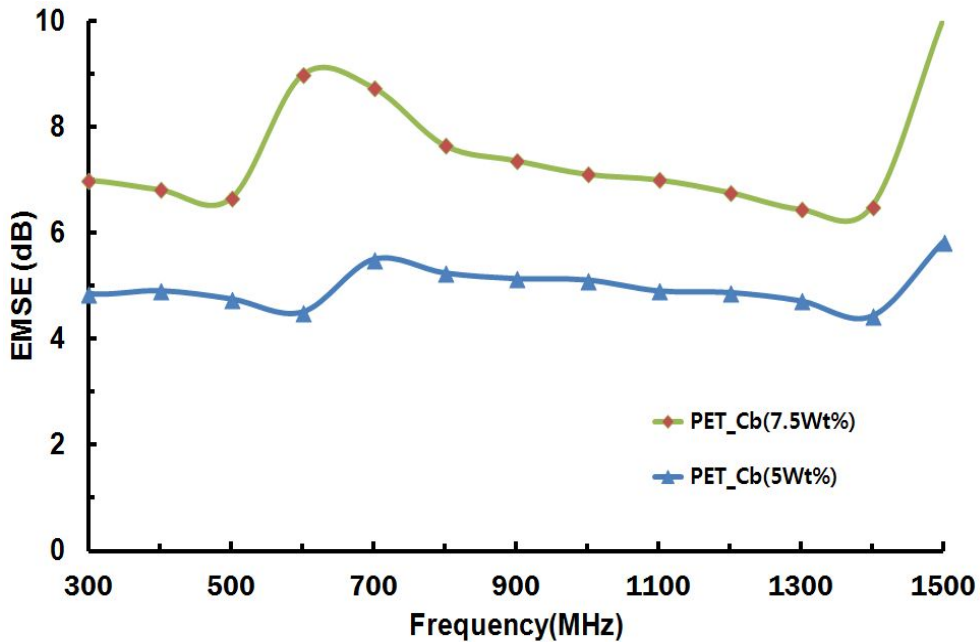


Fig. 20 EMSE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.5GHz range of PCb1 and PCb4 specimens

4.2 카본블랙페이스트 희석비에 따른 전자파 차폐효율

카본블랙을 첨가하여 제조한 카본블랙페이스트를 도료처럼 도포하였을 때의 도포성과 전자파 차폐효율을 고찰해 보기 위하여 카본블랙의 첨가량과 용제와의 희석비를 달리하여 전자파 차폐효율을 측정하였다.

시험편의 제작은 카본블랙 5wt% 첨가한 카본블랙페이스트와 시너(Thinner)를 부피비 1:1, 1:2, 1:3으로 희석하여 PET필름에 스프레이건을 사용하여 1회 도포 후 가열 건조하는 방법으로 3회 도포를 실시하여 PCb1[1(Carbon black paste_Carbon black 5Wt%) : 1(Thinner)], PCb2 [1(Carbon black paste_Carbon black 5Wt%) : 2(Thinner)], PCb3 [1(Carbon black paste_Carbon black 5Wt%) : 3(Thinner)] 시험편을 제작하였다. 또한 카본블랙 7.5wt% 첨가한 카본블랙페이스트를 에탄올과 부피비 1:1, 1:2, 1:3으로 희석하여 위의 시험편 제작방법과 동일한 방법으로 PCb4[1(Carbon black paste_Carbon black 7.5Wt%) : 1(Thinner)], PCb5[1(Carbon black paste_Carbon black 7.5Wt%) :

2(Thinner)], PCb6[1(Carbon black paste_Carbon black 7.5Wt%) : 3(Thinner)]시험편을 제작하여 전자파 차폐효율을 측정하였다.

Fig. 21에 PCb1, PCb2, PCb3 시험편의 차폐효율 측정결과를 도시하였다. 카본블랙 5wt% 첨가한 시험편에서는 주파수 측정 영역대에서 PCb1 시험편의 차폐효율이 4.4 dB ~ 5.8 dB로 가장 높은 차폐효율을 나타내었고, 1,400MHz 영역에서 4.4 dB의 최소 차폐효율을 나타낸 후 1,500MHz 영역에서 5.8 dB의 최대 차폐효율을 나타내었다. PCb2 시험편의 차폐효율은 주파수 측정 영역대에서 3.6 dB ~ 4.7 dB의 차폐효율을 나타내었고, PCb1 시험편과 동일하게 1,400MHz 영역에서 3.6 dB의 최소 차폐효율을 나타낸 후 1,500MHz 영역에서 4.7 dB의 최대 차폐효율을 나타내었다. PCb3 시험편의 차폐효율은 주파수 측정 영역대에서 2.7 dB ~ 3.5 dB의 가장 낮은 차폐효율을 나타내었고, PCb1, PCb2 시험편과 동일하게 1,400MHz 영역에서 2.7 dB의 최소 차폐효율을 나타낸 후 1,500MHz 영역에서 3.5 dB의 최대 차폐효율을 나타내었다. 각각의 시험편에서 최소 차폐효율과 최대 차폐효율은 약 1 dB 정도의 차이를 나타내었고 시험편간의 차폐효율 또한 약 1 dB 정도의 차이를 나타내었다.

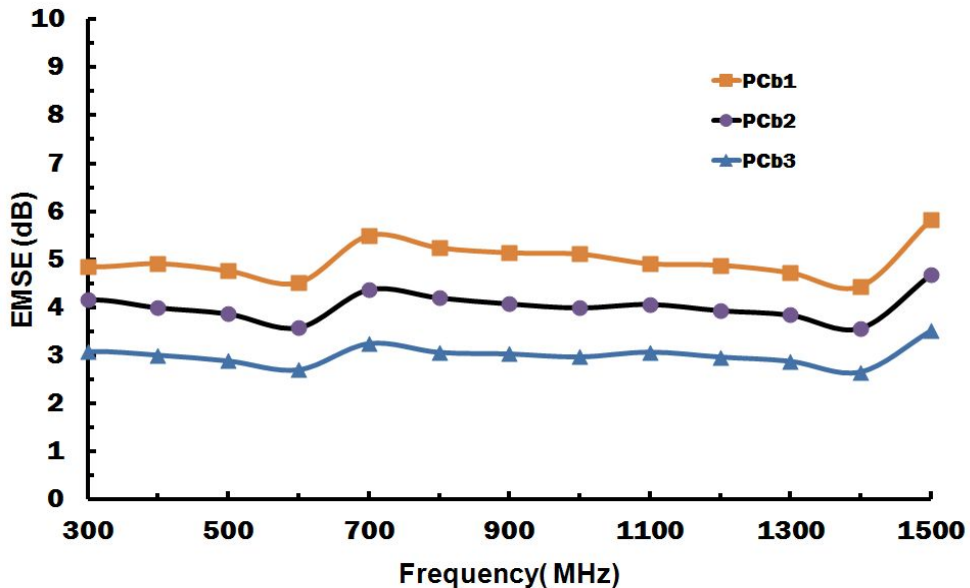


Fig. 21 EMSE of carbon black (5Wt%) and solvents dilution ratio according to the specimen

Fig. 22에 PCb4, PCb5, PCb6 시험편의 차폐효율 측정결과를 도시하였다. 카본블랙을 7.5wt% 첨가한 시험편에서는 주파수 측정 영역대에서 PCb4 시험편의 차폐효율이

6.5 dB ~ 10 dB로 가장 높은 차폐효율을 나타내었고, 1,400MHz 영역에서 6.5 dB의 최소 차폐효율을 나타낸 후 1,500MHz 영역에서 10 dB의 최대 차폐효율을 나타내었다. PCb5 시험편의 차폐효율은 주파수 측정 영역대에서 4.7 dB ~ 7.7 dB의 차폐효율을 나타내었고, PCb4 시험편과 동일하게 1,400MHz 영역에서 4.7 dB의 최소 차폐효율을 나타낸 후 1,500MHz 영역에서 7.7 dB의 최대 차폐효율을 나타내었다. PCb6 시험편의 차폐효율은 주파수 측정 영역대에서 3.6 dB ~ 5.6 dB의 가장 낮은 차폐효율을 나타내었고, PCb4, PCb5 시험편과 동일하게 1,400MHz 영역에서 3.6 dB의 최소 차폐효율을 나타낸 후 1,500MHz 영역에서 5.6 dB의 최대 차폐효율을 나타내었다. 각각의 시험편에서 최소 차폐효율과 최대 차폐효율은 약 2 dB ~ 3.5 dB 정도의 차이를 나타내었고 시험편간의 차폐효율 또한 약 2 dB ~ 4 dB 정도의 차이를 보여 카본블랙의 함량이 증가할수록 전자파 차폐효율의 증가폭이 커짐을 알 수 있었다.

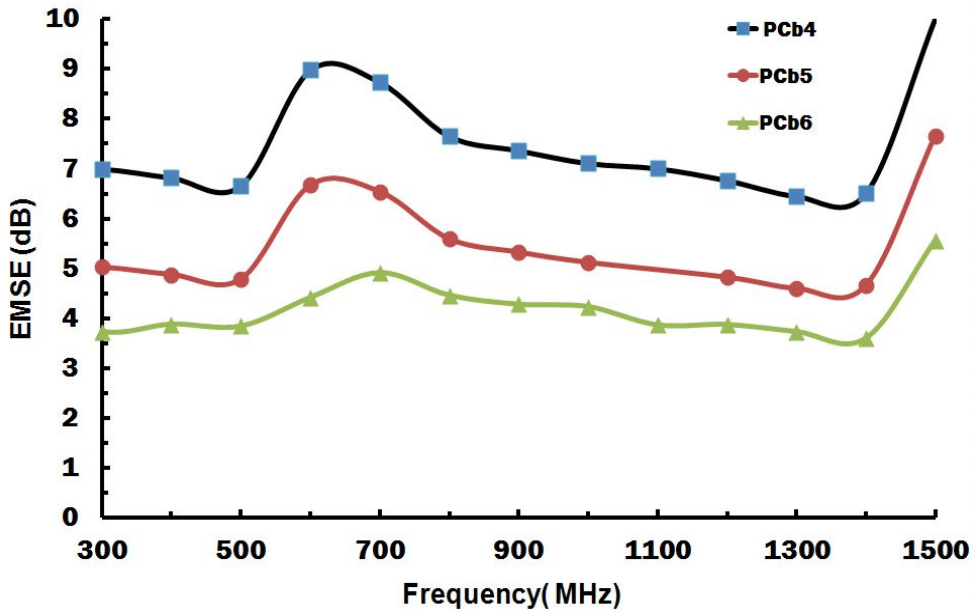


Fig. 22 EMSE of carbon black (7.5Wt%) solvents dilution ratio according to the specimen

Fig. 23에 PCb1, PCb4, PCb5, PCb6 시험편의 차폐효율 측정결과를 도시하였다. PCb1 ~ PCb6 시험편에서 시너(Thinner)의 희석비에 대한 전자파 차폐효율을 비교하

면 카본블랙 5Wt% 첨가한 PCb1 시험편의 차폐효율이 카본블랙 7.5Wt% 첨가한 PCb6 시험편의 차폐효율보다 주파수 측정 영역대에서 약 1 dB 정도 높은 전자파 차폐효율을 나타냈고, PCb5 시험편과의 비교에서도 600MHz, 1,500MHz 영역에서만 약 2 dB 정도 낮은 차폐효율을 나타내었다. 그 외 주파수 측정 영역대에서는 거의 유사한 차폐효율을 나타내었다. 이러한 결과는 카본블랙의 첨가량이 많더라도 시너(Thinner)의 함량이 증가할수록 전자파 차폐효율이 낮게 나타남을 알 수 있었다.

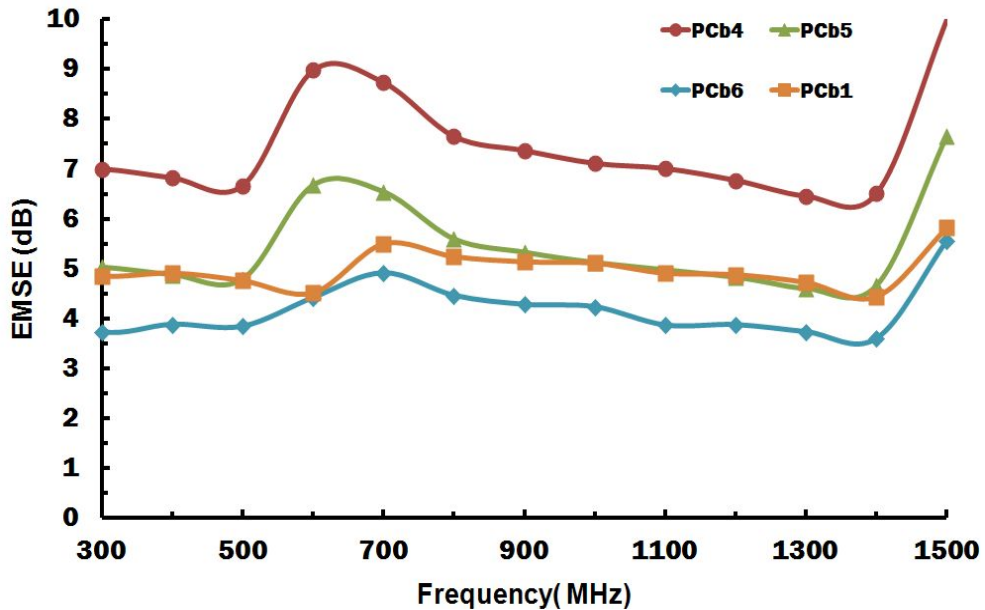


Fig. 23 EMSE due to the dilution ratio and the carbon black content of the specimen

카본블랙페이스트와 시너(Thinner)를 희석하여 도전성 도료로 사용하는 경우 시너(Thinner)의 부피비를 증가시킬수록 분산성 및 도포성이 좋아지는 경향을 보이나, 카본블랙페이스트와 시너(Thinner)의 부피비를 1:3으로 하여 도포하는 경우 점성의 저하와 공극의 발생이 증가하여 시험편에 고른 도포를 할 수 없어 전자파 차폐효율이 저하됨을 알 수 있었다. 또한 카본블랙의 함량을 증가시키고 시너(Thinner)의 함량을 감소시킬수록 전자파 차폐효율은 증가하였으나, 카본블랙 7.5Wt% 첨가한 PCb4 시험편의 경우 점성이 커져 도포 및 가열 건조의 소요 시간이 증가하여 시험편의 제작에 많은

어려움이 발생하였다. 따라서 PCb1 처럼 카본블랙 5Wt% 첨가한 카본블랙페이스트와 시너(Thinner)를 부피비 1:1로 희석하여 도포하고, 도포 횟수를 증가시킬 경우 보다 높은 전자파 차폐효율을 보일 것으로 판단된다.

4.3 카본블랙페이스트 시험편 적층에 의한 전자파 차폐효율

Fig. 24에 PCb1 시험편과 PCb_layer3 시험편의 전자파 차폐효율 측정결과를 도시하였다. 카본블랙페이스트를 PET필름에 도포한 후 가열 건조하는 방법으로 시험편 제작 시 많은 시간이 소요 되었다. 전자파 차폐효율을 증대시키기 위하여 도포 횟수를 증가시킬 경우 보다 많은 제작 시간이 소요되는 단점이 발생하였다. 따라서, 카본블랙페이스트를 1회 도포하여 적층한 시험편을 제작하여 전자파 차폐효율을 측정하였다. 시험편의 제작은 카본블랙 5Wt% 함유한 카본블랙페이스트와 시너(Thinner)를 부피비 1:1로 희석하여 PET필름에 1회 도포한 후 가열 건조하여 PCb[1(Carbon black paste-Carbon black 5Wt%) : 1(Thinner)] 시험편을 제작하고 PCb 시험편을 에폭시 접착제를 사용하여 3회 접착하여 적층한 PCb_layer3[PCb/Epoxy/PCb/Epoxy/PCb] 시험편을 제작하였다. 3회 적층한 시험편의 두께는 1.05mm이다. PCb_layer3 시험편의 차폐효율을 측정하여 카본블랙 함량이 동일하고 3회 도포하여 제작한 PCb1 시험편과의 전자파 차폐효율을 비교하였다.

측정주파수 범위인 300MHz ~ 1,500MHz 영역에서 PCb_layer3 시험편은 5 dB ~ 10 dB의 차폐효율을 나타내었고, 600MHz 영역대에서 가장 높은 10 dB의 최대 차폐효율을 나타내었다. PCb_layer3 시험편이 측정 주파수 영역대에서 PCb1 시험편보다 높은 차폐효율을 나타내었으며 특히 600MHz와 1,500MHz 주파수 영역대에서 약 5.6 dB와 약 3.2 dB 정도 높은 차폐효율을 나타내었다. 500MHz 주파수 영역대에서 5.1 dB, 900MHz 주파수 영역대에서 5.4 dB, 1,000MHz 주파수 영역대에서 5.3 dB로 PCb1 시험편과 비슷한 차폐효율을 나타내었고 나머지 주파수 영역대에서는 약 1 dB ~ 1.5 dB 정도 높은 차폐효율을 나타내었다.

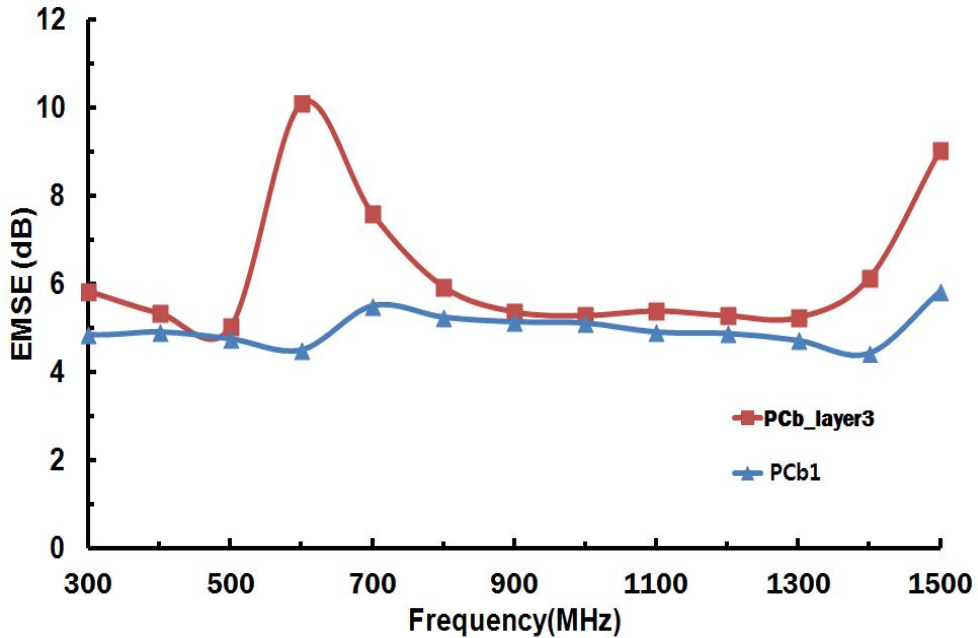


Fig. 24 Comparison of the EMSE by laminated and coated

4.4 CFRP와 CFRPS 시험편의 전자파 차폐효율

Fig 25에 CFRP와 CFRPS 전자파 차폐효율 측정결과를 도시하였다. 탄소섬유매트가 시험편 표면에 부착되어 표면재로 작용하였을 때와 양쪽 시험편 사이의 코어재로 작용하였을 때의 차폐효율을 알아보기 위하여 PCb1 시험편에 탄소섬유를 부착한 시험편 CFRP[PCb1/CFRP]과 PCb1 시험편에 탄소섬유를 코어재로 한 탄소섬유 샌드위치 시험편 CFRPS[PCb1/CFRP/PCb1] 시험편을 제작하여 전자파 차폐효율을 측정하였다.

CFRP 시험편은 측정 주파수 영역대에서 7 dB ~ 37 dB 차폐효율을 나타내었다. 약 37 dB의 최대 차폐효율을 600MHz 주파수 영역에서 나타내었다. 최소 차폐효율은 1,000MHz 주파수 영역에서 약 7 dB로 나타났다. 300MHz ~ 600MHz 주파수 영역대에서는 차폐효율이 증가하고 600MHz 주파수 영역 이후 차폐효율이 급감하여 1,000MHz 주파수 영역에서 최소 차폐효율을 나타낸 후 다시 차폐효율이 증가하는 특성을 보였다.

CFRPS는 측정 주파수 영역대에서 약 9 dB ~ 약 40 dB 차폐효율을 나타내었다. 최대 차폐효율은 600MHz 주파수 영역에서 약 40 dB로 나타났으며, 최소 차폐효율은

1,000MHz 주파수 영역에서 약 9 dB로 측정되었다. CFRPS 시험편에서는 300MHz 주파수에서 약 34 dB의 차폐효율을 나타낸 후 500MHz 주파수 영역대까지 약 28 dB로 차폐효율이 감소하다 600MHz 주파수 영역에서 최대 차폐효율을 나타내었다. 이후 주파수 영역대에서는 1,000MHz, 1,100MHz 주파수 영역대에서 10 dB, 12 dB로 CFRP 시험편보다 각각 4 dB, 3 dB 정도 높은 차폐효율을 나타냈으나 다른 측정 주파수 영역대에서는 CFRP 시험편과 유사한 차폐효율 나타내었다.

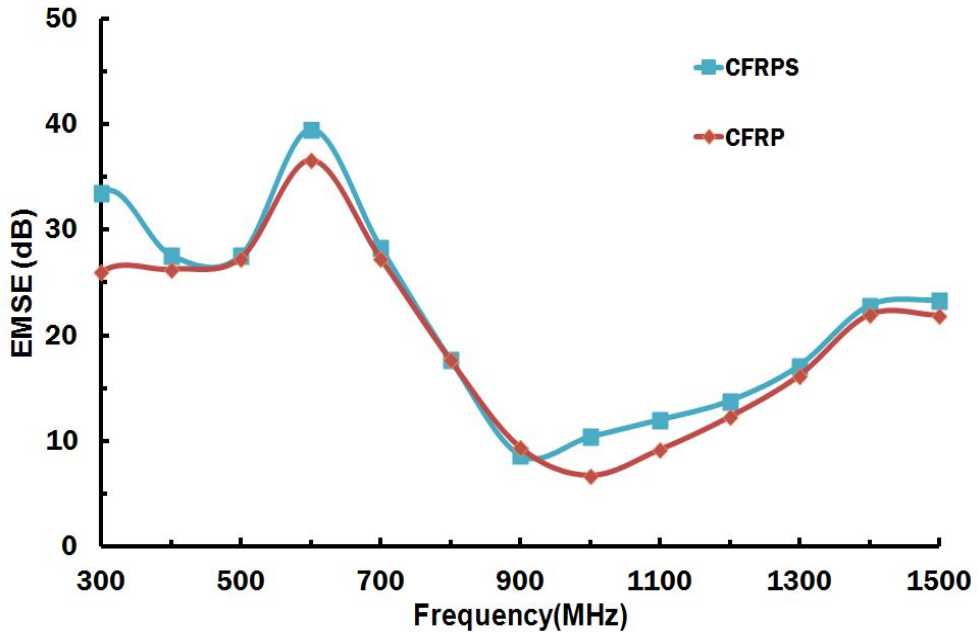


Fig. 25 EMSE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of CFRP and CFRPS specimens

두 시험편 모두 600MHz 주파수 영역에서 최대 차폐효율을 나타내었다. 600MHz ~ 1,000MHz 주파수 영역에서는 차폐효율이 감소하여 1,000MHz 주파수 영역에서는 10 dB 이하로 차폐효율이 낮게 나타났다. 1,100MHz 주파수 영역에서부터 1,500MHz 주파수 영역에까지 다시 차폐효율이 증가하였다. 그러나 1,500MHz 주파수 영역에서의 차폐효율이 CFRP에서 약 22 dB, CFRPS 시험편에서 약 24 dB 정도로 600MHz 주파수 영역에서보다는 낮은 차폐효율을 나타내었다. CFRP와 CFRPS의 전자파 차폐효율은 CFRPS 시험편의 차폐효율이 더 높게 나타났다. 이는 도전성 재료인 카본블랙의 함량

의 증가로 인한 결과로 판단된다.

4.5 CC와 CCS 시험편의 전자파 차폐효율

Fig. 26에 CC와 CCS 시험편의 전자파 차폐효율 측정결과를 도시하였다. 구리 필름을 시험편 표면에 부착하여 표면재로 작용하였을 때와 양쪽 CFRP 시험편 사이의 코어재로 작용하였을 때의 차폐효율을 측정하기 위하여 CFRP 시험편에 구리 필름을 부착한 시험편 CC[CFRP/Cu film]와 CFRP 시험편에 구리 필름을 코어재로 한 구리 샌드위치 시험편 CCS[CFRP/Cu film/CFRP]를 제작하여 전자파 차폐효율을 측정하였다.

CC 시험편은 600MHz 영역에서 가장 높은 약 82 dB의 차폐효율을 나타내었고, 1,100MHz 영역에서 가장 낮은 약 50 dB의 차폐효율을 나타내었다. 300MHz ~ 600MHz 주파수 영역대에서는 차폐효율이 증가하여 600MHz 주파수영역대에서 최대 차폐효율을 나타내었다. 600MHz ~ 1,100MHz 주파수 영역대에서는 차폐효율이 감소하여 1,100MHz 주파수에서 최소 차폐효율을 나타내었고 이후 1,100MHz ~ 1,500MHz 주파수 영역대까지 차폐효율이 증가하는 특성을 나타내었다. CC 시험편은 약 65 dB의 평균 차폐효율을 나타내었다.

CCS 시험편에서는 CC 시험편과는 다르게 700MHz 영역에서 가장 높은 약 78 dB의 차폐효율을 나타내었다. 1,100MHz 영역에서 CC 시험편에서와 같이 가장 낮은 약 46 dB의 차폐효율을 나타내었다. 300MHz ~ 700MHz 주파수 영역대에서는 차폐효율이 증가하여 700MHz 주파수영역대에서 최대 차폐효율을 나타내었다. 700MHz ~ 1,100MHz 주파수 영역대에서는 차폐효율이 감소하여 1,100MHz 주파수에서 최소 차폐효율을 나타내었고 이후 1,100MHz ~ 1,500MHz 주파수 영역대까지 차폐효율이 증가하는 특성을 나타내었다. CCS 시험편은 약 63 dB의 평균 차폐효율을 나타내었다.

CC와 CCS 시험편의 평균 차폐효율 차이는 약 2 dB 정도로 유사한 차폐효율 측정결과를 나타내었다. 두 종류 시험편에서 300MHz ~ 1,500MHz 영역에서 거의 유사한 패턴의 차폐효율 특성을 나타내었다.

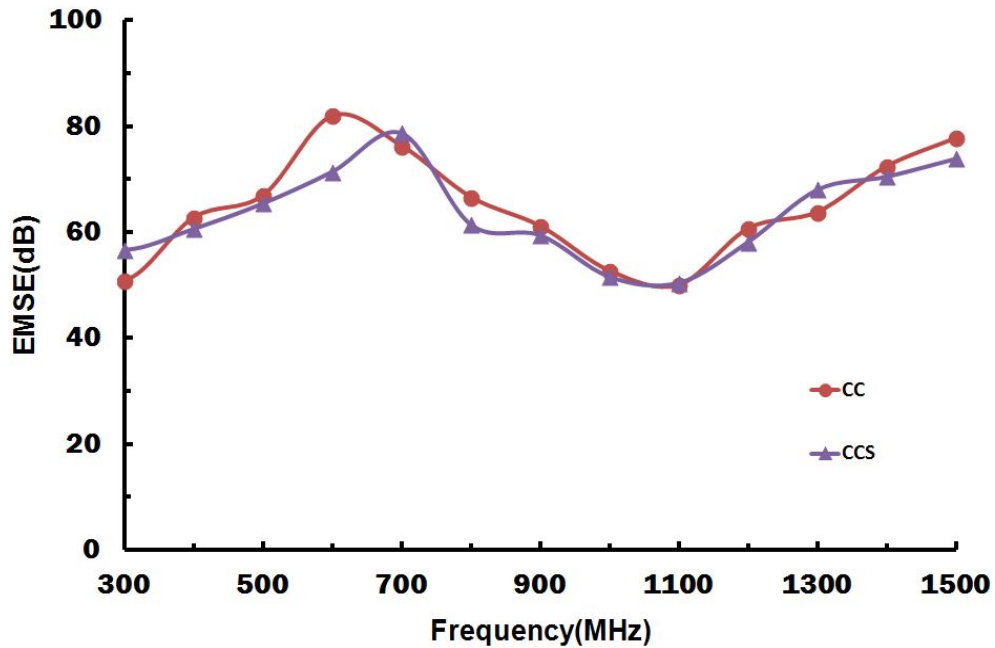


Fig. 26 EMSE as a function of frequency measured in the 300 ~ 1.0GHz range of CC and CCS specimens

4.6 AC와 ACS 시험편의 전자파 차폐효율

Fig. 27에 AC와 ACS 시험편의 전자파 차폐효율 측정결과를 도시하였다. 알루미늄 필름을 시험편 표면에 부착하여 표면재료 작용하였을 때와 양쪽 CFRP 시험편 사이의 코어재로 작용하였을 때의 차폐효율을 측정하기 위하여 CFRP 시험편에 알루미늄 필름을 부착한 시험편 AC[CFRP/Al film]와 CFRP 시험편에 알루미늄 필름을 코어재로 한 알루미늄 샌드위치 시험편 ACS[CFRP/Al film/CFRP]를 제작하여 전자파 차폐효율을 측정하였다.

AC 시험편은 측정주파수 영역인 300MHz ~ 1,500MHz 주파수 영역대에서 약 60 dB ~ 약 91 dB의 높은 차폐효율을 나타냈다. 1,500MHz 주파수에서 약 91 dB의 최대 차폐효율을 나타내었고 300MHz 주파수에서 약 60 dB의 최소 차폐효율을 나타내었다. 300MHz ~ 600MHz 주파수 영역대에서는 100MHz를 주기로 차폐효율의 증감을 나타내었다. 이후 600MHz ~ 1,100MHz 주파수 영역대에서는 차폐효율의 감소를 나타내었다. 1,100MHz ~ 1,500MHz 주파수 영역대에서는 차폐효율의 증가를 나타내는 특

성을 측정 할 수 있었다. AC 시험편은 약 79 dB의 평균 차폐효율을 나타내었다.

ACS 시험편은 측정주파수 영역인 300MHz ~ 1,500MHz 주파수 영역대에서 약 49 dB ~ 약 87 dB의 차폐효율을 나타냈다. 1,500MHz 주파수에서 약 87 dB의 최대 차폐효율을 나타내었고 300MHz 주파수에서 약 49 dB의 최소 차폐효율을 나타내었다. 300MHz ~ 600MHz 주파수 영역대에서는 차폐효율의 증가하는 특성을 나타내었다. 이후 600MHz ~ 1,100MHz 주파수 영역대에서는 차폐효율의 감소를 나타내었다. 1,100MHz ~ 1,500MHz 주파수 영역대에서는 차폐효율이 증가하는 특성을 AC 시험편과 유사하게 나타내었다. ACS 시험편은 약 70 dB의 평균 차폐효율을 나타내었다.

AC와 ACS 시험편의 평균 차폐효율은 약 9 dB 정도 AC 시험편의 차폐효율이 높게 측정되었고, 모든 측정 주파수 영역대에서도 AC 시험편의 차폐효율이 높게 나타났다. 이러한 결과는 금속재료인 알루미늄 필름은 전자파 흡수에 의한 차폐효율보다는 반사에 의한 차폐효과가 우수하기 때문에 알루미늄 필름을 코어재가 아닌 표면재로 사용한 경우가 더욱 우수한 차폐효율이 나타난 것으로 사료된다.

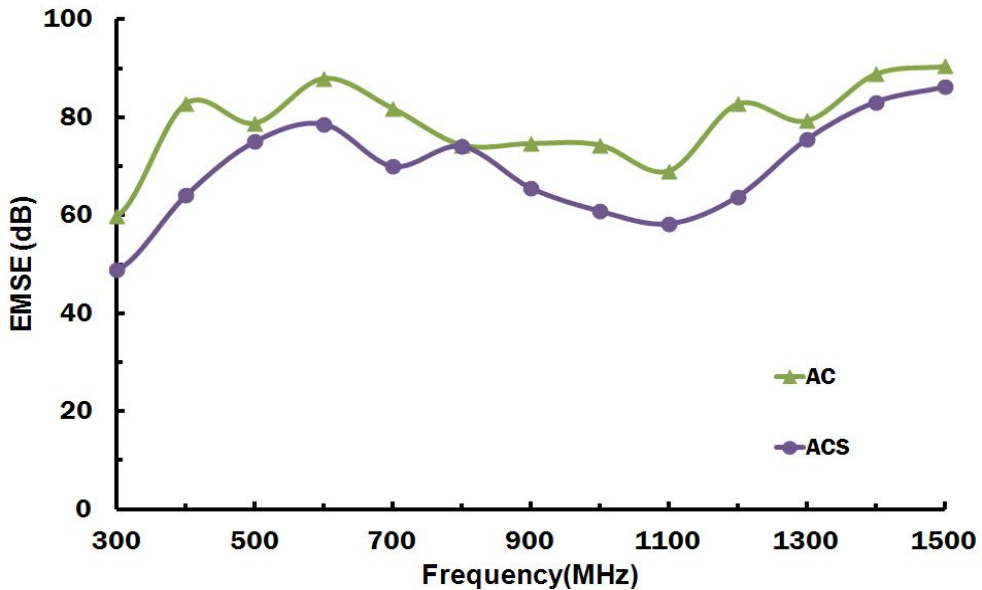


Fig. 27 EMSE as a function of frequency measured in the 300MHz ~ 1.5GHz range of AC and ACS

4.7 전자파 차폐효율 실험 결과

제작된 시험편의 차폐효율을 측정된 결과 카본블랙이 5Wt% 첨가된 PCb1~PCb3 시험편에서는 차폐효율이 대체로 완만한 곡선을 나타내며 증가와 감소를 하였다. 600MHz와 1.4GHz 주파수 영역대에서 가장 낮은 차폐효율을 나타내었고, 700MHz와 1.5GHz 주파수 영역대에서 가장 높은 차폐효율을 나타내는 특성을 보였다. 카본블랙이 7.5Wt% 첨가된 PCb4~PCb5 시험편에서는 300MHz ~ 700MHz 주파수 영역대에서는 차폐효율의 증가를 나타내었다. 이후 700MHz ~ 1.4GHz 주파수 영역대에서 완만한 차폐효율 감소를 나타내다 1.4GHz 주파수 영역대에서 최소 차폐효율을 나타낸 후 1.5GHz 주파수 영역에서 급격히 가장 높은 차폐효율 값을 나타내었다. 카본블랙의 함량이 많은 PCb4~PCb5 시험편에서 차폐효율이 높게 나타났으며, 차폐효율의 증가량과 감소량 또한 높게 나타남을 알 수 있었다.

카본블랙페이스트와 용제의 희석비에 따른 전자파 차폐효율 측정결과 카본블랙 함량 7.5Wt%, 용제와의 희석비 1:1의 시험편이 가장 높은 10 dB의 차폐효율을 나타냈으나, 카본의 첨가량이 증가할수록 시험편의 점성이 커져서 시험편의 제작이 어려워짐으로 카본블랙의 첨가량을 5Wt%, 용제와의 희석비를 1:1로 하여 도포 횟수를 증가하는 방법이 시험편의 제작과 차폐효율을 증가시키는 효과적인 방법임을 확인할 수 있었다.

카본블랙이 5Wt% 함유된 PCb 시험편을 3회 적층하여 제작한 PCb_layer3 시험편의 전자파 차폐효율을 측정된 결과 500MHz 주파수 영역대에서 약 5 dB의 최소 차폐효율을 나타내었고, 600MHz 주파수 영역대에서 약 10dB의 최대 차폐효율을 나타내었다. 카본블랙을 5Wt% 함유하고 3회 도포하는 방법으로 제작한 PCb1 시험편보다 최대 차폐효율에서 약 6 dB 정도 높은 차폐효율을 나타내었고 모든 측정 주파수 영역대에서 높은 차폐효율을 나타내었다. 적층에 의한 시험편의 제작 방법이 도포에 의한 제작 방법보다 높은 차폐효율을 나타내었다.

CFRP와 CFRPS 시험편의 300MHz ~ 600MHz 주파수 영역대에서의 평균 차폐효율은 약 29 dB, 32 dB를 나타내었고, 600MHz 주파수 영역대에서 가장 높은 약 37 dB ~ 약 40 dB의 차폐효율을 나타내었다. 이후 700MHz ~ 1500MHz 주파수 영역에서의 평균 차폐효율은 약 17 dB, 16 dB를 나타내었다. 특히 1,000MHz 주파수 영역에서 약 10 dB, 약 7 dB의 최소 차폐효율을 나타내었다. 두 시험편 모두 600MHz 주파수 영역대 이하의 차폐재료는 사용이 가능하나 그 이상의 주파수 영역대에서 차폐재료 사용한

다면 차폐효율이 낮을 것이라 판단된다.

CC와 CCS 시험편에서는 전 주파수 영역에서 대체로 높은 약 65 dB, 약 63 dB의 평균 차폐효율을 나타내었다. 600MHz, 700MHz 주파수 영역에서 가장 높은 82 dB, 78 dB의 최대 차폐효율을 나타내었다. 이후 주파수 영역에서는 차폐효율이 감소하여 1,100MHz 주파수 영역에서 가장 낮은 50 dB, 46 dB의 최소 차폐효율을 나타내었다. 이후 1.5GHz 주파수 영역까지 차폐효율이 증가하는 유사한 경향을 나타내었다. CC와 CCS 시험편은 높은 차폐효율을 나타내었지만 최대 차폐효율과 최소 차폐효율이 약 32 dB 정도의 차이를 나타내었다.

AC와 ACS 시험편은 모든 측정 주파수 영역대에서 고른 차폐효율을 나타내었다. 300MHz 주파수 영역에서 가장 낮은 49 dB ~ 60 dB의 차폐효율 나타내었고, 1,500MHz 주파수 영역에서 90 dB 이상의 가장 높은 차폐효율 나타내었다. 특히 CFRP/CFRPS 시험편과 CC/CCS 시험편에서 차폐효율이 급감하는 700MHz ~ 1,100MHz 주파수 영역에서 상대적으로 낮은 감소율을 나타내었고 이후 1,500MHz 주파수 영역에서는 최대 차폐효율인 92 dB의 차폐효율을 나타내었다. 따라서 1,500MHz 주파수를 발생시키는 발생원 주변에 전자파 차폐재로 사용될 경우 우수한 전자파 차폐효율을 나타낼 것으로 판단된다. 또한 금속재료인 Al film과 Cu film은 전자파 흡수에 의한 차폐효율보다는 반사에 의한 차폐효과가 우수하기 때문에 Al film과 Cu film을 코어재가 아닌 표면재로 사용한 경우가 더욱 높은 전자파 차폐효율이 나타난 것을 알 수 있었다. Table 14에 실험에서 측정된 각 시험편에서의 최소 차폐효율과 최대 차폐효율을 나타내었다. Fig. 28에 최소 차폐효율 도시하였고 Fig. 28에 최대 차폐효율을 도시하였다.

Table 14 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) |
| PCb1 | 4.43 | 1,100 | 5.82 | 1,500 |
| PCb2 | 3.56 | 1,100 | 4.68 | 1,500 |
| PCb3 | 2.65 | 1,100 | 3.50 | 1,500 |
| PCb4 | 6.50 | 1,400 | 10.00 | 1,500 |
| PCb5 | 4.66 | 1,400 | 7.66 | 1,500 |
| PCb6 | 3.59 | 1,400 | 5.56 | 1,500 |
| CFRP | 6.79 | 1,000 | 36.61 | 600 |
| GFRPS | 8.69 | 900 | 39.51 | 600 |
| CC | 50.10 | 1,100 | 82.04 | 600 |
| CCS | 46.14 | 1,100 | 77.84 | 700 |
| AC | 59.80 | 300 | 90.44 | 1,500 |
| ACS | 48.82 | 300 | 86.16 | 1,500 |

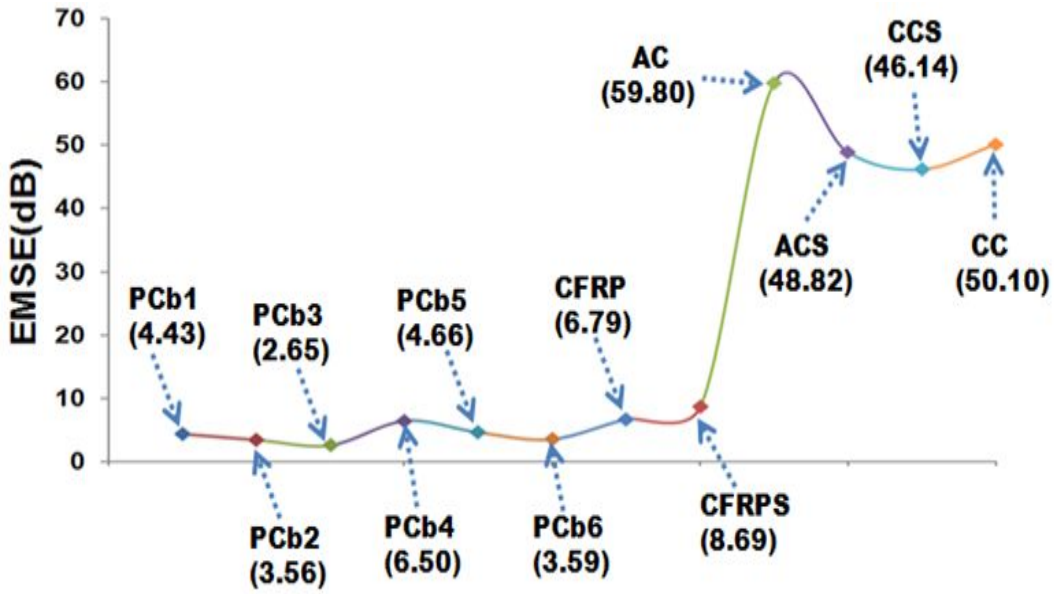


Fig. 28 The Minimum electromagnetic shielding effectiveness of individual specimen

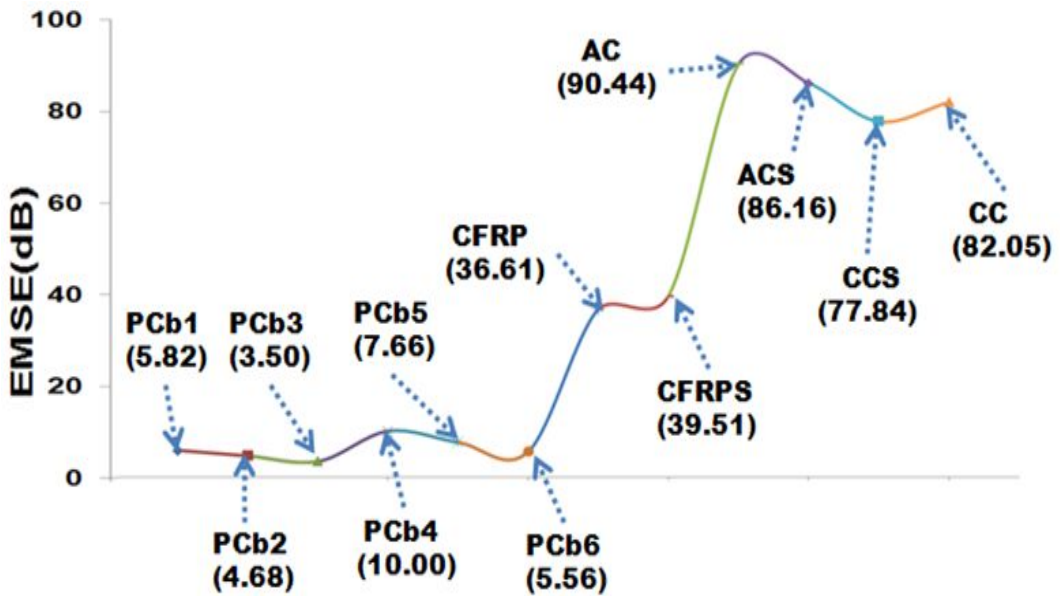


Fig. 29 The Maximum electromagnetic shielding effectiveness of individual specimen

제 5 장 결 론

본 연구에서는 전자파 차폐재료 개발을 목적으로 카본블랙페이스트 시험편과 섬유강화 복합재료 시험편을 제작하여 제작하여 300MHz ~ 1,500MHz 주파수 영역에 대한 전자파 차폐효율을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 카본블랙이 첨가된 PCb 시험편에서는 카본블랙의 함량이 높을수록 도전성의 증가로 높은 차폐효율이 나타났다. 또한 PCb 시험편을 3회 적층한 시험편이 카본블랙페이스트를 3회 도포한 시험편(PCb1)보다 차폐효율이 높음을 알 수 있었다.

(2) CFRP와 CFRPS 시험편의 최대 차폐효율은 600MHz 주파수 영역에서 약 35 dB 이상의 차폐효율을 나타냈으나 600MHz ~ 1,000MHz 주파수 영역대에서는 차폐효율이 급격하게 낮아지는 특성을 보였다. 측정 주파수 영역대에서 CFRP와 CFRPS 시험편은 유사한 차폐효율 특성을 나타내었으나 CFRPS 시험편이 CFRP 시험편에 비해 다소 높은 차폐효율을 나타냄을 알 수 있었다.

(3) CC와 CCS 시험편의 차폐효율은 전 주파수 영역에서 60 dB 이상 높은 차폐효율을 나타내었으나 700MHz ~ 1,000MHz 주파수 영역대에서는 CFRP/CFRPS 시험편과 유사하게 차폐효율이 낮아지는 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

(4) AC 시험편과 ACS 시험편이 다른 시험편들보다 전주파수 영역에서 약 60 dB ~ 90 dB의 높은 차폐효율을 나타내었다. 특히 1,500MHz 주파수 영역에서는 약 90 dB 이상의 차폐효율을 나타내었다.

REFERENCE

1. 변성원, 박재기, 김기영, “레이더 위장용 전자파 차폐 섬유소재”, Fiber Technology and industry, Vol. 10, pp. 33-50, 2006
2. O. S. Kweon, J. C. Jung, H. You, “Conductive Plastics for EMI Shielding”, Polymer, Vol. 7, No. 6, 1983
3. T. Barker, IEEE Electrical insulation Magazine, 1, 27, 1995
4. “Guidelines for Limiting exposure to Time Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields”, pp.121-128, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Munich, Germany, 1998
5. 이수정, 이태일, “전자파가 인체에 미치는 영향”, 한국의를산업학회, Vol. 6, No. 4, pp. 505-510, 2004
6. 이준영, 주진수, “전자파차폐 섬유소재”, 섬유기술과 산업, Vol 7, No 1, pp 28, 2003
7. kang, P.G, “S&T Information Analysis”, KISTI, pp 3, 2003
8. J. H. Kim, H. J. Lee, K. J. Han, and W. “Korean Electromag. Soc. Symposium Proceedings”, 1995.
9. J. Y. Lee and J.S.Joo, Fiber Technology and Industry(Korea), 7, 28, 2003
10. M. Charbonnier, M. Alami, and M. Romand, J. Electrochem. Soc, 143, 472, 1996
11. Hwan-Bho Shim, Min-Kang Seo, Soo-Jin Park, “ElectroMagnetic Interference Shielding of Carbon Fibers-Reinforced Composite” Polymer (Korea), Vol.24. pp. 860-868, 2000
12. 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
13. Bang One Lee, Won Jun Woo, Hee Suk Song, Hong Soo Park, Hyun Sik Hahm Jong Pyu Wu, Myung Soo Kim, “Research Artices : EMI Shielding Properties of Carbon Nanofiber Filled Poly Vinylidene Fluoride Coating Materials”, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 7, pp. 305-309, 2001
14. H. Rahman, J. Dowling, and P. K. Saha, J. Mater. Proc. Techn, 54, 21, 1995
15. T. S. Oh, Polymer Science and Technology (Korea), 2, 179, 1991) 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
16. Xiangchung Lue, 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
 17. 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
 18. 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
 19. 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
 20. 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
 21. 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
 22. 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
 23. 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
 24. 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

25. 정연춘, 강태원, 정낙삼, “전자파차폐현상과 측정시스템의 구현“, 한국전자파학회, Vol. 4, pp. 45-53, 1993
26. Frank S. Barnes, Ben Greenebaum, "Biological and medical aspects of electromagnetic fields", Boca Raton: CRC Press, 2007
27. 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
28. Charles Polk, Elliot Postow, "Handbook of biological effects of electromagnetic fields", Boca Raton, FL : CRC Press, 1995.
29. 강박광, "전자파 차폐용 도전성 수지" 기술동향보고서 KISTI. pp.3-8, 2003
30. Dong-Han Song, "A study on Electromagnetic interference shielding effectiveness of the Metalmesh/Fiber reinforced composites", Chosun University, pp. 4-37, 2010
31. 김덕원 "전자파공해" 수문사, P 1, 1996
32. J. Y. Lee, J. S. Joo, "전자파차폐 섬유소재", Fiber Technology and Industry, Vol. 7, pp. 28, 2003
33. 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
34. H. Hinoki, Electronics用 特殊塗料, Technical Report 日本 東京, 27, 13, 1982.
35. Chung, D. D. L., "Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials," Carbon, Vol. 39, pp. 279-285, 2001
36. C. G. Kim, "Development of multi-functional structural materials", JA, Vol. 10, 2005
37. Perry F. Wilson, Mark T. Ma and J.W. Adams, "Techniques for measuring the electromagnetic shielding effectiveness of materials : Part I Far-field source simulation," IEEE Trans. Electromagn. Compat., Vol. 30, No. 3, pp. 239-250, Aug. 1988
38. S. Y., "Permeability and electromagnetic interference characteristics of Fe-Si-Al alloy flakes-polymer composite" , J. Appl. Physics, Vol. 85, No. 8, pp. 4636-4638, 1999

39. S. H. Foulger, J. Appl. Polym. Sci., Vol. 72, pp. 1573, 1999
40. F. Gubbels, S. Blacher, E. Vanlathem, R. Jerome, R. Deltour, F. Brouers, Macromolecules, Vol. 28, pp. 1559, 1995
41. C. Zhang, X. S. Yi, H. Yui, S. Asai, M. Sumita, J. Appl. Polym. Sci., Vol. 69, pp. 1813, 1998
42. N Probst, E Grivei, Carbon, Vol. 40, p. 201-205, 2002
43. "Handbook of battery materials" , J. O. Besenhard, Ed., 234-237, Wiley VCH, Weinheim, 1999
44. K. Kinoshita, "Carbon Electrical and Physicochemical Properties", ch. 1-3, John Wiley, New York, 1987
45. J. B. Donnet, A. Voet, "Carbon Black, Pysics, Chemistry and Elastomer Reinforcement", ch. 3, Marcel Dekker, New York, 1976
46. S. S. Kim, "전파흡수체의 동작원리 및 응용", Journal of Korean Magnetics Society, Vol. 4, pp. 285-292, 1994
47. 김창채, 최형도, 서광석, 윤호규, "분쇄형 탄소 섬유/나일론 복합재료의 전기적 성질과 전자파 차폐 효율", Polymer Korea, Vol. 27, pp. 201, 2003
48. 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

감사의 글

대학원 생활을 통하여, 일생을 보냄에 있어 좋은 경험을 많이 하였고, 많은 분들의 따뜻한 관심과 애정 어린 질책 속에 또 다시 한층 성숙해질 수 있었습니다. 대학원 생활에 도움을 주신 모든 분들께 한 분씩 찾아뵙지 못하고 이렇게 지면으로나마 감사의 인사를 드리고자 합니다.

연구와 강의로 바쁘신 가운데도 논문이 완성되기까지 자상하게 인도해 주시고 연구 방향에 대하여 넓은 안목으로 키워주시며 지도해주신 한길영 교수님과 논문지도에 애정 어린 충고와 가르침을 주신 조규재 교수님, 이형남 교수님, 김종관 교수님, 권영섭 교수님께 진심으로 깊은 감사를 드립니다.

입학에서부터 논문이 완성되기까지 배움의 여정에서 여러 가지 힘든 일도 있었지만 언제나 믿고 의지할 수 있었던 후배이자 동료인 정우철군에게 고마움을 전합니다. 또한 실험실에서 만났던 영수와 언제나 인사하며 반갑게 맞이해준 후배들에게 감사를 드리며 각자의 분야에서 건승하시길 진심으로 기원 합니다.

부족한 제가 대학원에 진학하기로 결심 했을 때 물심양면으로 도움 주신 많은 분들께 깊은 감사를 드립니다. 학업시간의 공백으로 인하여 저 대신하여 몇 배로 고생한 직장 동료 여상현 선생님, 힘들 때 마다 투정을 부려도 너그러이 받아주신 이원청 부장님, 힘들고 어려울 때 언제나 함께 해준 인생의 스승이자 동반자인 이용재 교수님에게 감사의 말씀을 전하고 싶습니다. 이외에 미처 언급하지 못한 고마운 분들에게 죄송하게 생각 하며 많은 관심과 애정을 가지고 저를 지켜 봐주셨던 모든 분들께 부끄럽지 않은 모습으로 훗날 다시 뵈 수 있도록 어디서든 최선을 다하겠습니다.

끝으로, 지금까지 변함없는 믿음과 사랑으로 저를 응원 해주신 사랑하는 부모님과 밝고 명랑하게 내 삶의 원동력이 돼 주는 아들 준철이와 딸 유진이 그리고 언제나 믿음으로 바라봐주는 사랑하는 아내에게 감사의 마음을 전합니다.

2012년 12월

최 명 일