



2011년 8월 교육학석사(기술・가정교육)학위논문

전도성 충전제를 사용한 복합재료의 전자파 차폐효과에 관한 연구

조선대학교 교육대학원

기술・가정교육전공

김 기 열

전도성 충전제를 사용한 복합재료의 전자파 차폐효과에 관한 연구

A Study on Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Composites with Conductive Filler

2011 년 8 월

조선대학교 교육대학원

기술・가정교육전공

김 기 열

전도성 충전제를 사용한 복합재료의 전자파 차폐효과에 관한 연구

지도교수 한 길 영

이 논문을 교육학석사(기술·가정교육)학위 청구논문으로 제출함.

2011 년 4 월

조선대학교 교육대학원

기술・가정교육전공

김 기 열

김기열의 교육학 석사학위 논문을 인준함.



2011 년 6월

조선대학교 교육대학원

LIST OF TABLES		Ι
LIST OF FIGURES]	Π
NOMENCLATURE	I	V
ABSTRACT		

제 1	장 서 론	1
1.1	연구배경 및 관련연구	1
1.2	연구목적 및 방법	3
제 2	장 전자파 차폐이론	4
2.1	전자파란	4
2.2	전자파 차폐이론	6
2.3	재료의 전자기적 물성	9
2.4	전자파 반사, 투과, 흡수	10
2.5	전자파 측정장치 시스템	13

ス	łĮ	3	장	• •	시	험	편	저	작	Ţ	묒	전	ス	-파	・ブ	하펴	3	[월		즉	정	••	15
	3.	1	니	켈	도	금	탄	소 [,]	섬우	- .	び:	화	복	합	재	료의	비	제건	악	방	법	•••••	15
		3.1	.1	재	료	의	선	정	••••	••••	••••	•••••	••••	••••	••••	•••••	••••	•••••	••••	•••••	••••	•••••	15
	•	3.1	.2	시	험	편	제	작	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	•••••	••••	••••	••••	•••••	17

3.2 CFRP, Aluminum film/CFRP, Conductive fabric/CFRP
복합재료의 제작방법
3.2.1 재료의 선정
3.2.2 시험편 제작
3.3 전자파 차폐용 섬유강화 복합 재료의 제작 방법 ·· 24
3.3.1 재료의 선정
3.3.2 시험편 제작
3.4 실험결과
3.4.1 니켈도금 탄소섬유 강화 복합재료 시험편의 전자파
차폐효율 비교 35
3.4.2 카본블랙 함량에 따른 전자파 차폐효과 36
3.4.3 시편두께 변화에 따른 전자파 차폐효과 38
3.4.4 재료 변화에 따른 전자파 차폐효과 41
3.4.5 GFRP 시험편과 GFRP/Carbon black 시험편의 전자파
차폐효율 비교42
3.4.6 AG 시험편과 AGS 시험편의 전자파 차폐효율 비교
3.4.7 FCG 시험편과 GCG 시험편의 전자파 차폐효율 비교
3.4.8 GFRP와 CFRP의 전자파 차폐효율 비교 45
제 4 장 결론 46
REFERENCES 48

LIST OF TABLES

Table 1 Typical properties of nickel coated carbon fiber
Table 2 Typical properties of HI-BLACK 41Y 20
Table 3 Typical properties of Aluminum
Table 4 Typical properties of Conductive Fabric 20
Table 5 Typical properties of carbon black 24
Table 6 Typical properties of aluminum film 24
Table 7 Typical properties of fine and general copper mesh
Table 8 Typical properties of glass fiber ······26
Table 9 Specifications of direct driven digital stirrer
Table 10 Specifications of heating mantle
Table 11 Specifications of electric muffle furnace 28
Table 12 Staking materials of specimen ······30

LIST OF FIGURES

Fig. 1 Magnetic, Electric fields and wavelength of electromagnetic waves $\cdots\cdots\cdots 4$
Fig. 2 Frequency spectrum of electromagnetic wave5
Fig. 3 A typical arrangement for measuring the shielding effectiveness of a
material6
Fig. 4 Schematic of reflection, absorbtion and multi-reflection of electromagnetic
waves8
Fig. 5 An apparatus of electromagnetic wave reflection by metal9
Fig. 6 Schematic description of reflection and transmission of electromagnetic wave
Fig. 7 Attenuation of electromagnetic wave in a lossy media
Fig. 8 Experimental set-up electromagnetic compatibility test system14
Fig. 9 Micro-structures of nickel coated carbon fiber
Fig. 10 Micro-structures of nickel coated carbon fiber
Fig. 11 Manufacturing process of nickel coated carbon fiber
Fig. 12 Producinging process of nickel coated carbon fiber
Fig. 13 Dimensions of reference and load specimens19
Fig. 14 Homogenizer and temperature control system
Fig. 15 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens
Fig. 16 (a) Microstructures of Carbon black powder, (b) Microstructures of specimen
with 1.3wt% carbon black22
Fig. 17 Flannged coaxial transmission line holder23
Fig. 18 Micro-structures of a carbon black power25
Fig. 19 Micro-patterns of fine and general copper mesh
Fig. 20 Micro-structures of a glass fiber
Fig. 21 Electric muffle furnace28
Fig. 22 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens
29

Fig.	23	Micro-structures of specimens cross section						
Fig.	24	Flanged coaxial transmission line sample holder						
Fig.	25	Dimensions of reference and load specimens						
Fig.	26	EMSE as a function of frequency measured in the 300 \sim 1.5GHz range						
		Ni(10wt%)CF and $Ni(15wt%)CF$ and $Ni(20wt%)CF$ specimen						
Fig.	27	SE as a function frequency measured in the $300 \mathrm{MHz}\!\sim\!1.5\mathrm{GHz}$ range due to						
		carbon black weight fraction(%) variation						
Fig.	28	SE of CFRP due to of thickness variation (carbon black weight fraction 2.7%) $\cdots 40$						
Fig.	29	SE as a function frequency measured in the 300~1500MHz range due to						
		material variation41						
Fig.	30	SE as a function of frequency measured in the 300 MHz \sim 1,500 MHz						
		range of GFRP and GFRP/Carbon black specimens $\cdots\cdots\cdots 42$						
Fig.	31	SE as a function of frequency measured in the 300 MHz \sim 1,500 MHz						
		range of AG and AGS specimens43						
Fig.	32	SE as a function of frequency measured in the 300 MHz \sim 1,500 MHz						
		range of FCG and GCG specimens44						
Fig.	33	SE as a function of frequency measured in the 300 MHz \sim 1,500 MHz						
		range of CFRP and GFRP specimens45						

NOMENCLATURE

Hz	: Units of Frequency
EMSE	: ElectroMagnetic Shielding Efficiency
dB	: Units of ElectroMagnetic Shielding Efficiency
pН	: Potential of hydrogen
EL	: Elongation
T/S	: Tensile strength
\mathbf{P}_{I}	: Power of incident waves
\mathbf{P}_{R}	: Power of penetration waves
E_{I}	: Power of incident electric fields
E_{T}	: Power of penetration electric fields
SE _R	: Reflection loss
SEA	: Absorption loss
SEM	: Multi-reflection loss

ABSTRACT

A Study on Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Composites with Conductive Filler

Kim Ki-Yeoul

Advisor : Prof. Han, Gil-Young, Ph. D Major in Technology and Home-Economics Education Graduate School of Education, Chosun University

The unwanted electromagnetic waves generated from information electronic equipments can influence human body and other nearby appliances and the malfunction of the affected appliances may bring damages about human life and property. There is also the alleged possibility that over exposure to such waves can produce deleterious effects or disorders to human body.

Metal is considered to be the most effective material for electromagnetic shielding, but it is expensive and heavy. On the other hand, the use of polymer for housing the electronic device is popular due to its light weight, flexibility and less cost to make. Nowadays, housing of most electronic appliances is in plastics for the advantages of not only high production, light weight and design freedom, but also being natural insulator and reflection and/or absorbing EMI free.

The objective of this thesis is to investigate the influence of material composition and design on to the electromagnetic interference shielding characteristics. Several fiber reinforced composite specimens consisting of coarse copper meshes, fine copper meshes, aluminum films, glass fibers, carbon fibers, nickel plated carbon fiber were manufactured to perform the electromagnetic interference shielding experiments.

The goal of this thesis is to investigate into the influence of material composition and design on electromagnetic interference shielding characteristics. 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 $300 \sim 1,500$ MHz.

The results of electromagnetic interference shielding experiments showed that maximum EMSE values of specimens with NiCF were $35 \sim 37$ dB at frequency of 450 and 900 and 1300 Mhz. But it results of electromagnetic interference shielding experiments showed that maximum EMSE values of specimens with NiCF were 17 ~ 25 dB at frequency of 600 and 1100 and 1500 Mhz. The NiCF would electromagnetic interference shielding better if it had more Carbon Fiber in Ni.

We fabricated carbon fiber reinforced composites filled with nano carbon black where they bonded aluminum film and conductive fabric. It is observed that the SE of the bonded aluminum film and conductive fabric composites is the frequency dependent, increase with the increase in filler nano carbon black content. The aluminum film bonded composites showed higher SE compared to that of carbon black and conductive fabric. The aluminum film bonded epoxy composite was shown to exhibit up to 80dB of SE. The result that aluminum film bonded composite can be used for the purpose of EMI shielding as well as for some microwave applications.

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 and core with glass fibers has an excellent electromagnetic interference shielding characteristics in a high frequency range of electromagnetic wave.

제 1장 서 론

1.1 연구배경 및 관련연구

전기의 발견과 개발은 인류 사회를 원시 세계에서 문명 사회로 완전히 뒤바꿔 놓았다고 해도 과언이 아닐 것이다. 오늘날 각종 문명의 이기들은 거의 모두가 이 전기를 이용한 것들로 전기 없는 사회란 상상할 수 없을 정도가 되었다. 우리들은 현재 이 문명의 이기 속에서 커다란 혜택을 받고 있는 반면 이들에게서 방출되고 있는 각종 전자파의 공해 속에 묻혀 살고 있다고 해도 과언이 아니다. TV, 컴퓨터, 복사기, 에어컨, 선풍기, 전자 오락기, 전자 레인지, 세탁기, 형광등 등 우리의 가정이나 사회 생활 속에서 전기를 사용하지 않는 제품이 거의 없을 정도이다.

이러한 각종 가전 제품이나 사무용품이 우리 생활을 윤택하고 편리하게 해 주고 있 지만 이것들로부터 인체에 아주 유해한 전자파가 방출되고 있다는 사실을 심각하게 생 각하는 사람들은 많지 않은 듯하다. 과학기술의 발전에 따라 전자파를 발생시키는 전 자, 전기 및 통신관련 기기의 사용이 급증하는 추세에 있으며 이러한 문명의 이기들은 인류에게 편의를 제공하는 동시에 여러 폐해를 발생시키기도 한다.¹⁾

전자파는 전자전기 기기의 오작동을 초래하기도 한다. 최근의 전자기기는 복합화, 다 양화 및 경량, 소형, 박막화로 개발되는 경향이 있으며 또한 회로적으로는 고기능, 고 밀도, 고집적, 복합화가 진행되고 있다. 이런 추세는 전자기파에 의해 기기의 잡음 및 장해가 보다 더 쉽게 일어날 수 있는 환경을 제공한다. 전자파는 발신 및 수신 장비들 사이의 전파 상호 교란으로 인한 잡음 및 내부 전자제품의 효율저하 및 수명단축, 전 자장비들 사이의 교란을 발생시킬 수 있다. 실제로 통신장비의 장애 현상 발생 및 컴 퓨터의 오작동 증가, 안전에 관련된 장애 발생률이 증가하고 있다. 이처럼 전자기기에 서 방사 또는 전도되는 전자파가 다른 기기의 기능에 장해를 주는 것을 전자파장해 (Electromagnetic interference : EMI)라 한다.²⁾ 이러한 전자파장해로 인하여 자동화된 공장에서 로봇이 오작동을 일으켜 생산에 큰 차질을 빚거나, 인공심장을 가진 사람이 전자파장해에 따른 인공심장의 오작동 때문에 의식을 잃는 사례들과 같은 현상들이 일 어났으며, 비행기가 계기 오작동을 일으켜 항로를 이탈한 사례나 군사용 레이더 통신 기기의 오작동 등은 잘 알려진 사실이다.³⁾

- 1 -

둘째로 인체는 전자파에 의해 영향을 받으며 여러 증상 및 질병을 일으킬 수 있음이 보고되고 있다. 즉 전자파는 인체에 도달시 전신 또는 부분적으로 체온을 상승시키는 열적 작용 및 체내에 유도된 전류가 신경계를 자극하는 작용을 한다. 전자파로 야기 될 수 있는 증상에는 불면, 신경 예민, 두통, 어지러움, 호르몬의 감소, 생체리듬의 변 화, 기형아 출산, 수정체 이상 등이 보고 되고 있다.⁴⁾ 이러한 전자파에 의한 영향을 규 제하기 위한 대책으로써 전자파 차폐용 소재개발에 대한 관심이 높아져 가고 있는 실 정이다.

전자파 차폐재는 재료의 도전, 유전 및 자성 손실을 이용하여 전자파가 차폐막을 통 과할 때 전자파의 반사, 흡수, 투과 및 다중 반사에 의해서 전자파의 세기를 효과적으 로 감쇠시킬 수 있는 재료이다. 전자파 차폐란 전도체 혹은 자성체를 이용하여 잡음원 을 완전히 차폐하거나 새로운 회로를 형성하여 보호할 대상의 주변에 존재하는 유해파 의 세기를 감소시켜 전자파로부터 장비 또는 인체를 보호하는 것을 말한다. 반사에 의 한 차폐를 이용한 전자파 차폐재료는 도전성 금속재료(Ni, Cu, Al, Zn, Fe등)가 많이 사용되고 있다. 금속의 경우에는 반사율이 좋고 전자파가 흡수되는 표면 깊이(Skin depth)가 아주 작은 차폐 재료이다. 일반적으로 금속의 경우에는 무거우면 공기 중에 서 산화 반응을 일으킨다. 또한 원하는 형태로 가공이 용이하지 않으며 가격이 비싼 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완할 수 있을 것으로 기대되는 신소재가 전기전 도성 고분자(Conducting polymer)이다. 전기전도성 고분자는 전기적 전도체인 동시에 고분자의 특성인 경량화, 기계적특성이 우수하며 가공성이 뛰어나 전자파 차폐에 응용 될 수 있는 우수한 소재로 기대되고 있다.⁵⁾

섬유강화 복합재료의 경우 비강도, 비강성, 굴곡성, 경량성 등이 우수하여 전자장치 의 하우징(Housing)재료로 많이 사용되고 있지만, 고분자 재료가 모재인 복합재료는 전기적으로 절연체이기 때문에 전자파 차폐효과는 거의 없다. 전자파를 차폐하기 위한 도전성 플라스틱은 부도체인 범용 플라스틱(Matrix)에 금속섬유, 탄소섬유 등의 도전 성(Electrically conductive) 충전제(Filler)를 혼입(Blend)하여 도전화한 복합재료 (Polymer-matrix composites containing conductive fillers)로써, 이러한 재료들을 사용 하는 기술적인 방법이 연구되고 있다.³⁾

전자파 차페에 대한 연구로서 Z. Dou⁵⁾ 등은 Aluminum ally-fly ash 복합재료와 2024 알루미늄의 전자파 차폐효과를 실험하여 30.0 KHz ~ 600 MHz 범위에서 2024 알루미늄과 Aluminum alloy-fly ash 복합재료는 각각 약 36 dB ~ 46 dB 과 40 dB ~ 102 dB 의 차폐 효과를 얻었다고 보고 하였으며(Zuoyong Dou et al, 2006), Luo

X.⁵⁾ 등은 탄소섬유-탄소기지재 복합재료를 제작하여 0.3MHz ~ 1.5GHz의 주파수 범 위에서 전자파차폐효과를 측정하였다.(Luo and Chung, 1999).

전자파 차폐 및 외부 하우징 재료 등 여러 분야에 사용되는 복합재료의 경우 기계적 특 성이 중요하며, 이에 따라 복합재료의 기계적 특성에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다.

1.2 연구목적 및 방법

전자·정보산업의 급속한 발전에 따라서 고속화 고집적화 되어가는 디지털회로 기술 을 사용하는 컴퓨터, 핸드폰 등 사무용 기기, 디지털 TV, 전자레인지 등 각종 가전 제 품, 로봇, 방전 가공기, NC 공작기계 등과 같은 산업용 기기, 심전계, 뇌파계, 초음파 검사장치 등 정교한 진단 및 치료용 기기 등 각종 디지털 전자기기가 일상생활에서 광 범하게 사용되고 있으며, 이들로부터 발생하는 노이즈가 기기 오작동의 원인이 되고 있다. 최근에는 국내외적으로 전자파 장해 규제가 본격화됨에 따라 효과적인 전자파 차폐 소재의 개발이 활발히 이루어지고 있는 실정이다. 전자파 차폐재는 재료의 도전, 유전 및 자성 손실을 이용하여 전자파가 차폐막을 통과할 때 전자파의 반사, 흡수, 투 과 및 다중반사에 의해서 전자파의 세기를 효과적으로 감쇠시킬 수 있는 재료이다. 이에 금속섬유강화 복합재료 시험편 및 플라스틱에 금속섬유, 탄소섬유 등의 전도성 충전제를 혼입하여 전도성 플라스틱을 성형하거나 전도성 고분자를 사용, 또는 전도성

따라서, 본 연구에서는 ① 니켈도금 탄소섬유 강화 복합재료(Nickel Plated Carbon Fiber) 시험편, ② CFRP, 알루미늄 필름/CFRP, 도전성 직조섬유/CFRP, ③ 유리섬유에 카본블랙 (Carbon black) 을 혼입하여 성형한 유리섬유강화 복합재료 시험편 (Glass Fiber Reinforced Plastics; GFRP) 과 ④ GFRP 시험편 한쪽 면에 알루미늄 필름을 부 착 성형한 AG 시험편, GFRP 시험편에 고 개구율 구리 메쉬 (Fine copper mesh), 범 용 구리 메쉬 (General copper mesh) 를 각각 부착한 FCG, GCG 시험편, ⑤ 알루미늄 필름을 코어재로 하고 코어재 양쪽에 GFRP 시험편을 배치한 샌드위치 시험편 (GAG) ⑥ CFRP 시험편을 제작하여 전자파 차폐효율을 비교하여 고찰하였다. 또한 제작된 시 험편의 전자파 차폐효율 측정방법으로는 ASTM D4935-89 규격에 따른 벡터 네트워크 분석기 시스템의 Anritsu 37369C 모델 및 플렌지형 동축 전송선 치구를 사용하여 300 MHz ~ 1,500 MHz의 주파수 대역에서 차폐효율에 대한 특성을 고찰하였다.⁶⁾

제 2장 전자파 차폐이론

2.1 전자파란

전자파는 전자기파(Electromagnetic wave)로서 공간상에서 전기장이 시간적으로 변화하게 되면 그 주위에 자기장이 발생하고 자기장이 시간적으로 변화하면 그 주위에 전기장이 발생하게 되어 전계와 자계가 서로 유도하여 Fig. 1과 같이 파의 진행방향과 직각을 이루고 공간에서 전파되는 합성 파동이다.⁷⁾

전기장파는 전기의 힘이 수직으로 미치는 공간을 말하며 보통 미터당 볼트(V/m)로 표시하고, 자기장파는 자기의 힘이 수평으로 미치는 공간을 말하며 단위는 밀리가우스 (mG)로 표시한다. 따라서 빛이나 X 선, 방송이나 무선통신용 전파는 모두 전자파이 다.⁸⁾



Fig. 1 Magnetic, Electric fields and wavelength of electromagnetic waves⁷

Fig. 2는 전자파의 주파수에 따른 분류를 보여주고 있다.⁸⁾ 전자파는 주파수가 높을 수록 파장이 짧아지며 전자파가 갖는 에너지는 증가한다. 파장=전자파의 속도/주파수 로 구할 수 있다. 전자레인지에서 사용하는 마이크로웨이브(2.45GHz)의 파장은 30 만 Km/2.45 × 10⁹ = 12.2 cm로 매우 짧아 음식물을 가열시킬 정도의 높은 에너지를 갖고 있는 것이다. 우리가 사용하고 있는 휴대폰도 800 MHz ~ 900 MHz의 마이크로웨이 브를 사용하므로 안테나로부터 송신되는 전자파가 뇌속으로 전파되어 세포의 온도를 높임으로써 문제가 되는 것이다.⁷⁾ 광선도 일종의 전자파로서 적외선, 가시광선, 자외선 등으로 분류되며 이중에서 자외선의 파장이 가장 짧아 에너지가 가장 강하여 피부암 등을 유발하는 것으로 알려져 있다.



Fig. 2 Frequency spectrum of electromagnetic wave

2.2 전자파 차폐이론

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



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

물질의 전자파 차폐의 정도를 나타내는 전자파 차폐효과(Shielding Effectiveness : SE)는 입사 전자파의 세기(P_I)와 투과 전자파(P_R)의 세기의 비로 정의되며, Decibel (dB)을 단위로 쓴다. 즉 식(3.1)과 같다.

$$SE=10\log(\frac{P_I}{P_R})$$
 (dB) (2.1)

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

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

여기서, k는 파동임피던스(Zw)와 차폐재료 임피던스(Zm)의 비(Zw/Zm), γ는 전자파 의 전파 상수, a는 전자파의 감쇠상수, t는 차폐 재료의 두께를 나타낸다. 전자파가 차폐 물질에 입사할 때 임피던스가 다른 물질의 계면에서 반사되는 반사에 의한 차폐효율, 전자파가 차폐물질 내부를 진행하면서 흡수되어 소멸되는 차폐효율 그 리고 차폐물질의 내부 및 양쪽 계면에서 발생하는 다중반사에 의한 차폐효율로 나누어 질 수 있다.⁹⁾

$$SE = SE_R + SE_A + SE_M \tag{2.3}$$

여기서, SE_R는 반사에 의한 차폐효율을, SE_A는 흡수에 의한 차폐효율을 , SE_M은 다중반사에 의한 차폐효율을 나타낸다.

한편 위의 식 (2.3) 의 우항들은 구체적으로 다음의 식과 같이 각각 나타낼 수 있다²⁰⁾.

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

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

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

여기서 $(2\pi/\lambda)[(|\epsilon_r|/2){(1+tan\delta)^{1/2}} = a(흡수계수)라 하고, ε_r는 유전상수의 실수부, tan\delta는 σ/(wε_0 ε_r)로 정의된다. n은 복소수 형태의 굴절률, γ는 a(1+i)이다. a, n, γ는 각각 시편의 전기 전도도, 유전상수 그리고 자기 투과율(Magnetic permeability)과 직접관련이 있는 물리적 상수 들이다.$



Material

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

입사된 전자파는 재료내부에서 exp(-d/\delta)지수함수에 따라 감쇠가 일어난다. d는 시 료의 두께, &는 전자파가 재료를 통해 진행할 수 있는 깊이를 나타내는 척도로 표면깊 이(skin depth)라 하며 입사된 전자파의 세기가 1/e로 감쇠될 때까지 전자파가 시료 내 부로 진행한 길이로 정의한다. 표면깊이는 입사전자파의 주파수 및 매질의 전기전도도 와 다음 식(2.7)과 같은 관계를 가져 일반적으로 전기전도도와 주파수가 높을수록 표면 깊이는 작아진다.⁹⁾

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu\omega\sigma}} \tag{2.7}$$

여기서, μ는 자유공간상의 투과율 (Permeability), ω는 전자파의 주파수, σ는 전기전 도도이다. 일반적으로 전자파 차폐용으로 많이 사용되고 있는 금속재료는 전기전도도 가 높기 때문에 전자파가 흡수되는 표면깊이가 작아 전자파의 반사에 의한 차폐를 이 용한 차폐 재료이다.

전자파가 금속을 만나면 반사되는 현상은 스넬의 법칙(Snell's law)⁹⁾로 설명할 수

- 8 -

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



Fig. 5 An apparatus of electromagnetic wave reflection by metal

2.3 재료의 전자기적 물성

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

가) 유전율

유전체(Dielectric material), 부도체의 전기적인 특성을 나타내는 값으로 외주의 전자 계 변화에 대해 물질 내부의 모멘트(Moment)가 얼마나 민감하게 잘 반응하여 분극되 는 정도를 나타낸다. 유전율은 복소수로 정의되며 다음 식(3.8)과 같다.

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' = \varepsilon_0 \varepsilon_r = \varepsilon_0 (\varepsilon'_r - \mu j\varepsilon''_r)$$

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''_r}{\varepsilon'_r}$$
(2.8)

여기서, ε₀는 진공유전율(8.854 × 10⁻¹² [F/m]), ε_r은 비유전율(Dielectric constant), tanδ는 손실 탄젠트(Loss tangent / Dissipation factor)이다.

나) 투과율

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

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

여기서, μ_0 : 진공투과율 ($4\pi \times 10^{-7}$ [H/m]), μ_r : 비투과율 (Relative permeability) 이다.

다) 전기전도율

전류를 운반할 수 있는 정도를 나타내는 양으로 비저항의 역수이다.

2.4 전자파 반사, 투과, 흡수

전자파가 전송되다가 다른 매질을 만나게 되면 빛과 마찬가지로 일부는 반사되고 일 부는 투과된다. 투과된 전자파도 매질의 특성에 의하여 흡수될 수 있다. 이러한 현상을 도식화 하면 Fig. 6과 같다. 이종물질의 경계면에서 일어나는 전자파의 반사, 흡수, 투 과되는 현상을 매질2의 유전율과 투자율에 의해 결정된다. 경계면에서 전자파의 반사 는 매질의 임피던스(Impedance, Z)에 결정된다. 임피던스는 전자파의 전계(E)와 자계 (H)의 성분비로 정의되며, 식(2.10)과 같이 매질의 투과율 대 유전율의 제곱근으로 표 시한다.

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



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

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

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

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

여기서, Z₁과 Z₂는 각각 매질1과 매질2의 임피던스이다. 경계면에서 전자파의 반사 가 일어나지 않기 위해서는 매질1과 매질2의 임피던스가 같아야 하고(S=0), 이러한 조 건을 임피던스 정합(Impedance matching)이라고 한다. 임피던스 정합이 이루어졌을 때 입사파는 모두 매질2로 투과되고 그 때의 투과계수는 T=1이 된다. 투과된 전자파는 매질의 손실 특성(투과율, 유전율의 허수부)에 의해 Fig.7에서와 같이 전송길이에 따라 그 크기가 지속적으로 감소한다. 전자파의 감쇠 크기는 감쇠정수(a)로 표시되는데, a는 다음 식으로 정의되는 손실계수(tanδ)가 커질수록 증가한다.

$$\tan \delta = \frac{\text{MHA} \text{ ed}}{\text{MHA} \text{ ed}} = \frac{\epsilon^{''}}{\epsilon^{'}}$$
(2.13)

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



Fig. 7 Attenuation of electromagnetic wave in a lossy media

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

만약 차폐효율이 10 dB일 경우에는 입사된 전자파 세기의 10 %에 해당하는 전자파 가 투과된 경우로 전자파차폐가 매우 미미한 수준인 반면에 100 dB일 경우에는 입사 전자파의 세기가 1/10¹⁰으로 감소되어 투과되는 경우로 매우 우수한 차폐성능을 보인다 할 수 있다.

Fig 4 에서 볼 수 있는 것처럼 전자파 차폐효과는 파동임피던스의 부정합 효과에 따 른 반사와 표면 깊이에 의한 흡수 그리고 물질 내부에서의 다중반사에 의한 기여의 합 으로 결정된다. 전자파차폐 효율을 측정할 때 전자파 발생원으로부터 차폐 재료까지의 거리에 따라 전자파차폐를 두 영역으로 구분할 수 있다. 전자파 발생원으로부터 차폐 재료까지의 거리(d)와 전자파의 파장(λ)의 비인 d/λ가 1/2π보다 큰 경우에는 far-field shielding이 라고 정의하고, 반대로 1/2π보다 작은 경우에는 near-field shielding 이라고 정의한다. far-field 영역의 경우 전자파차폐는 평면파(plane wave) 이론을 기초로 하여 해석된 다. 반면에 near-field 영역의 경우 전기 쌍극자(electric dipole)와 자기 쌍극자 (magnetic dipole)의 기여를 구별하여야 하며 noise source의 외적 형태 등이 고려되어 야 한다.

2.5 전자파 측정장치 시스템

전자파 차폐 측정 방법에는 크게 전자파가 시편재료를 통과하여 나오는 전자파의 세 기를 직접 측정하는 직접 측정방법, RF (Radio frequency) 임피던스 분석기를 이용하 여 각 주파수 대역에서 입사 전자파의 파동 임피던스와 시료의 특성 임피던스를 측정 하여 전자기파 차폐효율을 측정하는 간접측정 방법, 시료의 체적비저항을 측정하여 체 적비저항과 전자기파 차폐효율의 관계로부터 대략적인 전자기파 차폐효율을 추정할 수 있는 방법이 있다.





Fig. 8 Experimental set-up electromagnetic compatibility test system

본 연구에서는 직접 측정방법으로 ASTM D4935-89 규격에 따른 전자파 차폐효율 을 측정하기 위해 벡터 네트워크 분석기 시스템 (Vector Network Analyzer System) 의 Anritsu 37369C 모델과 플랜지형 동축 전송선 치구를 사용하여 각 시험편의 전자 파 차폐효율을 측정하였다. Fig. 8에 사용된 전자파 측정 실험장치 시스템을 나타내었 다.

사용된 모델은 전자파 장해 시험 수신기와 신호발생기가 통합된 장치로 주파수 범위 는 각각 40 MHz ~ 40 GHz 이다. 제작한 시험편을 Fig. 8과 같이 플랜지형 동축 전 송선 치구의 중앙에 위치시킨 후 전자파 측정장치 시스템의 신호발생기를 이용하여 실 험 주파수를 발생시키고, 시험편이 장착된 플랜지형 동축 전송선 치구를 통과하여 전 자파 장해 시험 수신기에 나타나는 전자파 수신량을 측정하였다.

제 3장 시험편 제작 및 전자파 차폐효율 측정

3.1 니켈도금 탄소섬유 강화복합재료 시험편 제작방법

3.1.1 재료의 선정

본 연구에서 사용된 니켈도금 탄소섬유 (Nickel Coated Carbon Fiber)는 A 회사의 제품을 사용하였다. 이 재료의 물성은 Table 1에 나타내었다. Fig 9, Fig 10에는 시험 편 제작시 사용된 니켈도금 탄소섬유의 전자현미경 사진을 나타내었다.

	특성	단위	NICF
	Diameter(µm)	μm	6.5~7.0 (도금후 7.0~7.8)
Structural Properties	Surface area	m²/g	300~500
	Coating Thickness	μm	0.3~0.5
Electrical	Specific Resistivity	Ω·cm	2.6 x 10 ⁻⁴
Properties	Electrical conductivity	(Ω·cm) ⁻¹	3.8×10^3
Thermal Property	Thermal conductivity	W/mK	_
	Max.tensile strength	GPa	2.9
Mechanical Properties	Strain at Max. Load	%	2.5
	Density	g/cm ³	2.6
Othor	CF grade (Toray 기준)		T700
Other	Process		Electoless plating

Table. 1 Typical properties of nickel coated carbon fiber



Fig. 9 Micro-structures of nickel coated carbon fiber



Fig. 10 Micro-structures of nickel coated carbon fiber

3.1.2 시험편 제작

본 연구에서 사용된 니켈도금 탄소섬유 (Nickel Coated Carbon Fiber)는 탄소섬유에 니켈을 무전해 도금한 것으로 탄소섬유에 니켈을 도금하는 제조 공정을 Fig 11에 도시 하였다. ANCI 회사의 제품으로 니켈 도금 탄소섬유 춉을 10wt%, 15wt%, 20wt% 중 량율로 조절하여 사출성형법으로 시험편을 제작하였다.



Fig. 11 Manufacturing process of nickel coated carbon fiber

니켈도금 탄소섬유 (Nickel Coated Carbon Fiber : NiCF) 의 NiCF Chop 및 NiCF Roll 복합재료 제작 공정도에 관해서 Fig 12에 도시하였다.



Fig. 12 Producinging process of nickel coated carbon fiber

니켈이 코팅된 탄소섬유 강화 복합재료의 제작은 사출성형법으로 제작 하였다. 사출 성형은 매우 작은 것부터 무게 10kg에 이르는 큰 것까지 성형할 수 있으며, 반복해서 사출하여 대량생산을 할 수 있고 작업속도가 빨라 작업능률이 높다는 특징이 있다. 이 에 NiCF의 사출 성형수지는 나일론(Nylon)을 사용하였으며 GRADE는 KN-120을 사 용하였고 사출성형 조건으로는 속도가 90m/s, 압력은 130MPa이었다. 성형시간(사출,냉 각, 보압, 형개폐시간)은 총 120s 이 걸렸다. 그래서 NiCF Chop을 사용하여 복합재료 를 사출성형 할 때 10wt%, 15wt%, 20wt%의 중량비로 복합재료를 제작하였다. 제작한 시험편을 Fig. 24 와 같은 플랜지형 동축전송선 측정치구에 결합할 할 수 있 도록 제작하였다. ASTM D4935-89 규격은 Fig. 13 과 같이 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 측정치구이 다.



(a) Reference (B)LoadFig. 13 Dimensions of reference and load specimens

3.2 CFRP, Aluminum film/CFRP, Conductive fabric/CFRP 복합재료의 제작방법

3.2.1 재료의 선정

본 연구에서 사용된 카본블랙은 코리아카본블랙의HI-BLACK 41Y를 사용하였으며, 알루미늄은 SAM-A ALUMINUM 회사의 AG3381, 전도성 직조섬유는 일흥 EMT회사 의 Ni+Cu Fabric 제품을 사용하였다. 각 재료의 물성은 Table 2, Table 3, Table 4에 각각 나타내었다.

Table 2 Typical properties of HI-BLACK 41Y

TRAD NAME	Surface Area(mg/g)	Particle Diameter(nm)	Apparent Density (Kg/m3)	pН
HI-BLACK 41Y	150	19	170	8

Table 3 Typical properties of Aluminum

TRAD	Thickness	Tensile Strength	EL(%)	
NAME	(µm)	(kg/mm2)		
AG3381	5.1	7.6	2.0	

Table 4 Typical properties of Conductive Fabric

TRAD NAME	Thickness	T/S	Bursting Strength		
	(µm)	(kg/mm2)	(kg/cm2)		
HR2201	100	26.2 ~ 25.2	9		

강화재인 섬유는 한국화이버사의 일방향 탄소섬유 매트(Toray CAT-300)를 사용하 였으며, 기지재인 에폭시와 경화제는 각각 LR-67과 LH-33으로 한국카본 제품이며, 주로 섬유강화 복합재료의 기지재로 사용되거나 코팅 등에 사용되는 재료이다.

3.2.2 시험편 제작

카본블랙을 용매인 아세톤과 혼합하여 분산시킨 후, 이 용액과 에폭시를 혼합하여 2000 rpm으로 30분 동안 교반 하였다. 이 과정에서 아세톤의 급격한 기화를 막으면서 용액의 점성을 낮게 유지하기 위해 40℃로 유지하였다. Fig. 14은 교반기(homogenizer) 와 온도를 유지하기 위한 장치를 보여준다.



Fig. 14 Homogenizer and temperature control system

이 용액을 상온에서 12시간, 80℃에서 24시간 동안 오븐에 넣어 용매를 제거하고 카 본블랙과 에폭시로만 이루어진 혼합물을 얻었다. Mold하판에 알루미늄 필름, 전도성 직조섬유를 위치시킨 후에 이 혼합물과 경화제를 2 : 1의 비율로 혼합하여 이형제를 바른 Mold에 부어서 섬유매트에 함침 시킨 후 80℃에서 핫프레스로 압축 성형하여 섬 유강화 복합재료를 제작하였다. 시험편 제작과정을 Fig. 15에 도시하였다.



Fig. 15 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens

카본블랙의 중량비를 각각 1.3wt%, 2.0 wt%, 2.7 wt%로 변화시켜서 에폭시에 혼 합하였으며, 핫프레스를 이용하여 350x250mm의 시험편를 두께 0.7, 1.1, 1.6mm로 각 각의 시험 조건에 대하여 3개씩 판넬을 제작하였다. Fig. 16 (a)는 카본블랙의 입자를, Fig. 16 (b)는 1.3wt%에서의 카본블랙이 첨가된 에폭시 복합재료 표면의 주사전자현미 경(scanning electro microscopy: SEM)사진이다. Fig. 16 (b)와 같이 Carbon black이 기지재인 에폭시 사이에 고르게 잘 분포되어 있음을 확인할 수 있었다.



Fig. 16 (a) Microstructures of Carbon black powder, (b) Microstructures of specimen with 1.3wt% carbon black

제작한 판넬은 다이아몬드 휠 커터를 이용하여 Fig. 17와 같은 플랜지형 동축전송선 측정치구에 맞추어 Fig. 26와 같은 ASTM D4935-89 규격을 참고하여 직경이 133mm 인 시편을 각각의 시험 조건별로 3 개씩 제작하였다.



Fig. 17 Flannged coaxial transmission line holder

3.3 전자파 차폐용 섬유강화 복합재료의 제작 방법

3.3.1 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 재 료의 물성은 Table 5, Table 6 에 각각 나타내었다. Fig. 18 에 시험편 제작 시 사용된 카본블랙의 주사 전자 현미경 (Scanning Electro Microscopy; SEM) 사진을 나타내었 다.

Table 5 Typical properties of carbon black

Trad Name	Surface Area [mg/g]	Particle Diameter [nm]	Apparent Density [Kg/m ³]	pН
HI-BLACK 41Y	150	19	170	8

Table 6 Typical properties of aluminum film

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



Fig. 18 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. 19 에 고 개구율 구리 메쉬와 범용 개구율 구리 메쉬 구조의 현미경 사진을 도시하였다.⁶⁾



(a) Fine copper mesh(b) General copper meshFig. 19 Micro-patterns of fine and general copper mesh (× 40)

고 개구율 구리 메쉬와 범용 개구율 구리 메쉬에 대한 재료의 물성은 Table 7 과 같다.

Trad Name	Thickness [µm]	Width [µm]	Pitch [µm]
Fine copper mesh	10	10	300
General copper mesh	20~30	30~50	200

Table 7 Typical properties of fine and general copper mesh

강화재인 섬유는 Y 회사의 현무암을 이용해 제작한 현무암 유리섬유를 사용하였다. Table 8 에 시험편 제작 시 사용된 유리섬유의 물성을 나타내었으며, Fig. 20 은 유리 섬유의 직조형상을 나타내었다.

Table 8 Typical properties of glass fiber

Trad Name	Structure	Fiber Diameter [µm]	T/S [MPa]	Melting Temperature n=10 ² poise [℃]
Glass fiber	Plain weave	9~10	3,100	1,350



Fig. 20 Micro-structures of a glass fiber(× 100)

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

3.3.2 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 기화 를 막으면서 용액의 점성을 낮게 유지하기 위해 40 ℃ 로 유지하였다. Fig. 14 에 시험 편 제작 시 사용된 교반기(Stirrer)와 온도를 유지하기 위한 장치인 히팅 맨틀 (Heating mantle) 을 도시하였다.⁶⁾

Table 9 와 10 에 각각 시험편 제작 시 사용된 교반기와 히팅 맨틀의 사양을 나타 내었다.

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

Table 9 Specifications of direct driven digital stirrer

Table 10 Specifications of heating mantle

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

카본블랙, 아세톤, 에폭시가 혼합된 용액을 상온에서 12 시간, Fig. 21 와 같은 전기로 (Electric muffle furnace) 를 이용하여 80 ℃ 에서 24 시간 넣어 용매인 아세톤을 제거 하고 카본블랙과 에폭시로만 이루어진 혼합물을 얻었다. 이때 사용된 전기로의 사양은 Table 11 과 같다.

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

Table 11 Specifications of electric muffle furnace



Fig. 21 Electric muffle furnace

이 혼합물과 경화제를 2 : 1 의 비율로 혼합하여 이형제를 바른 금형에 부어 섬유매 트에 함침 시킨 후 80 ℃ 의 고온 압축 프레스를 사용하여 섬유강화 복합재료 시험편 을 제작하였다. 시험편 제작과정을 Fig. 22 에 도시하였다.



(b) Sandwich

Fig. 22 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 증가 할수록 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, 탄소섬유강화 복합재료 (Carbon fiber reinforced plastics) 시험편(CFRP), 고 개구율 구리 메쉬, 범용 구리 메 쉬를 접착시킨 알루미늄 필름 시험편 (AG), 고 개구율 구리 메쉬 시험편 (FCG), 범용 구리 메쉬 시험편 (GCG), 알루미늄 필름을 코어재로하고 코어재 양쪽에 GFRP 시험편 을 배치한 샌드위치 시험편 (GAG) 을 제작하였다. Table 12 은 시험편 제작 시 사용 된 시험편을 나타내고 있다. Fig. 23 는 제작된 시험편의 단면 도시한 사진이다.

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

Table 12 Staking materials of specimen



(a) GFRP specimen



(b) AG specimen



(c) FCG specimen



(d) GCG specimen



(e) GAG specimen Fig. 23 Micro-structures in the specimens (× 40)

제작한 시험편 판넬은 다이아몬드 휠 톱을 이용하여 Fig. 24 과 같은 플랜지형 동축 전송선 측정치구에 결합할 할 수 있도록 Fig. 25 와 같이 ASTM D4935-89 규격을 참 고하여 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 각 각 3 개씩 제작하였다.

ASTM D4935-89 규격은 ASTM 에서 1983년에 제안한 ASTM ES 7-83 규격의 연 속 동축선 측정치구 (Circular coaxial transmission-line holder with continuous conductor) 의 단점을 보완한 것으로 내부 도체의 외경이 32 mm, 외부 플랜지의 외경 이 133 mm, 내경이 76 mm 인 측정치구이다.⁶⁾



Fig. 24 Flanged coaxial transmission line sample holder



(b) Load

Fig. 25 Dimensions of reference and load specimens

3.4.1 니켈도금 탄소섬유 강화 복합재료 시험편의 전자파 차폐효과

Fig 26은 니켈로 chop 양을 10 wt%, 15 wt%, 20 wt% 중량율로 조정하여 NiCF의 차폐 효과를 3번씩 측정하여 결과 값에 대한 평균 값을 그래프로 도식한 결과이다.





전체적으로 주파수 450 MHz, 900 MHz, 1300 MHz 부근에서는 전자파 차폐 효율이 35 ~ 37 dB의 높은 결과값을 나타내었다. 이에 반해 600 MHz, 1100 MHz 부근에서 는 전자파 차폐 효율이 25 dB의 낮을 결과값을 나타내었으며, 1500 MHz에서는 급격 히 차폐효율이 떨어져 17 dB의 가장 낮은 결과값을 보여주었다. 또한 니켈의 중량 함 유량이 Ni(10wt%)CF 보다는 Ni(15wt%)CF와 Ni(20wt%)CF가 보다 나은 전자파 차폐 효율을 나타냄을 확인 할 수 있었다. 또한 NiCF는 우수한 전자파 차폐효율의 값을 가지고 있지만 주파수 범위에 따른 차폐효율의 차이를 보이는 것으로 판단된다.

3.4.2 카본블랙 함량에 따른 전자파 차폐효과

카본블랙의 첨가량이 증가하면 할수록 전도성이 우수해지기 때문에 전자파의 차폐효 과는 증가할 것으로 예측되나 카본블랙의 첨가량을 3.0%이상의 중량비율로 첨가할 경 우 수지의 점성이 높아지기 때문에 성형이 어려웠다. 본 연구에서는 각각의 재료에 대 하여 카본블랙 첨가중량비율 1.3%, 2.0%, 2.7%의 실험결과를 비교하였다.



(a) Carbon black



Fig. 27 SE as a function frequency measured in the 300MHz $\sim\!1.5{\rm GHz}$ range due to carbon black weight fraction(%) variation

Fig. 27은 시험편 두께 0.7mm에서 카본블랙 첨가 중량비율을 1.3%, 2.0%, 2.7%로 변화시킨 경우의 충전재인 (a)카본블랙을 첨가한 CFRP, (b)전도성 직조섬유를 접착한 CFRP, (c)알루미늄 필름을 접착한 CFRP의 전자파 차폐효과를 측정한 실험결과이다. Fig. 27의 (a), (b), (c)의 실험결과 모두 카본블랙 첨가 중량비율이 증가 할수록 차폐 효과는 대부분 증가하였다. 카본블랙만을 첨가한 CFRP인 Fig. 27 (a)는 저주파수 대역 인 350MHz 이하 에서는 첨가중량율이 1.3%보다 2.0%로 증가할 때 약 5dB 정도 증가 하는 경향을 보이지만 400MHz 이상의 주파수대역에서는 큰 차이를 보이지 않고 증가 하다가 600MHz에서 카본블랙의 중량비율이 2.7%인 경우 차폐효과가 약 37dB로 가장 높게 나타났다. Fig. 27 (b)는 (a)와 유사한 경향을 보이고 있다. 이는 전도성 직조섬 유에서는 차폐효과가 거의 없음을 나타내고 있다. 따라서 전도성 직조섬유의 경우 Ni+Cu 섬유를 직조하는 조건에 따라서 재료의 연속성이 떨어지게 되므로 전자파 차폐 효과에 커다란 영향을 미치지 않고 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 27 (c)는 우수한 차 폐효과를 나타내고 있으며, 600MHz와 1.1GHz에서 약 65dB의 차폐효과를 보였다. 따 라서 카본블랙의 중량비율이 3%이하에서 차폐효과에 미치는 영향이 크게 작용하지 않 는 것을 알 수 있었다.

3.4.3 시편두께 변화에 따른 전자파 차폐효과

Fig. 28의 (a), (b), (c)는 카본블랙의 첨가 중량비율2.7%이며 시험편의 두께를 0.7, 1.1, 1.6mm 로 변화시킨 두께의 변화에 따른 차폐효과를 비교하였다. 시험편의 두께는 전자제품의 하우징재로 사용할 경우 플라스틱 표면에 도전성 도료, 도전성 테이프 등 으로 피복처리, 금속박막의 코팅 등을 가정하여 두께를 가능한 얇게 성형하였다.





Fig. 28 SE of CFRP due to of thickness variation (carbon black weight fraction 2.7%)

Fig. 28의 (a), (b), (c)의 경우 대부분 시험편의 두께가 증가할수록 차폐효과가 감소 하는 경향을 보였으나 (a)의 카본블랙만을 충전한 경우 시험편의 두께 1.6mm인 경우 가 1.1mm 인 경우보다 차폐효과가 약간 높게 나타나는 경향을 보였다. 이는 전도성 고분자재료를 충전한 시험편의 경우 1.6mm 이내에서 두께에 따른 차폐효과에는 큰 영 향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 3.4.4 재료 변화에 따른 전자파 차폐효과



Fig. 29 SE as a function frequency measured in the 300~1500MHz range due to material variation

Fig. 29는 시험편 두께 0.7mm, 카본블랙 첨가 중량비율이 2.7%인 카본블랙만이 충 전된 CFRP (a), 여기에 Ni+Cu 전도성 직조섬유를 접착한 CFRP (b), 알루미늄 필름을 접착한 CFRP (c)의 전자파 차폐효과를 비교한 것이다. (a)와 (b)의 경우는 거의 유사 한 차폐효과를 보이고 있으나, (c)의 알루미늄 필름이 접착된 시험편이 가장 우수한 차 폐효과를 보였다.

(a), (b)와 (c)의 차폐효과는 약 600MHz에서 각각약 31dB, 61dB로 측정 되었으며, (a) 와(b)는 거의 유사한 경향을 나타낸 반면 (c)의 경우가 (a) (b) 보다 약30dB이 높게 나 타남을 보였다. 이는 전도성 직조섬유는 차폐성능을 거의 갖지 못하고 있으며, 그 원인 은 구리와 니켈 섬유를 직조할 때 개구율이 직물(fabric)의 연속성을 떨어뜨린 결과로 판단된다. 또한 약 1GHz에서 (a), (b)는 차폐효과가 크게 저하한 반면에 (c)는 저하하 지 않고 약간 상승하는 경향을 보이는 것은 재료에 따라서 특정 주파수대에서 발생하 는 공진에 의한 영향으로 판단되었다.

- 41 -

3.4.5 GFRP 시험편과 GFRP/Carbon black 시험편의 전자파 차폐효율 비교

전도성 고분자 재료인 카본블랙이 전자파 차폐효율에 미치는 영향을 알아보기 위하 여 유리섬유를 이용한 시험편 (GFRP) 과 GFRP 시험편에 카본블랙을 2.7 wt% 첨가 한 시험편 (GFRP/Carbon black) 의 전자파 차폐효율을 측정하였으며, 측정결과는 Fig. 30 과 같이 나타났다. 측정주파수 범위인 300 MHz ~ 1,500 MHz 영역에서 카본블랙 을 첨가하지 않은 GFRP 시험편의 차폐효율은 0.02 dB ~ 0.96 dB 이며, GFRP 시험 편에 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 제 작 과정을 통해 확인하였다.



Fig. 30 EMSE as a function of frequency measured in the 300 MHz \sim 1,500 MHz range of GFRP and GFRP/Carbon black specimens

3.4.6 AG 시험편과 GAG 시험편의 전자파 차폐효율 비교

알루미늄 필름이 시험편 표면에 부착되어 표면재로 작용하였을 때와 양쪽 유리섬유 사이의 코어재로 작용하였을 때의 차폐효율을 알아보기 위하여 GFRP 시험편에 알루 미늄 필름을 부착한 시험편 (AG) 과 알루미늄 필름을 코어재로 한 GFRP 샌드위치시 험편 (GAG) 의 전자파 차폐효율을 비교하였다. 그 결과 Fig 31 와 같이 AG 시험편은 측정주파수 영역인 300 MHz ~ 1,500 MHz 에서 51 dB ~ 74 dB 의 높은 차폐효율 을 나타낸 반면, GAG 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 차 폐효율이 GAG 시험편에 비해 높게 나타났으며 특히 300 MHz 에서 약 50 dB 정도 높게 나타났다. 이후 700 MHz ~ 900 MHz 주파수 범위에서는 거의 동일한 차폐효율 을 나타내었다.

1.0 GHz ~ 1.2 GHz 에서는 다시 AG 시험편의 차폐효율이 GAG 시험편의 차폐효 율보다 높게 나타났으며, 1.1 GHz 에서는 약 30 dB 정도 높게 나타났다. 대부분 GAG 시험편보다 AG 시험편의 경우가 300 MHz ~ 1,500 MHz 주파수 범위에서 우수한 차 폐효율을 보였다. 이러한 결과는 금속재료인 알루미늄 필름은 전자파 흡수에 의한 차 폐효율 보다는 반사에 의한 차폐효율이 우수하기 때문에 알루미늄 필름을 코어재가 아 닌 표면재로 사용한 경우가 더욱 우수한 차폐효율이 나타난 것으로 판단된다.



Fig. 31 EMSE as a function of frequency measured in the 300 MHz \sim 1,500 MHz range of AG and AGS specimens

3.4.7 FCG 시험편과 GCG 시험편의 전자파 차폐효율 비교

금속의 메쉬 형태에 따른 전자파 차폐효율을 측정하기 위하여 고 개구율 구리 메쉬 를 이용한 시험편 (FCG) 과 범용 개구율 구리 메쉬를 이용한 시험편 (GCG) 을 제작 하여 차폐효율은 측정하였다. 측정결과 Fig. 32 과 같이 두 시험편 모두 300 MHz 주 파수 영역에서부터 600 MHz 주파수 영역까지 차폐효율 값이 증가하는 특성을 나타내 었으며 300 MHz ~ 1,500 MHz 주파수 영역에서 거의 유사한 패턴의 전자파 차폐효 율 특성을 나타내었다.

300 MHz 주파수 영역에서 FCG 시험편이 GCG 시험편보다 14 dB 정도 높은 차폐 효율을 보였으나 400 MHz ~ 800 MHz 주파수 영역에서는 0.3 dB ~ 3 dB 정도 차 이로 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 때 문에 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 차페 효율을 나타냈으며, GCG 시험편의 경우 600 MHz 주파수 영역에서 가장 높은 64 dB 정도의 차폐효율을 보였다.



Fig. 32 EMSE as a function of frequency measured in the 300 MHz \sim 1,500 MHz range of FCG and GCG specimens

3.4.8 GFRP와 CFRP의 전자파 차폐효율 비교

Fig. 33은 카본블랙의 첨가 중량비율 2.7wt%에서 강화재의 변화에 따른 차폐효과를 비교한 결과이다.

CFRP와 GFRP의 실험 결과 CFRP가 GFRP보다 차폐효과가 300MHz~1.5GHz 주파 수 범위에서 1GHz 범위를 제외한 대부분의 주파수 범위에서 높게 측정되었다. 600MHz에서는 CFRP가 GFRP보다 약 34db 정도 더 우수한 차폐효과를 나타내었다. 이는 CFRP가 GFRP보다 전도성이 우수한 재료이기 때문이다.



Fig. 33 SE as a function of frequency measured in the 300 MHz \sim 1,500 MHz range of CFRP and GFRP

제 4장 결 론

본 연구에서는 전자파 차폐재료 개발을 목적으로 유리섬유를 이용하여 Table 12, Fig. 12, Fig. 15 과 같은 시험편을 제작하여 ASTM D4935-89 규격에 따른 벡터 네트 워크 분석기 시스템의 Anritsu 37369C 모델 및 플렌지형 동축 전송선 치구를 사용하 여 300 MHz ~ 1,500 MHz의 주파수 영역에 대한 전자파 차폐효율을 측정한 결과 다 음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 니켈도금 탄소섬유 강화 복합재료는 우수한 전자파 차폐효율의 값을 가지고 있 었으며 주파수 450 MHz, 900 MHz, 1300 MHz 부근에서는 전자파 차폐 효율이 35 ~ 37 dB의 높은 결과값을 나타낸 반면 600 MHz, 1100 MHz, 1500 MHz 부근에서는 전 자파 차폐 효율이 17 ~ 25 dB의 낮을 결과값을 나타내었다. 또한 니켈의 중량 함유량 이 Ni(10wt%)CF 보다는 Ni(15wt%)CF와 Ni(20wt%)CF가 보다 나은 전자파 차폐효율 을 나타냄을 확인 할 수 있었다.

(2) (a)카본블랙을 첨가한 CFRP, (b)전도성 직조섬유를 접착한 CFRP, (c)알루미늄 필름을 접착한 CFRP의 전자파 차폐효과를 측정결과 시험편 두께 0.7mm에서 카본블 랙 첨가 중량비율을 1.3%, 2.0%, 2.7%로 변화시킨 경우 카본블랙 첨가 중량비율이 증 가 할수록 차폐효과는 대부분 증가하였다.

(3) (a)카본블랙을 첨가한 CFRP, (b)전도성 직조섬유를 접착한 CFRP, (c)알루미늄 필름을 접착한 CFRP 모두 카본블랙의 첨가 중량비율 2.7%이며 시험편의 두께를 0.7,
1.1, 1.6mm 로 비교한 결과 대부분 시험편의 두께가 증가할수록 차폐효과가 감소하는 경향을 보였다.

(4) 시험편 두께 0.7mm, 카본블랙 첨가 중량비율이 2.7%인 카본블랙만이 충전된 CFRP (a), 여기에 Ni+Cu 전도성 직조섬유를 접착한 CFRP (b), 알루미늄 필름을 접착 한 CFRP (c)의 전자파 차폐효과를 비교한 결과 (a)와 (b)의 경우는 거의 유사한 차폐 효과를 보이고 있으나, (c) 알루미늄 필름이 접착된 시험편이 가장 우수한 차폐효과를 보였다.

(5) GFRP 시험편에 카본블랙을 혼입한 경우 카본블랙의 함량이 2.7 wt% 이하에서 는 차폐효과가 거의 없음을 알 수 있었다. (6) AG 시험편은 측정주파수 영역에서 51 dB ~ 74 dB 의 고른 차폐효율을 나타내는 반면 GAG 시험편은 300 MHz 주파수 영역에서는 차폐 효율이 낮았으나 점차적으로 증가하여 600 MHz 에서는 60 dB 정도의 차폐효율을 나타냄을 확인하였다

(7) FCG 시험편과 GCG 시험편은 전자파 차폐효율 측정 주파수가 변함에 따라 유사 한 차폐효율 경향을 나타내었으나 FCG 시험편이 GCG 시험편에 비해 상대적으로 높 은 차폐효율을 보였다.

(8) 카본블랙의 첨가 중량비율 2.7%에서 CFRP가 GFRP에 비해 높은 차폐효과를 보였다.

본 연구를 통하여 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 더 욱더 다양하고 우수한 전자파 차폐재료 개발을 위한 추가적인 연구가 필요하고 생각된 다.

REFERENCE

- 1. Y.K.Lee, and J. C. Cho, "정전기 방지기술과 대책", 기계기술, pp.1-10, 1993
- 2. Kang, P.G., "S&T Information Analysis", KISTI, pp.3, 2003
- Gil-Yung Han, Dong-Han Song, and Ji-soo Bae, "A Study on Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Cu mesh, Al film / Fiber Reinforced Composites", J. of Advanced Engineering and Technology, pp.1, 2008
- 4. J.T.Hoback, and J, J. Reilly, J. of Elastomers and plastics, pp.55, 1988
- 5. Gil-Yung Han, Dong-Han Song, and Ji-soo Bae, "Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Fiber Reinforced Composites Hybrid Conductive Filler", 한국해양공학회지, pp.1, 2009
- Dong-Han Song, "A study on Electromagnetic interference shielding effectiveness of the Metal mesh / Fiber reinforced commposites", Chosun University, pp.4-37, 2010
- 7. 김덕원, "전자파공해", 수문사, P 1, 1996
- 8. 변성원, 박재기, 김기영, "레이더 위장용 전자파 차폐 섬유소재", Fiber Technology and Industry, Vol. 10. No. 1, 2006
- 9. J. Y. Lee, J. S. Joo, "전자파차폐 섬유소재", Fiber Technology and Industry, Vol. 7, pp. 28, 2003
- Ji-soo Bae, "A Study on the Electromagnetic Interference Shielding Characteristics of Fiber Reinforced Composites with Hybrid Conductive Filler", Chosun University, pp.24–53, 2009
- 11. 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
- 12. 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
- 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

- Hwan-Bho Shim, Min-Kang Seo, Soo-Jin Park, "Electromagnetic Interference Shielding of Carbon Fibers-Reinforced Composites" Polyer(Korea), Vol. 24, pp. 860–868, 2000
- 15. 유영종, 장삼규, 차상윤, "電磁波 遮蔽能 向上을 위한 鋼板코팅에 관한 硏究", 한국 표면공학회 춘계 학술발표회 논문초록집, pp. 83-83, 1998
- 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
- 17. 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
- 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
- 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
- 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
- 21. 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.
- 22. 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
- 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
- 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

- 25. Mallick, А. Κ. and Won, М. S.. "Comparison Jung, P. B.. of Electromagnetic-Wave Shielding Effect in Glass Fiber Reinforced Nano Composites," J. of the KSPE, Vol. 22, No. 10, pp. 121-128, 2005
- 26. 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
- Christopher J., von Klemperer, Denver Maharaj, "Composite electromagnetic interference shielding materials for aerospace applications", Composite Structures, Vol. 91, pp. 467–472, 2009
- 28. 정연춘, 강태원, 정낙삼, "전자파차폐현상과 측정시스템의 구현", 한국전자파학회, Vol. 4, pp. 45-53, 1993
- 29. 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
- 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
- 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
- 32. 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
- 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
- Jeong Jong-Wook, "Implementation of The Shielding System for Suppressing Unwanted Electromagnetic Waves of Information Electronic Equipments", Vol. 22, pp. 121–128, 2004

	저작물 이용 허락서		
학 과	기술·가정교육 학번 20088212 과정 교육학석사		
성명	한글:김기열 한문:金杞烈 영문:Kim Ki-Yeoul		
주 소	광주 북구 오치동 한국아델리움 103동 401호		
연락처	E-mail : kiyeoul@hanmail.net		
	한글 전도성 충전재를 사용한 복합재료의 전자파 차폐효과에 관한 연구		
논문제목	논문제목 영문 A Study on Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Composites with Conductive Filler		
본인이) 이용할 수 9	저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 있도록 허락하고 동의합니다.		
	- 다 음 -		
 저작물의 기억장: 위의 목 저작물의 배포・건 재작물의 재조목의 재조목의 자조물의 지조목의 조선대학 한 권리 지소속 다 의 전송 	 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시 가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개 월 이내에 대학에 이를 통보함. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의 한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물 의 전송·출력을 허락함. 		
	동의여부 : 동의(〇) 반대()		
	2011년 8월		
	저작자: 김기열 (인)		
	조선대학교 총장 귀하		