2007년 2월 석사학위논문

나노 카본블랙 / 섬유강화 복합재료의 전자파 차폐 효과에 관한 연구

조선대학교 대학원

기계공학과

김 진 석

나노 카본블랙/섬유강화 복합재료의 전자파 차폐효과에 관한 연구

A study on electromagnetic interference shielding effectiveness of the nano carbon black / fiber reinforced composites

2007년 2월 일

조선대학교 대학원

기계공학과

김 진 석

나노 카본블랙/섬유강화 복합재료의 전자파 차폐효과에 관한 연구

지도교수 한 길 영

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함.

2006 년 10 월 일

조선대학교 대학원

기계공학과

김 진 석

김진석의 석사학위 논문을 인준함.



2006 년 11월 일

조선대학교 대학원

목	차
---	---

LIST OF TABLE	Ι
LIST OF FIGURES	 П
ABSTRACT	

제	1 >	상	서	론		•••••	•••••	 1
	1.1		연구배	경	및	관련	연구	 3
	1.2	2 9	연구목	·적	및	방법	••••	 4

2.1 전자파 차폐용 섬유	구강화 복합재료의 제작방법	6
2.1.1 재료의 선정		6

- 2.1.2 제작방법 7
- 2.2 전자파 차폐용 알루미늄 샌드위치 판넬의 제작 방법 10
 - 2.2.1 재료의 선정 10
 - 2.2.2 제작방법 11

제	3	장	전자파	차폐효과	측정		13
---	---	---	-----	------	----	--	----

3.1 실험방법	
----------	--

3.2 전자파 차폐 원리	 14
3.3 실험 결과 및 고찰	 15

- 3.3.1 GFRP/CFRP의 전자파 차폐 효과 15
- 3.3.2 메탈 파우더의 첨가량에 따른 전자파 차폐 효과 …… 17
- 3.3.3 카본블랙의 첨가량에 따른 전자파 차폐 효과 21
- 3.3.4 알루미늄 샌드위치 판넬의 전자파 차폐 효과 23

제 4 장 전자파 차폐 판넬의 기계적 성질 27

- 4.1 전자파 차폐용 섬유강화 복합재료의 인장시험 27
- 4.2 전자파 차폐용 알루미늄 샌드위치 판넬의 인장시험 31
 - 4.2.1 실험 방법 31

제 5 장 전사출 성형해석에 의한 제품 생산성 검증 34

- 5.1 CAD 모델링 및 유한 요소 격자 생성 34
- 5.2 지배방정식
 36

 5.3 성형조건
 38
- 5.4 결과 및 고찰 40

제 6 장	결 론	 45
REFEREN	NCES	 47
감사의 글		

LIST OF TABLES

Table	1	Typical properties of HI-BLACK 41Y	6
Table	2	Mesh of metal powder	6
Table	3	Typical properties of A1050	10
Table	4	Typical properties of conductive fabrics	10
Table	5	Results of tensile test(FRP)	30
Table	6	Results of tensile test(Al)	33
Table	7	Number of nodes and triangles	36
Table	8	Typical properties of Lexa JK2500	38
Table	9	Design parameter	39

LIST OF FIGURES

Fig. 1 Schematic diagram of basic scalar co-axial system for	
measurement of transmission	3
Fig. 2 Variation of return loss vs. frequency in X-band	
frequency range of EVA based composites containing	
different concentration of SCF	3
Fig. 3 Homogenizer and temperature control system	7
Fig. 4 Manufacturing process of electromagnetic interference	
shielding specimens	8
Fig. 5(a) Microstructures of carbon black powder	8
Fig. 3(b) Microstructures of specimen with 1.3wt% carbon black	9
Fig. 6 Shape of electromagnetic interference shielding specimens	9
Fig. 7 Microstructure of conductive fabrics (\times 300)	11
Fig. 8 Manufacturing process of electromagnetic interference	
shielding specimens	11
Fig. 9 Shape of electromagnetic interference shielding specimens 1	12
Fig. 10 Photographs of EMC test system (Rohde & Schwarz)	13
Fig. 11 A typical arrangement for measuring shielding effectiveness	
of materials	15
Fig. 12 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in	
the 300-1000MHz range of CFRP(C1) and GFRP(G1)	16
Fig. 13 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in	
the 300-800MHz range of GFRP(G2) and CFRP(C2) with mixed	
30wt% Ti-powde	18

Fig. 14 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in
the 300-800MHz range of GFRP(G3) and CFRP(C3) with mixed
30wt% Ni-powder
Fig. 15 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in the
300-1000MHz range of GFRP(G4) and CFRP(C4) with mixed
30wt% Mg-powder
Fig. 16 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in the
300-1000MHz range of GFRP with mixed carbon black
1.3wt%(G5) and 1.6wt% 21
Fig. 17 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in the
300–1000MHz range of CFRP with mixed carbon black
1.3wt%(C5) and 1.6wt%(C6) 22
Fig. 18 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in
the 300-1000MHz range of Aluminium Panel 23
Fig. 19 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in
the 300–1000MHz range of Aluminium Sandwich Panel 24
Fig. 20 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in
the 300-1000MHz range of Aluminium Sandwich Panel with
mixed carbon black 25
Fig. 21 Design parameters of specimen
Fig. 22 Set-up for tensile test of CFRP 28
Fig. 23 Stress-strain relationships for GFRP and CFRP 29
Fig. 24 Design parameters of specimen
Fig. 25 Set-up for tensile test of Al panel 31

Fig.	26 Stress-strain relationships for Al panel	32
Fig.	27 Three dimensional model of multi tap case	34
Fig.	28 Initial meshes (I-deas NX 12)	35
Fig.	29 Final meshes (MoldFlow MPI 5.0)	36
Fig.	30 Results of analysis (fill time)	40
Fig.	31 Results of analysis (temperature at flow front)	41
Fig.	32 The ram speed distribution with stroke	42
Fig.	33(a) Results of analysis (fill time, auto)	43
Fig.	33(b) Results of analysis (fill time, control of ram speed)	43
Fig.	34 Prediction of weld lines	44

ABSTRACT

A study on electromagnetic interference shielding effectiveness of the nano carbon black / fiber reinforced composites

Kim, Jin-Seok Advisor : Prof. Han, Gil-Young, Ph. D. Dept. of Mechanical Engineering Graduate School of Chosun University

It has been increased greatly environmental pollutions such as air, water, noise pollutions as make rapid progress of industialization. This environmental pollution can be confirmed through an eye, a nose, an ear. But the electromagnetic waves called the fourth of pollution can not see and hear so that there are some serious problem.

Recently, it has been largely gone up the concern about how the electromagnetic waves emitted from electronic products and various phones affects a human body such as EMI(electromagnetic interference), EMS(electromagnetic susceptibility), EMC(electromagnetic compatibility). the necessity of material development that can absorb and shield the electromagnetic waves has been demanding.

The metal is the great material as a electromagnetic waves shield

because the electric conductivity is high, but there are disadvantages with a material that the cost is expensive and the weight is heavy. Great fiber reinforced composites with specific rigidity, specific strength, bending, lightweight are being used mainly as housing materials of electronic equipment. However it can be protected from the electromagnetic interference. Composites filled with a high molecular substance almost have no electromagnetic shielding effectiveness because of an insulator electrically. Fiber reinforced composites in order to shield the electromagnetic have been researched mechanical methods to use the filler mixed such as metal powder, carbon black which the electric conductivity is high.

Therefore, in this paper, we has analyzed the variation of mechanical properties through tensile experiments and characteristics on electromagnetic shielding effectiveness at the frequency range of 300MHz and 1GHz to manufacture Aluminium sandwich panel made a core material using conductive metal fabric and fiber reinforced composites mixed metal powders and carbon black.

We carried out electromagnetic shielding experiments of GFRP, CFRP filled with at regular weight rate metal powder of Ti, Ni, Mg and carbon black. When an additive does not add, we analyzed characteristics of electromagnetic shielding effectiveness to perform electromagnetic shielding experiments of GFRP and CFRP. Also, we tried to perfrom tensile experiments to consider mechanical characteristic variations with an amount of additives.

Other, we brought to effect electromagnetic shielding experiments to

turn out sandwich panel made of the outer plate A1050 to use Ni-Cu textile fiber as a core material and analyzed characteristics of electromagnetic shielding effectiveness to perform electromagnetic shielding experiments about A1050 panel of same thickness and carried out tensile experiments to consider mechanical character variations at each condition.

Finally, we carried out an analysis to use Moldflow(MPI5.0) program for analyzing injection molding on Muticap cover product which emitted much electromagnetic.

Using trial and error to solve problems and poor products under the injection molding process can not be corresponded effectively about quality improvement, reduction of the due date, cost and also can be declined about searching cause and solution. In this part, not only obtaining the optimum design to analyze all of the problems predicted before manufacturing really mold is low-cost, but also has the original purpose to settle for finding the cause of problems.

In this paper, we investigated flow characteristic such as fill pattern, the optimum gate location, etc to carry out injection molding analysis and analyzed to predict short shot, weldlines.

제1장서론

1.1 연구배경 및 관련연구

산업화가 급속하게 진행됨에 따라 대기오염, 수질오염 및 소음공해 등과 같은 환경오염이 크게 증가하고 있다. 이러한 환경오염은 눈, 코, 귀를 통하여 확인을 할 수 있지만 제 4의 공해라 불리는 전자파는 보이지도 않고 들리지도 않는데 그 심 각성이 있다.¹⁾

현대의 인간은 전자파에 둘러싸여 살고 있다고 해도 과언이 아닐 만큼 인간의 몸은 다양한 종류의 전자파에 노출되어 있다. 이러한 전자파가 인체에 직접적인 영향을 미쳐 장애를 일으키거나 디지털 기기의 오작동을 유발하고 산업기기의 오 작동을 일으켜 산업재해를 유발할 수도 있다. 또한, 생체리듬의 불균형을 가져오고 가임 여성들의 유산 및 기형아 출산과 혈액암, 뇌암등 여러 가지 질병들을 유발시 킬 수 있다고 보고되고 있다.²⁾

휴대폰 전자파의 경우 인체, 특히 뇌에 악영향을 미친다는 주장은 매우 설득력 이 있다. 휴대폰이 다른 가전제품 보다 주목 받는 이유는 휴대폰에서 방출하는 전 자파의 독특한 성질에 기인한다. 대부분의 가전제품이 극 저주파인 반면 휴대폰에 서 방출하는 전자파는 극 고주파를 방출한다. 이것은 접촉하는 부위의 온도를 높 이는 열 효과를 가지고 있어 일정 체온을 유지하고 있는 인체에서 특정부위의 온 도가 상승 한다면 이 부분의 생리적인 리듬이 깨지고 두부에 밀착되어 사용하기 때문에 더 위험성이 높다고 할 수 있다.³⁾

최근 EMI(electromagnetic interference), EMS (electromagnetic susceptibility), EMC(electromagnetic compatibility)등과 같이 전자제품이나

통신기기 등에서 방출되는 전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 관심이 급증하고 있으며, 전자파를 차폐 및 흡수할 수 있는 재료개발의 필요성이 절실히 요구되고 있는 실정이다.⁴⁾⁻¹⁰⁾

금속은 전기 전도도가 크기 때문에 전자파 차폐재로 우수한 재료이지만, 재료에 따라서 가격이 비싸고 그 무게가 무접다는 단점이 있다. 비강성, 비강도, 굴곡성, 경량성 등이 우수한 섬유강화 복합재료는 전자장치의 하우징(housing) 재료로 많이 사용되고 있지만, 전자파 간섭으로부터 보호될 수 있어야 한다. 고분자 재료가 모재인 복합재료는 전기적으로 절연체이기 때문에 전자파 차폐 효과는 거의 없다. 전자파를 차폐하기 위한 섬유강화 복합재료는 전기 전도도가 큰 메탈 파우더나 카 본블랙과 같은 충진재를 혼합하여 사용하는 기술적인 방법이 연구되고 있다. Jana PB등¹¹⁾은 전기적 충진재로 카본블랙, 그라파이트 화이버(graphite fibers), 메탈 화이버(metal fiber), 금속파우더(metal powder)를 모재에 혼합하여 전자파 차폐 효과와 전기적 전도성을 향상 시킬 수 있었다고 보고 하였다. Baker등^{12),13)}은 고무(acrylonitrile butadiene rubber)에 강 섬유(steel fiber)를 충진재로 사용 하여 전자파 차폐효과를 평가 하였다. Das등¹⁴⁾은 Fig. 1, 2와 같이 탄소섬유 / 카 본블랙 / ethylene vinylacetate 복합재료를 제작하여 100 ~ 2000 MHz와 8 ~ 12 GHz(X-band range)대역에서 필러의 중량율이 증가함에 따라 전자파 차폐효과 파 특성을 고찰하였다.

그러나, 대부분의 연구들이 고분자 재료의 유전 특성에 관한 것으로 섬유강화 복합재료의 전자파 차폐효과에 관한 정량적인 실험적 연구는 아직 미비한 실정이 다.

- 2 -



Fig. 1 Schematic diagram of basic scalar co-axial system for measurement of transmission¹⁴⁾



Fig. 2 Variation of return loss vs. frequency in X-band frequency range of EVA based composites containing different concentration of SCF¹⁴⁾

1.2 연구목적 및 방법

모재인 에폭시에 메탈 파우더와 전도성 카본블랙을 혼합한 유리섬유와 탄소섬 유 강화 복합재료는 균열의 진전을 막고, 기계적 성질을 향상시켜 전자파 차폐효 과를 가져옴으로써 가전제품이나 통신장비의 하우징 재료로 사용되기에 매우 적 합할 것으로 생각 된다.

따라서 본 연구에서는 메탈 파우더와 카본블랙을 혼합한 섬유강화 복합재료와 전도성 금속 천을 코어재로 한 알루미늄 샌드위치 판넬을 제작하여 300MHz ~ 1GHz의 주파수 대역에서 전자파 차폐 효과에 대한 특성과 인장실험을 통한 기계 적 성질의 변화를 분석/고찰 하였다.

티타늄, 니켈, 마그네슘 메탈파우더와 카본블랙을 일정한 중량비로 첨가하여 제작한 GFRP와 CFRP의 전자파 차폐 실험을 실시하고, 첨가재를 첨가 하지 않았 을 때 GRRP와 CFRP의 전자파 차폐 실험을 실시하여 전자파 차폐 효과 특성을 비교 분석 하였고, 첨가재의 함량에 따른 기계적 특성 변화를 고찰하기 위해 인장 실험을 실시하였다.

니켈-구리 직조섬유를 코어재로 하고 A105알루미늄 판재를 외판 재료로 갖는 샌드위치 판넬을 제작하여 전자파 차폐 실험을 실시하였다. 동일 두께의 외판재인 A1050알루미늄 판넬에 대한 전자파 차폐실험을 실시하여 전자파 차폐효과 특성 을 비교 분석 하였고, 각 조건에 따른 기계적 특성 변화를 고찰하기 위해 인장 실 험을 실시하였다.

전자파 차폐용 섬유강화 복합재료의 생산성 검증을 위하여 전자파 방출 양 이 많은 제품인 멀티탭 커버에 대하여 상용 사출성형 해석 프로그램인 Moldflow (MPI5.0)을 이용하여 해석을 수행하였다. 사출 성형공정에서 문제 점과 불량해결을 위해 시행 착오방법을 이용하는 것은 품질향상, 납기 단축 또

- 4 -

는 비용에 있어서 효과적으로 대응할 수 없으며, 원인과 해결 방안을 모색하는 데에 있어서도 경쟁력이 저하된다. 이 부분에 있어서 사출성형해석을 통하여 금형이 실제로 가공되기 전에 예상되는 모든 문제점을 미리 분석하여 최적의 설계치를 얻는 것은 제조 원가를 감소시킬 뿐만 아니라 문제점의 원인을 찾아 해결하려는 근원적인 목적을 가지고 있다. 본 연구서는 사출 성형해석을 수행 하여 유동특성 즉 충전 패턴, 최적 게이트 위치 등을 고찰하였고, 미충전, 웰드 라인 등을 예측 분석하였다.

제 2 장 전자파 차폐 판넬 제작 공정

2.1 전자파 차폐용 섬유강화 복합재료의 제작 방법

2.1.1 재료의 선정

본 연구에서 사용된 카본블랙은 코리아카본블랙의HI-BLACK 41Y를 사용하 였으며, 물성은 Table 1과 같다. Table 2는 본 연구에서 사용한 메탈파우더 입 자의 크기를 나타낸다. 강화재인 섬유는 한국화이버사의 유리섬유 로빙 매트 (Woven roving met:CM 380 A)와 일방향 탄소섬유 매트(Toray CAT-300) 를 사용하였으며, 기지재인 에폭시와 경화제는 각각 LR-67과 LH-33으로 한국 카본 제품이며, 주로 섬유강화 복합재료의 기지재로 사용되거나 코팅 등에 사용 되는 재료이다.

Table 1 Typical properties of HI-BLACK 41Y

Trad Nama	Surface Area	Particle Diameter	Apparent Density	ъU
	(Mg/g)	(mm)	(Kg/m)	рп
Hi-BLACK	150	19	170	8
41Y		-0)

Table 2 Mesh of metal powder

종류	Ti	Ni	Mg
입자 크기	500mesh	400mesh	100mesh

2.1.2 제작 방법

카본블랙을 용매인 아세톤과 혼합하여 분산시킨 후, 이 용액과 에폭시를 혼 합하여 2000 rpm으로 30분 동안 교반 하였다. 이 과정에서 아세톤의 급격한 기화를 막으면서 용액의 점성을 낮게 유지하기 위해 40 ℃로 유지하였다. Fig. 3은 교반기(homogenizer)와 온도를 유지하기 위한 장치를 보여준다. 이 용액 을 상온에서 12시간, 80 ℃에서 24시간 동안 오븐에 넣어 용매를 제거하고 카 본블랙과 에폭시로만 이루어진 혼합물을 얻었다. 그 후에 이 혼합물과 경화제 를 2 : 1의 비율로 혼합하여 이형제를 바른 몰드에 부어서 섬유매트에 고르게 함침시킨후 80 ℃에서 핫프레스로 압축성형하여 섬유강화 복합재료를 제작하 였다. 시험편 제작과정을 Fig. 4에 나타내었다



Fig. 3 Homogenizer and temperature control system

티타늄, 니켈, 마그네슘 메탈파우더10 wt%, 20 wt%, 30 wt%, 40 wt%를 에 폭시에 혼합하여 교반기를 이용하여 2000 rpm으로 30분간 교반하였으며, 핫프 레스를 이용하여 동일한 시험편을 제작하였다.



Fig. 4 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens

Fig. 5 (a)는 카본블랙의 입자를, Fig. 5 (b)는 1.3 wt%의 카본블랙이 첨가된 에폭시 복합재료 표면의 주사 전자 현미경(scanning electro microscopy : SEM) 사진이다. Carbon black이 에폭시 사이에 잘 분포되어 있음을 확인할 수 있었다.



Fig. 5(a) Microstructures of carbon black powder

- 8 -



Fig. 5(b) Microstructures of specimen with 1.3wt% carbon black

핫프레스로 압축 성형한 두께 1.8mm의 판넬(panel : 300mm x 170mm x 1.8mm)을 각각의 시험 조건별로 5개씩 제작하였다. 전자파 차폐 측정실험을 하 기 위해 다이아몬드 휠톱(powermet 2000 abrasive cutter)으로 절단하여 200mm x 150mm x 70mm인 박스형태로 제작하였으며, 각각의 모서리 부분을 밀 페시키기 위하여 시험편 제작과정과 동일한 혼합비로 제작한 혼합물을 이용하여 모서리 부분을 밀폐시켰다. 박스형태로 제작한 형상을 Fig. 6에 도시하였다.



Fig. 6 Shape of electromagnetic interference shielding specimens

2.2 전자파 차폐용 알루미늄 샌드위치 판넬의 제작 방법

2.2.1 재료의 선정

본 연구에서 사용된 알루미늄 판재는 A1050으로 물성은 Table 3과 같다. 코어재로는 폴리에스터 섬유에 Ni과 Cu를 증착하여 직조한 전도성 금속 천(일 흥 EMT)을 사용하였으며 물성은 Table 4와 같다. Fig. 7는 전도성 금속천의 직조형상을 300배로 확대한 사진이다. 표면 판재와 코어재의 접착제로 DEVCON사의 2TON EPOXY를 사용하였다. 2TON EPOXY는 금속 등 하중 을 요하는 구조재의 접착에 사용되는 재료이다.

또한 표면 판재와 코어재 접착시 전도성 향상을 위한 재료로 코리아카본블랙의 HI-BLACK 41Y를 사용하였다.

Table 3 Typical properties of A1050

Trad Name	Thickness	Tensile Strength	Elongation
	(mm)	(Kg _f /mm ²)	(%)
A1050	0.5	10	20

Table 4 Ty	pical proper	ties of cond	luctive fa	ubrics
------------	--------------	--------------	------------	--------

	Thickness	Tensile Strength	Bursting Strength
Irad Name	(µ m)	$(\mathrm{Kg}_{\mathrm{f}}/25\mathrm{mm}^2)$	(kg_f/cm^2)
HR2201	100	26.2 ~ 25.2	9



Fig. 7 Microstructure of conductive fabrics (\times 300)

2.2.2 제작 방법

니켈-구리를 코어재로 한 알루미늄 샌드위치 판넬은 외판인 알루미늄 판재 와 코어재인 전도성 금속 천을 에폭시 접착제로 접합하여 프레스로 압축하여 제작하였다. 시험편의 제작 과정을 Fig. 8에 도시 하였다.

접착면의 전도성 향상을 위한 첨가제인 카본블랙은 2wt%를 에폭시 본드에 첨가하여 2000rpm으로 1분간 교반하였다.



Fig. 8 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding

specimens

제작된 판재를 전자파 차폐 측정실험을 하기 위하여 200mm × 150mm × 70mm인 박스형태로 제작하였다. 박스형태로 제작한 형상을 Fig. 9에 도시하였다.



Fig. 9 Shape of electromagnetic interference shielding specimens

제 3 장 전자파 차폐 효과 측정

3.1 실험방법

전자파 차폐효과를 측정하기 위하여 외부에서의 전자파에 대한 영향을 차단할 수 있는 공간인 차폐실이 설치 되어있는 EMC 시험 시스템을 이용하여 전자파 차 폐 측정실험을 하였다. 본 연구에서는 전자파 측정 실험장치 시스템(EMC test system : Rohde & Schwarz)을 사용하였으며, Fig. 10에 측정장비와 시험편의 적용법을 도시 하였다.



Fig. 10 Photographs of EMC test system (Rohde & Schwarz)

제작한 각 시험편의 전자파 차폐효과를 측정하기 위하여 주파수 발생장치에서 발생하는 주파수대의 전자파를 half-wave dipole 안테나를 통하여 방출한다. 그 양을 EMI test receiver에서 측정한 후 200mm x 150mm x 70mm 사이즈의 시 험편에 half-wave dipole 안테나를 넣고 주파수를 발생시키면 발생된 전자파를 시험편에서 차폐·흡수하고 차폐·흡수하지 못한 전자파를 EMC test receiver에서 측정하여 EMSE(dB)의 양을 도시 함으로써 시험편을 설치하지 않았을 때의 전자 파 방출 양과 시험편 설치후의 전자파 방출양의 차이를 얻음으로써 전자파 차폐효 과를 측정할 수 있었다.

전자파 차폐 측정실험은 동일조건에 대하여 각각 3회씩 측정하였다.

3.2 전자파 차폐 원리

Fig. 11(a)의 발생측 안테나에서 발생하는 신호를 P_T라 하고 수신측의 안테나 에서 수신하는 신호를 P_R이라 한다. 이때, Fig. 11(b)에 도시한 바와 같이 발생측 과 수신측 사이에 차폐 소재로 차단막을 형성한 상태에서의 수신측 신호를 P'_R이 라하면 전자파 차폐효과는 다음 식으로 계산 할 수 있다.

$$EMSE = 10log \mid \frac{P_R}{P_R} \mid dB \tag{1}$$



(a) Unloaded specimen



(a) Loaded specimen

Fig. 11 A typical arrangement for measuring shielding effectiveness of materials

3.3 실험결과 및 고찰

3.3.1 CFRP/GFRP의 전자파 차폐 효과

각각의 시험편에 대하여 3회씩 전자파 차폐 측정실험을 한 결과 동일한 측정결 과 값을 얻을 수 있었다.

Fig. 12은 주파수 범위에 따라 시험편을 적용하지 않은 Dipole Antenna에서

발생하는 전자파의 방출 양(A1)과 메탈파우더 및 카본블랙을 첨가하지 않은 GFRP(G1)와CFRP(C1)의 주파수 범위에 따른 전자파차폐 효과를 나타내었다.



Fig. 12 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in the 300-1000MHz range of CFRP(C1) and GFRP(G1)

시험편을 적용하지 않은 경우(A1)와 GFRP(G1)를 적용한 경우가 거의 일치하 여 차폐효과가 거의 나타나지 않았음을 알 수 있었다. CFRP(C2) 적용시 저주파 대역에서 약간의 차폐효과를 보였으나 650 MHz 이후에는 차폐효과가 아주 낮게 나타남을 알 수 있었다. 이는 전기 전도도가 큰 재료가 전자파 차폐 효과에 우수함 을 알 수 있었다. 탄소섬유의 전기 전도도는 유리섬유에 비해서 크고, 유리섬유는 오히려 절연성이 우수한 재료이다. 따라서 Fig. 12에 나타난 CFRP(C2)가 GFRP(G1)보다 저 주파수대에서 높게 나타난 것은 탄소섬유 매트와 유리섬유 매 트에 대한 전기 전도도 특성에 기인한 것으로 판단되었다.

- 16 -

3.3.2 메탈 파우더의 첨가량에 따른 전자파 차폐 효과

메탈파우더의 첨가량에 따른 전자파 차폐효과를 측정하기 위하여 중량비 10 wt%, 20 wt%를 에폭시에 첨가하여 300mm x 170mm x 1.8mm의 시험편을 제 작하였다. 메탈파우더를 첨가하여 시험편을 성형할 때 2.2절과 같은 방법으로 교 반기를 이용하여 교반시켜 성형하였으나 메탈파우더의 중량으로 인한 영향으로 핫 프레스로 성형할 때 두께의 한쪽 면으로 침전되는 현상이 발생하였다. 따라서 성형후 메탈파우더가 침전되는 면이 전자파 차폐 측정실험을 할 때 박스형태 시험 편의 안쪽 면이 되도록 제작하여 실험 하였다.

제작한 판넬 시험편을 컴퓨터 모니터 앞 5 Cm이내에 두고 전자파 차폐측정기 Catcher (Pulse)를 이용하여 측정한 결과 10 wt%, 20 wt%에서는 차폐효과가 거의 없음을 보였다. 또한40 wt%이상의 경우는 30 wt%보다 차폐효과가 우수할 것으로 예측되나 중량이 무거워지는 단점 때문에 본 연구에서는 30 wt%에 대한 EMC 시험편을 제작하여 실험 결과를 비교하였다.

Fig. 13과 Fig. 14은 Ti 파우더 와 Ni파우더를 각각30 wt%씩 혼합한 시험편 의 주파수 범위300MHz ~ 800MHz에 따른 전자파 차폐효과를 나타내었다.

Ti파우더를 혼합하여 제작한 GFRP의 경우 차폐효과가 거의 나타나지 않았으 며, CFRP의 경우는 약 5 dB미만의 적은 양의 차폐효과를 관찰 할 수 있었다. 이 는 Ti파우더가 전자파 차폐에 큰 효과를 주지 못하는 것으로 판단된다.



Fig. 13 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in the 300-800MHz range of GFRP(G2) and CFRP(C2) with mixed 30wt%

Ti-powder



Fig. 14 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in the 300-800MHz range of GFRP(G3) and CFRP(C3) with mixed 30wt% Ni-powder

Ni파우더를 혼합하여 제작한 GFRP(G3)의 경우 차폐효과가 거의 나타나지 않 았지만, CFRP(C3)의 경우 550 MHz에서 약 20 dB의 차폐효과가 있음을 알 수 있었다. Ni파우더를 CFRP에 적용한 경우 Ti파우더 보다는 양호한 차폐효과를 얻 을 수 있었다.

Fig. 15은 Mg 파우더 30 wt%를 혼합한 시험편의 주파수 범위에 따른 전자파 차폐 효과를 나타내었다.



Fig. 15 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in the 300-1000MHz range of GFRP(G4) and CFRP(C4) with mixed 30wt% Mg-powder

Mg 파우더를 혼합하여 제작한 GFRP(G4)의 경우도 차폐효과가 거의 나타나 지 않지만, CFRP(C4)의 경우550 MHz에서 약35 dB의 차폐 효과가 있음을 알 수 있었다.

Fig. 13 ~ 15의 실험 결과 Ti, Ni, Mg 파우더를 충진재로한 CFRP시험편의 경 우 Mg 파우더가 가장 우수한 전자파 차폐효과를 가지고 있음을 알 수 있었다. 메 탈파우더의 경우 3종류의 시험편 모두 성형할 때 중량으로 인한 침전이 있었다. 따라서 두께방향으로 고르게 분산시킬 수 있는 성형방법의 필요성이 절실하다고 판단하였다.

- 20 -

3.3.3 카본블랙의 첨가량에 따른 전자파 차폐 효과

카본블랙을2.0 wt%이상 첨가할 경우 수지의 점성이 높기 때문에 시험편 성형 이 어려웠다. 따라서 카본블랙의 첨가량이 증가하면 할수록 전자파 차폐효과가 우 수할 것으로 예측되나 본 연구에서는 중량비 1.3 wt%와 1.6 wt%의 실험결과를 비교 하였다.



Fig. 16 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in the 300-1000MHz range of GFRP with mixed carbon black 1.3wt% (G5) and 1.6wt% (G6)

Fig. 16은 시험편을 적용하지 않았을 때(A1)의 전자파 방출양과 유리섬유에

- 21 -

카본블랙을 각각 1.3 wt%(G5), 1.6 wt%(G6)씩을 혼합하여 제작한 시험편을 적 용 하였을 때 주파수 범위에 따른 전자파 차폐 효과를 나타낸 것으로 주파수650 MHz이하에서는 G5와 G6시험편에서 거의 같은 차폐효과가 나타남을 알 수 있었 으며, 약800 MHz이상의 주파수 대역에서 G6가 약간 더 우수한 차폐효과를 나타 냄을 알 수 있었다. GFRP의 경우 카본블랙의 첨가량이 650 MHz이하의 저주파 대역에서는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단되었다.



Fig. 17 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in the 300-1000MHz range of CFRP with mixed carbon black 1.3wt% (C5) and 1.6wt% (C6)

Fig. 17은 탄소섬유에 카본블랙을 각각 1.3 wt%(C5), 1.6 wt%(C6)씩을 혼

- 22 -

합하여 제작한 시험편을 적용했을 때 주파수 범위에 따른 전자파 차폐 효과를나타 낸 것으로 카본블랙 함량의 증가로 인한 차폐효과의 차를 발견할 수 있었으며, 주 파수 550 MHz에서 약35 dB, 850 MHz에서 약40 dB 의 차폐효과가 나타남을 알 수 있었다.

카본블랙을 충진재로 한 GFRP와 CFRP에 대한 전자파 차폐효과는 전기 전도 도가 우수한 섬유매트가 영향을 줄 수 있는 변수가 된다고 판단하였다.

3.3.4 알루미늄 샌드위치 판넬의 전자파 차폐 효과

각각의 시험편에 대하여 3회씩 전자파 차폐 측정실험을 한 결과 동일한 측 정결과 값을 얻을 수 있었다.



Fig. 18 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in the 300-1000MHz range of Aluminium Panel

- 23 -

Fig. 18은 주파수 범위 300MHz ~ 1GHz에 따른 시험편을 적용하지 않은 Dipole Antenna에서 발생하는 전자파의 방출 양과 표면 판재인 A1050의 주 파수 범위에 따른 전자파 차폐 효과를 나타내었다.

주파수 범위 300MHz ~ 1GHz에서 A1050의 전자파 차폐 효과는 400MHz까지는 증가하다가 그 후로는 감소하는 경향을 나타내었다. 주파수 400MHz에서 약35dB의 차폐효과를 보였으며 500MHz에서 약25dB, 850MHz에서는 약18dB로 점점감소 되었다.

Fig. 19는 전도성 금속 천을 코어재로 한 알루미늄 샌드위치 판넬의 주파수 범위에 따른 전자파 차폐 효과를 나타내었다.



Fig. 19 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in the 300-1000MHz range of Aluminium Sandwich Panel

전도성 금속 천을 코어재로 한 샌드위치 판넬의 경우 주파수 400MHz에서 약39dB의 전자파 차폐 효과가 나타났으며, 500MHz에서 약31dB, 850MHz에 서는 약18dB로 점점감소 되었다.

Fig. 20은 접착제인 에폭시에 2wt%의 카본블랙을 첨가 하였을 때의 전자파 차폐 효과를 나타내었다.



Fig. 20 Shielding effectiveness as a function of frequency measured in the 300-1000MHz range of Aluminium Sandwich Panel with mixed carbon black

카본블랙을 첨가하였을 경우 주파수 400MHz에서 약40dB의 전자파 차폐효 과를 보였으며 500MHz에서 약34dB, 850MHz에서는 약22dB로 점점감소 되 었다. 알루미늄 판넬보다 전도성 금속 천을 코어재로 한 샌드위치 판넬과 카본블 랙을 첨가하여 제작한 샌드위치 판넬이 약간 더 우수한 차폐 효과가 나타남을 알 수 있었다.

제 4 장 전자파 차폐 판넬의 기계적 성질

4.1 전자파 차폐용 섬유강화 복합재료의 인장시험

4.1.1 실험방법

카본블랙을 첨가함에 따라 기계적 성질의 변화를 알아보기 위해 인장 시험을 실 시하였다. 시험편은 ASTM D3039 규격을 고려하여 Fig. 21 과 같은 치수와 형상 으로 제작 하였으며, 실험은 Fig. 22과 같이 RB301 Unitech M 에서 수행 되었다.



Fig. 21 Design parameters of specimen



Fig. 22 Set-up for tensile test of CFRP

4.1.2 실험 결과 및 고찰

복합재료의 인장실험 결과는 Fig. 23 및 Table. 5와 같다.



(a) CFRP

Fig. 23 Stress-strain relationships for GFRP and CFRP

	Specimen	Tensile Strength (Mpa)	Young's Modulus (Gpa)
	GFRP	227.8	9.6
GFRP	GFRP-C/B 1.3wt%	217.8	9.8
	GFRP-C/B 1.6wt%	199	9.9
	CFRP	631.9	34.8
CFRP	CFRP-C/B 1.3wt%	586.3	34.7
	CFRP-C/B 1.6wt%	548.5	34.3

Table 5 Results of tensile test(FRP)

본 실험결과 GFRP/CFRP의 인장강도는 카본블랙(C/B)의 함량이 증가함에 따 라 감소함을 알 수 있었다. 이는 카본블랙의 첨가로 인해 에폭시의 점성 증가와 에 폭시와 섬유간의 응집력을 떨어뜨려 최대 인장 강도가 감소되는 것으로 판단된다.

4.2 전자파 차폐용 알루미늄 샌드위치 판넬의 인장시험

4.2.1 실험방법

알루미늄 샌드위치 판넬의 인장시험에 사용된 시편은 Fig. 24와 같이 ASTM A370-03의 박판재료 인장시편 규격을 응용하여 설계/제작 하였으며, 실험은 Fig. 25와 같이 RB301 Unitech M 에서 수행 되었다.



Fig. 24 Design parameters of specimen



Fig. 25 Set-up for tensile test of Al panel

4.2.2 실험 결과 및 고찰

알루미늄 샌드위치 판넬의 인장실험 결과는 Fig. 26 및 Table. 6와 같다.



Fig. 26 Stress-strain relationships for Al panel

Specimen	Tensile Strength (Mpa)	Young's Modulus (Gpa)
Al	191.9	26.3
Al sandwich	221.1	23.5
Al sandwich(C/B)	204.4	26.6

Table 6 Results of tensile test(Al)

본 실험결과 접착제에 카본블랙(C/B)을 첨가하지 않은 알루미늄 샌드위치 판넬 의 인장 강도가 가장 강하게 나타남을 알 수 있었다. 이는 코어재로 들어간 전도 성 금속 천과 접착제인 에폭시에 의해 인장강도가 증가하고 연신율 또한 증가함으 로 사료된다. 접착제에 카본블랙을 첨가한 경우에는 카본블랙이 에폭시의 접착력 을 감소 시켜 카본블랙을 첨가 하지 않은 경우보다 인장강도가 낮게 나타남을 확 인 할 수 있었다.

제 5 장 사출 성형해석에 의한 제품 생산성 검증

5.1 CAD 모델링 및 유한 요소 격자 생성

전자파 차폐용 섬유강화 복합재료의 생산성 검증을 위하여 전자파 방출 양 이 많은 제품인 멀티탭 커버의 사출 성형 해석을 실시하였다. 해석에 사용된 제품은 (주)펄스 사의 멀티탭 커버로 선정하였다.

해석 수행을 위해 CATIA V5를 이용하여 Fig. 27과 같은 형상의 3D 솔리 드 모델링을 실시하였다.



Fig. 27 Three dimensional model of multi tap case

본 연구에서는 솔리드 모델링으로부터 표면 모델링 데이터를 추출하기 위하 여 IGES 파일 변환기능을 활용하였다. 변환된 IGES 파일의 1차 유한요소 격 자는 I-deas NX12 의 자동 격자 생성 기능을 이용하여 Fig. 28과 같은 삼각 형 쉘 요소 격자를 생성하였다. 이때 기본 격자 크기는 5.4mm로 하여 생성하 였다.



Fig. 28 Initial meshes (I-deas NX 12)

I-deas에서 자동으로 생성된 격자를 MoldFlow에서 불러들여 Mesh Quality Check를 실시한 결과 Fig. 29와 같이 Free Edge, Aspect Ratio등이 발생하였고, 내부 Surface면의 격자가 생성되지 않는 현상이 발생하였다. 이를 수정하여 Fig. 29와 같은 최종 격자를 생성하였다. Table. 7은 해석 모델에 대 한 절점과 유한 요소 격자 수 이다.



Fig. 29 Final meshes (MoldFlow MPI 5.0)

Table 7 Number of nodes and triangles

Nodes	Surface Triangles	Mesh Volume	Mesh Area
(EA)	(EA)	(Cm ³)	(Cm ²)
40,058	20,039	90.85	997.59

5.2 지배방정식

일반적으로 사출 성형에 의해 성형되는 제품은 얇은 두께를 갖는 경우가 대 부분이기 때문에 평면 방향의 유동에 비해 두께방향의 유동은 상대적으로 무시 할 수 있다. 따라서 성형해석에 이용된 Moldflow는 두께 방향의 압력변화를 무시한 2차원 해석 이론이 적용되었다. 평면방향 유동의 경우 연속방정식은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w) = 0$$
(2)

일반적인 사출성형의 경우에는 시간에 따른 밀도의 변화량을 무시할 수 있으므로 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0$$
(3)

여기서, *x*는 x방향의 좌표, *y*는 y방향의 좌표, *z*는 z방향의 좌표, *u*는x방향 의 속도, *v*는 y방향의 속도, *w*는 z방향의 속도, *ρ*는 밀도로 압력과 온도의 함 수이다.

캐비티 내의 x, y방향의 운동 방정식은 식(4), (5)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \tag{4}$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \tag{4}$$

여기서, η는 전단탄성계수이다.

5.3 성형조건

해석은 MoldFlow MPI5.0 상용프로그램을 이용하였다. 성형 해석에 사용된 재료는 Lexan JK2500을 사용 하였다. Lexan JK2500은 가전제품 등에 주로 사용되는 ABS수지와 폴리카보네이트의 합성수지에 20%의 탄소 섬유가 함유 되어 있는 재료이다. 본 연구의 주목적인 카본블랙과 탄소 섬유가 포함된 ABS 수지는 상용프로그램의 재료 선택 범위 내에 존재 하지 않아 Melt density와 Solid density가 동일한 Lexan JK2500을 선택하였으며, 재료의 물성은 Table. 8과 같다.

Family Abbreviation	ABS + PC
Melt Density (g/Cm ³)	1.542
Solid Density (g/Cm ³)	1.3006
Melt Temperature (°C)	291
Fillers	20% Carbon fiber high modulus

Table 8 Typical properties of Lexan JK2500

필요한 게이트의 수와 위치를 결정한다는 것은 성형해석의 중요한 목적중의 하나이다. 게이트의 위치에 따라 제품의 성형성이 달라지는데, 제품 생산을 위 한 최적의 게이트 위치를 찾기 위해 본 연구에서는 MPI 5.0을 이용하여 사출 온도 291℃, 금형온도 60℃로 유동해석을 실시하였다. Table. 9는 성형 해석 의 조건인 각각의 게이트 위치를 나타낸다.



Table 9 Design parameter

5.4 결과 및 고찰

본 연구에서는 게이트의 위치를 다양하게 변화 시켜가며 각각의 경우에서의 유동 특성을 고찰하였다. Fig. 30은 유동 시뮬레이션 결과로 게이트의 위치가 A, B, C일 때는 미충전이 발생 하였으나, D위치에서는 미성형 발생이 없고 수 지의 충진이 잘 이루어짐을 확인 할 수 있었다.



Fig. 30 Results of analysis (fill time)



Fig. 31 Results of analysis (temperature at flow front)

Fig. 31의 A, B, C는 미충전 상태의 유동선단 온도를 예측 한 것으로 미충 전 부위의 온도가 낮아져서 고화된 것을 관찰 할 수 있다. 이에 적절한 게이트 의 위치는 D위치임을 확인 할 수 있었다.

게이트 위치 D에서 일정한 수지의 흐름 유지 하기위해 Fig. 32와 같이 램속 도분포를 조정하였다.



Fig. 32 The ram speed distribution with stroke

Fig. 33은 시간에 따른 수지의 충전 패턴을 나타낸 것이다. 이는 수지가 금 형 속으로 흘러 들어갈 때 각 위치에 도달하는 시간에 따라 나타낸 것이다. 같 은 색깔의 영역이 같은 시간에 충진 된 부위로서 이 간격이 제품전체에 걸쳐 넓고 일정하게 나타난다면 이는 수지의 흐름이 원활하다는 것을 의미 한다. Fig. 33(b)는 램속도분포를 조정 하였을 때의 결과로 램속도 분포를 조정하지 않은 Fig. 33(a)의 경우와 달리 전체적인 영역이 넓고 간격이 일정한 것을 볼 수 있다. 수지의 흐름도 적절하여 금형 내 수지의 충진은 미성형 발생 없이 잘 이루어진 것을 확인 할 수 있었다.



Fig. 33(a) Results of analysis (fill time, auto)



Fig. 33(b) Results of analysis (fill time, control of ram speed)

웰드 라인은 유동 중에 두개 이상의 서로 다른 방향을 갖는 유동 선단이 만나면 서 형성되는 선이다. 제품의 외관에 손상을 주기도 하고 이 부분에 크랙이 발생하 기도 쉽다. 성형해석을 통하여 예측한 본 제품의 웰드 라인의 위치는 Fig. 34에 나 타내고 있다. 제품의 형태나 게이트의 위치와 숫자는 웰드 라인의 위치 및 상태를 결정하게 되는데 웰드 라인이 최종 제품의 강도나 외관의 중요한 부위에 형성된다 면 금형설계, 사출성형 조건을 조절하여 그 정도를 약하게 하거나 원하는 위치로 옮길 수 있다. 일반적으로 알려진 사항은 수지의 사출온도를 높이거나 사출속도를 빠르게 그리고 금형 온도를 높게 하여 사출 하는 방법이 있다. 또한 제품의 웰드 라인을 이동시키기 위해서는 제품의 구조를 변경하거나 게이트의 위치 조정, 각 부위별 제품의 두께 조절로 가능하다. 웰드 라인을 방지하기 위해서는 이런 요소 들을 잘 검토하여야 하며 웰드 라인을 피할 수 없다면 제품의 외관에 직접적인 영 향을 미치지 않는 부분이 좋으며 다음에 도시하고 있는 Fig. 31에서는 유동해석을 수행 하였을 때 게이트 D위치에서의 웰드 라인을 확인 할 수 있다. 이는 제품 외장 에 직접적으로 영향을 미치는 부분이 아니며 양호한 결과로 사료된다.



Fig. 34 Prediction of weld lines

제 6 장 결 론

본 연구에서는 실험을 통하여 메탈파우더와 카본블랙을 충진재로 한 섬유강화 복합재료와 전도성 금속 천을 코어재로 한 알루미늄 샌드위치 판넬의 전자파 차폐 효과를 측정하여 인체에 유해한 전자파를 차폐할 수 있는 재료를 개발하고 전기·통 신장비의 하우징 재료, 항공기, 선박 등의 구조재료로 응용할 수 있도록 개발하고 자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, GFRP의 경우는 메탈파우더를 충진재로 사용할 경우 차폐효과가 거의 나 타나지 않았다. 이는 유리섬유매트가 탄소섬유 매트에 비해 전기 전도도가 훨씬 낮기 때문인 것으로 생각되었다. 따라서 유리섬유에 금속원소를 코팅하여 성형한 다면 훨씬 더 개선될 것으로 판단하였다. CFRP는 Ni 파우더와 Mg 파우더를 각각 30 wt%씩 첨가한 경우 주파수 550 MHz에서 각각 약 15 dB과 35 dB의 차폐효 과를 나타냈다. Mg 파우더가 Ti, Ni 파우더보다 더 우수한 차폐특성을 가지고 있 음을 알 수 있었으나 메탈파우더를 충진재로 한 시험편을 성형할 때 메탈파우더의 중량으로 인한 침전이 발생하였다. 메탈파우더를 두께 방향으로 일정하게 분포할 수 있는 성형방법의 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단하였다.

둘째, 카본블랙을 충진재로 한 GFRP와 CFRP의 전자파 차폐효과는 GFRP에서 는 충진재의 중량율변화에 따른 변화를 찾을 수 없었으나, CFRP는 1.6 wt%를 첨 가한 경우가 1.3 wt%를 첨가한 경우보다 차폐효과가 증가하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 주파수 550 MHz와 850 MHz에서 1.6 wt%를 첨가한 CFRP가 각각 30 dB과 40 dB의 차폐효과를 나타내었다. 따라서 카본블랙을 충진

- 45 -

재로 한 CFRP는 카본블랙의 중량율이 높을수록 전자파차폐효과가 우수할 것으로 예측 되어지나 본 실험 결과 중량율이 2 wt%이상일 경우 기지재료 점성의 증가로 인하여 성형하기 어렵게 되고 기계적 성질 또한 감소하는 단점을 보였다. 앞으로 이러한 문제점을 해결할 수 있다면 더욱더 전자파 차폐효과가 우수한 재료를 개발 할 수 있을 것으로 기대된다.

셋째, 알루미늄 샌드위치 판넬의 경우 주파수 범위 300MHz ~ 1GHz에서 전 자파 차폐 효과는 400MHz까지는 증가하다가 그 후로는 점차 감소함을 알 수 있었다. 주파수 400MHz에서 A1050의 경우 약35dB, 전도성 금속천을 코어재 로 한 샌드위치 판넬의 경우 약39dB 전자파 차폐 효과가 나타났으며, 카본블 랙을 첨가하였을 경우는 약40dB의 전자파 차폐 효과가 나타남을 알 수 있었 다. 이는 전도성 금속 천과 접착시 첨가한 카본 블랙이 A1050의 전도성을 향 상시켜 줌으로써 더욱 우수한 전자파 차폐효과가 나타남으로 판단되었다.

넷째, 전자파 차폐용 섬유강화 복합재료의 생산성 검증을 위한 멀티탭 커버 의 사출 성형 해석 결과로 다음과 같은 최적성형조건을 얻을 수 있었다. ABS+PC(Lexan JK2500)에 대하여 수지 온도 291℃, 금형온도 60℃의 온도 조건을 얻을 수 있었으며, 사출 시간은 0.8sec, 사출 압력 57.9Mpa의 최적조 건을 얻을 수 있었다.

- 46 -

REFERENCES

- 1. 김덕원, "전자파공해," 수문사, pp. 1, 199
- 이수정, 이태일, "나노 은을 이용한 전자파 차폐직물이 뇌파에 미치는 영향," 한 국의류산업학회, Vol. 6, No. 2, pp. 810 - 813, 200.
- 3. 이수정, 이태일, "전자파가 인체에 미치는 영향," 한국의류산업학회, Vol. 6, No.
 4, pp. 505 510, 2004.
- 진우석, 이대길, "전도성 나노 카본 블랙을 함유한 고분자 재료의 유전특성," 한 국복합재료학회, Vol. 17, No. 5, pp. 68 77, 2004.
- Chung, D. D. L., "Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials," Carbon, Vol. 39, pp. 279–285, 2001.
- 6. Kim, H. M., Kim, K., Lee, S. J., Joo, J., Yoon, H. S., Cho, S. J., Lyu, S. C., 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. 577-580, 2004.
- Chen, H. C., Lee, K. C., 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., Jones, R., "Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon nanofiber/LCP composites," Composites Part A, Vol. 36, pp. 691-697, 2005.
- 9. Yuping, D., Shunhua, L., Hongtao, G., "Investigation of electrical

conductivity and electromagnetic shielding effectiveness of polyaniline composite," Science and Technology of Advanced Materials, pp. 1-6, 2005.

- Jung, W. K., Ahn, S. H. 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.
- Jana, P. B., Mallick, A. K., De, S. K., "Electromagnetic interference shielding by carbon fiber-filled polychl-oroprene rubber composites", Composites, Vol.22, pp451-455, 1999.
- Baker, Z. Q., Abelazeez, M. K., Zihlif, A. M., "Measurements of the 'Magrey DC' characteristics at microwave frequencies", Journal of materials science, Vol.23, No.8, pp.2995-3000, 1988.
- Oshwa, Z., Kobayashi, K., "Thermal stability of shielding effectiveness of composites to electromagnetic interference", Polymer degradation and stability, Vol.35, pp. 33-43, 1992.
- Das, N.C., Khastgir, D., Chaki, T.k., "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.
- Bruce L. Cain., William J., Croisant, "Electrical contact resistane of nitride coatings for electromagnetic shielding appications", Surface and Coatings Technology, Vol.82, pp. 83-89, 1996
- 16. Xiangcheng Luo, D. D. L. Chung, "Electromagnetic interference shielding using continuous carbon-fiber carbon-matrix and

polymer-matrix composites", Composites: Part B, Vol.30, pp. 227-231, 199

- K. B. Cheng, S. Ramakrishna, K. C. Lee, "Electromagnetic shielding effectiveness of copper/glass fiber Knitted fabric reinfonrcd polyprootlene composites", Composites: Part A: Vol.31,pp. 1039-1045, 2000
- D. D. L. Chung, "Electromagnetic shielding effectiveness of Carbon Materials", Carbon, Vol.39, pp. 279–285, 2001
- G. Jiang, M. Gilbert, D. J. Hitt, G. D. Wilcox, K. Balasubramanian, "Preparation of nickel coated Mica as a conductive filler", Composites: Part A, Vol.33, pp. 745-751, 2002
- 20. Jingyao Cao, D. D. L. Chung, "Use of fly as an admixture for electromagnetic interference shielding", Cement and Concrete Research, Vol.34, pp. 1889-1892, 2004
- R. M. Bagwell, J. M. Mcmanaman, R. C. Wetherhold, "Short shaped copper fibers in an epoxy matrix: Their role in a multifunctional composite", Composites Science and Technology, Vol.66, pp.522-530, 2006
- 22. 한길영, 김진석, 안동규, "메탈파우더와 나노 카본블랙/섬유강화복합재료의 전자파 차폐효과에 관한 연구" 한국정밀공학회지, 제 23권, 제 8호, pp. 100-107, 2006.
- 23. 김진석, 한길영, 안동규, 문경제, 변경원 "니켈-구리 직조섬유를 코어재 로 한 알루미늄 샌드위치 판넬의 전자파 차폐 효과" 기계가공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 120-124, 2006.

- 24. ASTM "Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products" E-370-03, 1997.
- ASTM "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials" D-3039-00, 2002.
- 26. 한국산업규격 "일방향 섬유강화 플라스틱 복합재료의 시험조건" KS M ISO 527-5, 2002.
- 27. 한국산업규격 "등방성 및 직교 섬유강화 플라스틱 복합재료의 시험조건" KS
 M ISO 527-4, 2002.
- 28. 한국산업규격 "금속재료의 인장 시험편" KS B 0801, 1981.
- 29. IEEE "IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures", Std 299, 1997

갑사의 근

신헌신에 처음 등어왔을 때의 그 생경함이 이제는 익숙함으로 모습을 탁바 꾸어 버너듯 시간이 흘렀습니다. 3년이나는 시간 동안 칩등고 어려운 익도 있 었으며, 많은 경험과 배움의 시간이었습니다. 무언가 정너되지 않은 채로 넣아 있던 부분등이 하나 둑씩 자녀를 찮아가면서 하루하루가 행복했고 또 다른 나 을 하나씩 발견해 갈 때마다 내익이 그너워지기도 했습니다. 석례는 마음으로 상 수 있다는 것이 억마나 큰 기쁜이고 어제안 당나진 내 모습을 바라보는 것 또한 억마나 사상의 가슴을 떡차오르게 하는지를 알 수 있었습니다.

이 논문이 있기까지 아지없는 지도안 격려층 해주시고 연구자로서의 김흥 역어주신 지도교수 한직영 교수님께 깊은 갑사의 哕흥 전찮니다. 항상 저에게 많은 도움과 가르칩응 주신 안동규 교수님과 이 논문의 십사 위원장이시며, 조 언과 격려층 보내주신 집종관 교수님께도 고마움은 급할 길이 없습니다. 또한, 학부 생활과 대학원 생활에 도움을 주신 기계공학과 21분 교수님께도 깊은 갑 사흓 드닙니다.

학부 때부터 많은 도움을 주셨고 식헌식 생학에 모법을 보여주신 1기 전산 석계 식헌식장 상훈이형, 식헌식 생학에 있어 많은 조언라 인생 상담을 해주신 도현아빠 면수형, 겉으흔 강해 보이지만 속은 여니고 착한 경원이, 항상 묵묵 히 역신히 하는 경제, 경원이의 구박에 아상곳하지 않는 랑운이, 차폐 식헌에 많은 도움을 준 대원이, 언제나 의욕이 라도하게 너치는 현우, 식헌식 딱둥이 형척이, 이 모든 분득께도 갔사의 땅을 전합니다.

언제나 웃음으로 반겨주시는 병희형, 옆 식헌식에 계시면서 따뜻한 관신라

조언은 해주신 김성이형, 레이져 텂의 호준이형, 병헌이, 장빡사 훈이형, 방늦 게 까지 연구에 전념하는 광호형, 대학원 동기이자 든든한 형님 건익이형, 항 상 편하게 해주시는 한벽이형, 우너의 부회장 정대, 기계라 대학원의 꽃 띠애, 카너스마 종수, 스타익 짱 친현이, 유동가시한 현준이, 현선이, 정교, 제어파 트 주완, 상문이, 상희, 관웅이, 이익 기계공학과 원우회 익원 모두에게 진십 으로 갑사드십니다.

기쁜라 슧픈 모든 것은 함께 공유하고 평생 우정은 같이 한 동네 연합 멘써 성구, 긱현이, 성욱이, 나윤이, 시우, 정웅이, 성원이, 그너고 자주 찾아뵙지 못해 허송한 이유강 선생님께 갑사드십니다.

함께 프로젝트를 수행하며 많은 도움을 준, 한국 과학기숙원의 창균이형, 대용이형, 이하 정형가공 신헌식원 모든 분들라 양동역 교수님께 진신으로 갔 사의 않씀을 전합니다.

저축 이 땅에 태어나게 해주시고 항상 자식들을 위해 희생하시는 서상에서 제가 가장 사상하는 아버님, 어머님께 깊은 갔사를 드닙니다. 언제나 묵묵히 지켜박주시는 형, 딱내의 익이나면 항상 조용히 도안주는 누나안 매형께 깊은 갔사의 많을 전합니다.

마지막으로 대학원 생활동안 언제나 옆에서 황력소 북어넣어 준 사상하는 혜연양에게 진신으로 갔사드닙니다.

2006년 12원

긴 신 석