

전기전도성 분말과 알루미늄 코팅 유리섬유를 사용한 자동차용 크래쉬패드의 전자파 차폐 특성에 관한 연구

조 흥 · 정선경^a · 김병우^{b,*}

울산대학교 대학원 전기전자정보시스템공학과,
^a자동차부품연구원 경량화 융합소재연구센터, ^b울산대학교 전기공학부

A Study on the Electromagnetic Shielding Characteristics of Crash Pad Using Electrically Conductive Powders and Al-coated Glass Fiber as Filler in Automotive

Hong Cho, Sun-kyoung Jeoung^a, and Byeong-woo Kim^{b,*}

Graduate School of Electrical Engineering, University of Ulsan, 93 Daehak-ro, Ulsan, Korea
^aLightweight Convergent Materials R&D Center, Korea Automotive Technology Institute, Donam-Gu, Chonan-Si, Chungnam 330-912, Korea

^bSchool of Electrical Engineering, University of Ulsan, 93 Daehak-ro, Ulsan Korea

(Received April 8, 2014; Revised April 18, 2014; Accepted April 23, 2014)

Abstract The automotive industry is moving from the internal combustion engine to electric drive motors. Electric motors uses a high voltage system requiring the development of resources and components to shield the system. Therefore, in this study, we analyze electromagnetic interference (EMI) shielding effectiveness (SE) characteristics of an auto crash pad according to the ratio of electrically conductive materials and propylene. In order to combine good mechanical characteristics and electromagnetic shielding of the automotive crash pad, metal-coated glass fiber (MGF) manufacturing methods are introduced and compared with powder-type methods. Through this study, among MGF methods, we suggest that the chopping method is the most effective shielding method.

Keywords: Crash pad, Powder-type filler, MGF, Shielding effectiveness, SMC

1. 서 론

자동차 전압체계가 고전압/고전류(400V/150A) 형태로 전환되면서 전자파 노이즈 문제가 대두되고 있다. 자동차 전자파 노이즈는 발생원이 자동차 엔진룸 부근이기 때문에 자동차 전체의 전자장치와 운전자가 전자파 노이즈에 노출되게 된다. 최근에 엔진룸에서 발생하는 전자파 노이즈로부터 차체 전장품 및 운전자를 보호하기 위하여 Crash pad에 대한 전자파 차폐 필요성이 대두되고 있다[1].

기존에 양산되고 있는 자동차 Crash pad는 Skin, Foam, Core의 재질이 전도성이 없는 고분자 소재로 구성되어 있

기 때문에 전자파 차폐특성이 제한적이다. 이 같은 문제를 해결하기 위해서는 고분자 수지에 전도성 물질을 혼입하는 방법에 대한 연구가 요구되고 있다[2]. 그러나 현재까지 이와 같은 연구가 자동차 Crash pad에 적용 가능한 실용화 수준까지 진행되었다는 아직 보고되지 않고 있다. 일부 연구에서 에폭시 등과 같은 고분자 수지에 Ni, Cu와 같은 전도성 물질을 혼입하여 전자파 차폐특성에 미치는 영향을 연구한 결과가 보고되었으나[3-5], 이러한 연구들도 자동차 Crash pad와 같이 상대적으로 큰 구조물이 아닌 소형의 전자 장치 및 제어기에 대한 활용을 목적으로 수행되었다. 기존의 연구에서는 주로 고분자 수지에 전도성

*Corresponding Author : Byeong-woo Kim, TEL: +82-52-259-1287, FAX: +82-52-259-1689, E-mail: bywokim@ulsan.ac.kr

물질의 비율만을 변화시키면서 전자파 차폐특성을 분석한 것이 대부분을 이루고 있으나, 자동차 Crash pad와 같이 다양한 금속/비금속이 존재하는 복잡한 구조물에 응용하기에는 한계성이 존재하고 있다[6].

따라서 본 연구에서는 기존 연구들의 전자파 차폐 효과의 한계성을 극복하기 위하여 전도성 분말 형태의 충전제는 물론 전자파 차폐 효과를 극대화 시키는 방법으로 우수한 전자파 차폐 효과를 얻을 수 있는 Metal-coated Glass Fiber(이하 MGF) 제조기법을 도입하고, 전도성 물질의 배합비율에 따른 차폐특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1. 전자파 차폐 성능 평가 방법

Powder 계열 전도성 충전제 및 MGF 가 함유된 자동차 Crash pad 에 대한 전자파 차폐 성능을 정량적으로 평가하기 위하여, ASTM D 4935-89 규격(Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials)을 근간으로 하여 미국 기계학회에서 제정한 측정시스템을 사용하였다[7].

전자파 차폐 성능 평가 장치는 그림 1에 나타낸 것과 같이 도체의 외경이 32 mm이며, 외부 도체의 내경이 76 mm, 외경이 133 mm이며, 측정 시편 재료의 모양은 디스크 형으로 되어 있다. 동작 주파수 범위는 30 MHz-1.8 GHz이며 동작 범위는 90-100dB이다.

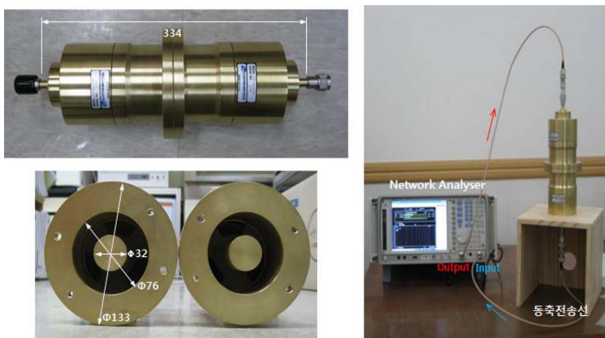


Fig. 1. Flanged circular coaxial transmission line holder.

Table 1. Characteristics of powder-type electrically conductive fillers used in this study

| Type | Particle Diameter | Electric Resistance ($\Omega \cdot m$) |
|---------------------|-------------------|--|
| Al Flake | 50 μm | 2×10^{-8} |
| Graphite | 44 μm | 5×10^{-6} |
| Expandable Graphite | 60 μm | - |
| Conductive Graphite | 20 μm | 7×10^{-6} |
| Carbon Black | 19 nm | - |

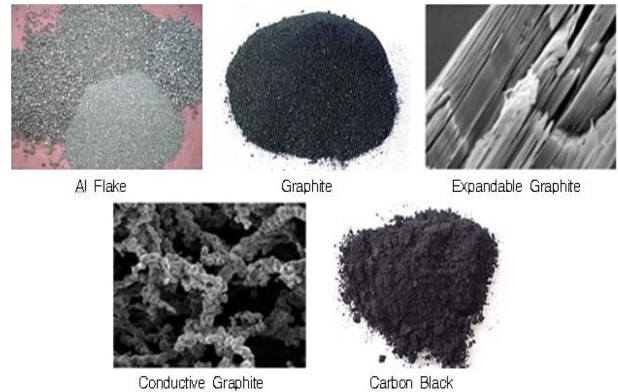


Fig. 2. Photos of electrically conductive powders used as powder-type filler in this study.

2.2. Powder 계열 전도성 충전제

Powder 계열의 전도성 충전제로는 Al Flake, Graphite, Expandable Graphite, Conductive Graphite, Carbon Black 을 사용하였으며, 분말의 일반적인 형태와 특성을 그림 2 와 표 1에 나타내었다. Powder 계열 전자파 차폐 성능 평가를 위하여 충전제를 고분자 Matrix와 일정 비율 (PolyPropylene + Filler \rightarrow 80 wt. % : 20 wt. %)로 단순 혼합하고, 압출 또는 사출 성형하여 2.1.에 기술되어 있는 규격의 시편 형상으로 제작하여 동일한 방법으로 전자파 차폐 성능을 측정하였다.

2.3. MGF 시편 제작 공정

Sheet Molding Compound(이하 SMC) 공법을 적용한 Al-coated Glass Fiber의 전자파 차폐 성능 평가를 위해 실제 Crash pad에 적용 가능한 재료와 공법을 기반으로 시편을 제작하였다. MGF 전도성 충전제(그림 3)는 Glass fiber에 알루미늄을 한 가닥씩 코팅(Mono-filament)하거나 20가닥씩 코팅(Multi-filament)하여 제조하였다[8].

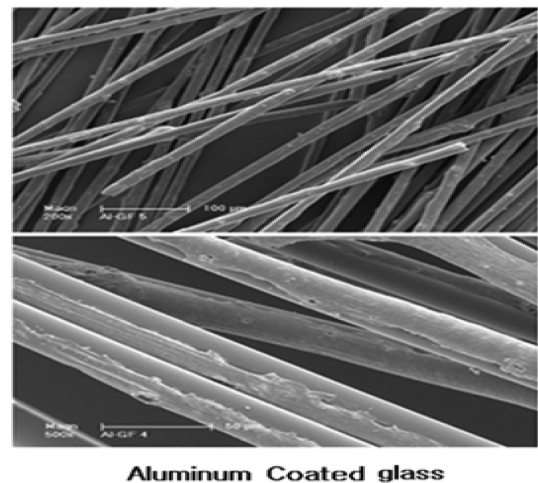


Fig. 3. SEM images of MGF filler.

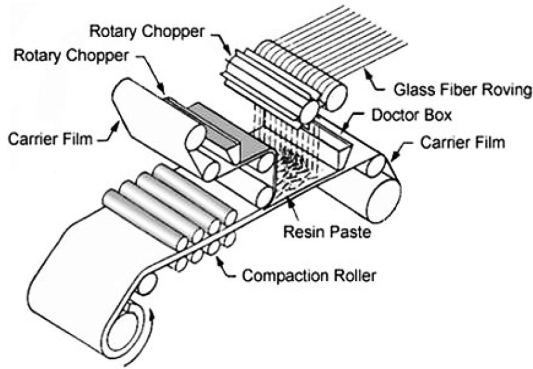


Fig. 4. Schematic of SMC fabrication process.

먼저, 유리섬유 잉고트를 용융로에 삽입하고 1400~1500°C로 가열하여 용융시킨 후에 백금/로듐 Bushing을 통하여 유리섬유를 추출하였다. 추출된 유리섬유는 표면이 알루미늄에 잘 적셔지도록 Coating bushing에서 금속 용융로의 알루미늄 용융물질과 접촉시켜 코팅하였다. 이때 유리섬유와 알루미늄의 용융물질이 적당한 위치에서 접촉, 코팅되도록 하기 위하여 전후, 좌우로 미세 조정이 가능한 제어장치를 이용하였다. 또한, 알루미늄 용융물질의 산화를 방지하고 알루미늄 용융물질의 양을 조절하기 위하여 금속 용융로에 불활성 가스를 주입하였다. 알루미늄이 코팅된 유리섬유는 권선기 속도에 따라 코팅 두께를 조절하였다. 유리섬유에 알루미늄을 코팅한 여러 가닥의 MGF를 PolyPropylene과 일정 비율(5, 10, 20 wt.%)로 혼합하였다. 여러 가닥의 MGF를 혼합액에 함침시키고, Sheet 형태로 가공하여 시편 형상으로 제작하였다. 본 연구에서는 Crash pad와 같은 조건으로 제작하기 위하여, 그림 4에 있는 SMC 공법을 이용하였다. 액상수지인 PolyPropylene에 충전재, 이형제 등이 포함된 Compound에 보강재를 함침시켰다. 이를 통하여, 두께 1-5 mm, 폭 0.3-1.5 m의 Sheet 형태의 시편을 제작하였다.

SMC 공법을 이용하여 일정 PolyPropylene에 대한 MGF 형상 및 비율을 변화시키면서 이에 따른 전자파 차폐특성을 비교분석 하였다. 첫째, PolyPropylene 대비 MGF 비율이 일정한 조건에서 단일 MGF와 20개 정도의 복수의 MGF로 가공된 시편의 전자파 차폐특성을 비교하였다. 둘째, 기존 자동차 Crash pad의 전자파 차폐 특성을 해석하기 위하여 PolyPropylene만을 이용하여 제작한 시편을 측정하였다. 마지막으로 Chopping 길이를 변화시켜 전자파 차폐 특성을 평가하였다.

3. 결과 및 분석

3.1. 기존 Crash pad 소재의 차폐 성능

기존 Crash pad 적용 소재 대비 Powder 계열 전도성 충

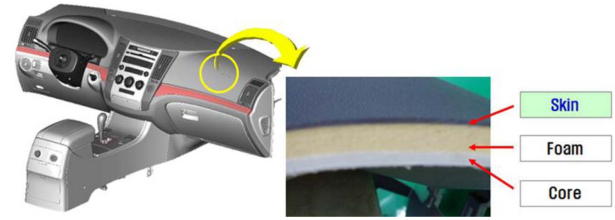


Fig. 5. Sectional view of Crash pad.

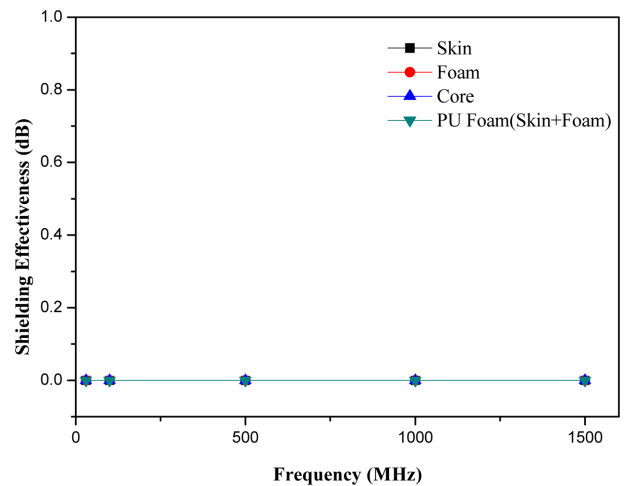


Fig. 6. Change in EMI shielding effectiveness of the materials, which are being used for conventional crash pad in automotive, with frequency.

전재와 MGF의 차폐 성능에 대해 조사하였다. 먼저, 그림 5에 있는 기존 Crash pad 적용 소재의 전자파 차폐 효과를 분석하였으며, 현재 양산되고 있는 Crash pad의 Skin, Foam, Core, PU Foam(Skin+Foam) 제품을 대상으로 시편을 제작하였다. 그림 6은 기존 Crash pad 적용 소재의 주파수에 따른 전자파 차폐율 측정 결과를 나타낸 것이다. 그림 6의 결과에 나타난 것과 같이, 실험 주파수 영역인 30-1500 MHz에서는 시편의 종류와 관계없이 차폐율은 모두 0dB로써, 차폐 효과가 전혀 없음을 알 수 있다. 이는 기존 Crash pad에 포함된 Skin, Foam, Core 등의 모든 재질이 전도성이 거의 없는 고분자 소재로 구성되어 있고, 실험에 사용된 고분자 소재 시편의 두께가 1-5 mm로, 전도성이 거의 없는 고분자 소재에서 차폐효과가 발생되기에는 시편의 두께가 얇기 때문으로 판단된다. 이러한 결과는 일부 연구자들의 이전 연구결과와도 일치한다[9, 10].

3.2. Powder 계열 전도성 충전재의 차폐 성능

Powder 계열의 전도성 충전재 차폐 성능 평가 결과를 그림 7에 나타내었다. 조사된 모든 분말 충전재의 차폐율은 10dB 미만의 낮은 차폐율을 보이고 있으나, 일반적인 차폐효과의 level로서는 30~60dB를 평균 차폐 level로 설정하고 있다. 따라서 본 연구에서 조사된 Powder 계열 전

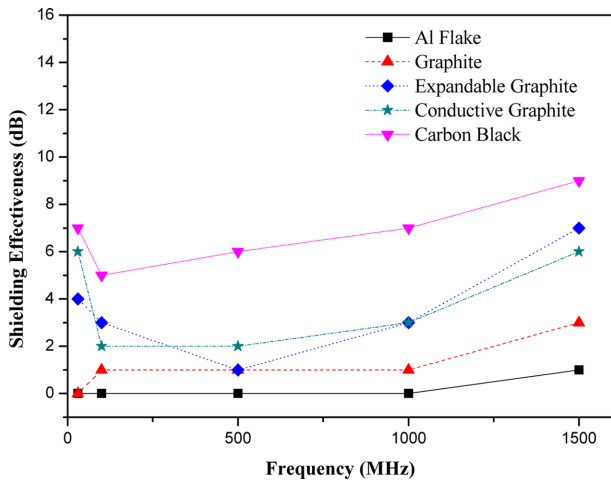


Fig. 7. Change in EMI shielding effectiveness of the powder-type fillers with frequency.

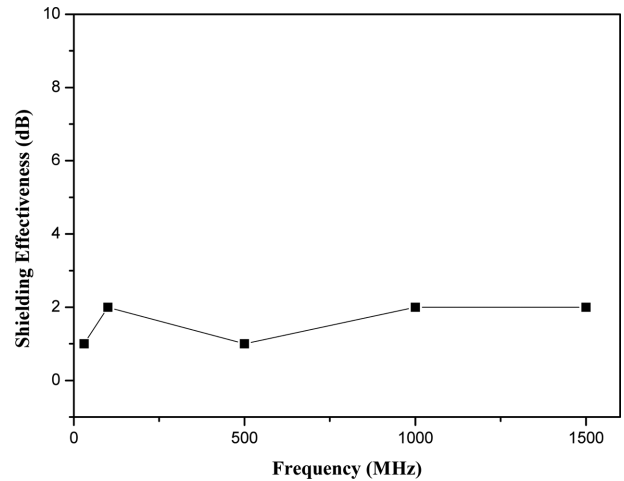


Fig. 8. Change in EMI shielding effectiveness of the Mono-filament MGF filler with frequency.

도성 충전재의 경우, 전자파 노이즈 제거를 위한 차폐성능이 충분하지 않은 것으로 판단된다.

조사된 총 다섯 가지 전도성 충전재 중 Carbon Black에서 가장 높은 8dB의 차폐율이 측정되었으며, 기타 흑연계열의 충전재들은 낮은 주파수 영역과 높은 주파수 영역에서만 Carbon Black에 근접하는 차폐율을 나타내었을 뿐 대부분의 주파수 영역에서는 낮은 차폐율을 나타내었다. 전기·전자기기 하우징으로 많이 사용되고 있는 금속 Al Flake 분말의 경우에는 모든 주파수 영역에서 가장 낮은 차폐율 값을 보였다.

다섯 가지 전도성 충전재의 입자 크기 중 19 nm로 가장 미세한 Carbon Black의 경우 가장 높은 차폐율을 보였다. 그리고 유사한 소재 계열인 Graphite(44 μm), Conductive Graphite(20 μm)의 차폐율에서 보는 바와 같이 입도가 증가함에 따라 차폐율이 낮아지는 듯한 경향을 보이고 있으나, 평균 입도 60 μm인 Expandable Graphite의 경우에 반대로 상대적으로 높은 차폐율을 보이고 있어, 충전재에 요구되는 일반적인 특성인 전기전도도와 입자의 크기와 같은 특성 외에도 충전재의 기하학적 형태와 분포가 차폐 성능에 영향을 미칠 수 있음을 시사하고 있다. 데이터를 제시하지는 않았으나, 주사전자현미경으로 이들 충전재의 분포를 조사한 결과, Al Flake의 경우 비교적 균일하게 분산은 이루어졌으나, 기지 내에 분포하는 양이 부족한 것으로 판단되었으며, 탄소 계열의 충전재의 경우 확인이 용이하지 않았다.

3.3. MGF 충전재의 차폐 성능

3.3.1. Mono-filament MGF와 Multi-filament MGF의 비교

먼저, 고분자 PolyPropylene matrix 내 Fiber에 따라 Mono-filament와 Multi-filament로 구분하여 전자파 차폐 성능 평가를 실시하였다. Mono-filament와 Multi-filament는 알루미늄 코팅 내의 Filament 수의 차이로 구분이 된다.

Mono-filament는 Glass fiber 한 가닥씩 알루미늄으로 코팅 처리를 하였고, Multi-filament는 fiber 20 가닥씩 알루미늄으로 코팅 처리하였다. 또한, Multi-filament는 MGF의 집속제 함량에 따라 구분하여 전자파 차폐 성능 평가를 수행하였다. 조사된 MGF 전도성 충전재의 특징을 표 2에 나타내었다.

그림 8은 Mono-filament의 실험결과를 나타낸 것이다. Mono-filament 전자파 차폐 성능 평가 결과를 보면 최대 2dB, 최소 1dB의 차폐율이 측정된 것을 볼 수 있다. 이러한 현상이 발생하는 이유는 Mono-filament의 경우 Fiber 한 가닥씩 알루미늄으로 코팅되었기 때문에 다른 Fiber와의 간섭영역이 적어지게 되어 전자파 차폐율이 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

집속제 함량에 따른 Multi-filament의 전자파 차폐 성능 평가 결과를 그림 9에 나타내었다. 집속제 함량에 따라 차폐율이 약 1dB 정도로 미소한 차이가 측정되어, 집속제 함량은 큰 영향을 미치지 않았음을 확인하였다. Multi-

Table 2. Type of electrically conductive mgf filler used in this study

| Type | Polymer Matrix | MGF Filler |
|--------|----------------|---------------|
| Test 1 | Mono Filament | PolyPropylene |
| Test 2 | Multi Filament | PolyPropylene |
| Test 3 | Multi Filament | PolyPropylene |

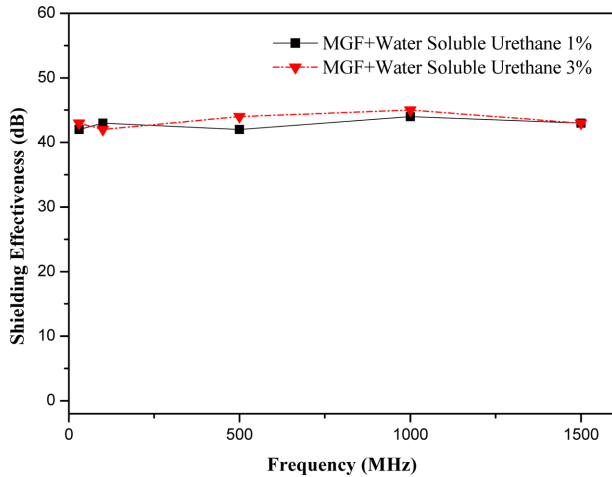


Fig. 9. Change in EMI shielding effectiveness of the Multi-filament MGF filler with frequency.

filament의 차폐율은 최대 45dB, 최소 42dB로서 측정 주파수 영역에 상관 없이 유사한 전자파 차폐 성능을 보이는데, 이는 Mono-filament와는 달리 Multi-filament의 경우에는 여러 가닥의 Fiber가 뭉쳐있어 고분자 Matrix 수지와 함께 조밀한 구조에 기인하기 때문일 것으로 예상된다. Multi-filament의 구조에서 다른 Fiber와의 간섭 영역이 넓기 때문에 Mono-filament에 비해 차폐율이 더 높아질 수 있기 때문이다.

Mono-filament MGF와 Multi-filament MGF의 분산성 및 코팅성을 살펴보기 위해 시편을 광학현미경을 통해 관찰하였으며 그 결과는 각각 그림 10의 (a)와 (b)에 나타내었다. 그림 10의 (a)에 나타낸 Mono-filament MGF의 경우, 고분자 Matrix 수지 내의 전도성 충전제는 압출기의 메인 스크류에 의해 겉 표면이 분쇄되어 대부분 Glass Fiber가 관찰되었고, 전도성 충전제는 Glass Fiber에 드문드문 파묻혀 있는 것을 확인 할 수 있다. 이처럼 압출 공정에서 전도성 충전제의 손실로 인하여 2dB정도의 낮은 차폐율이 측정된 것을 알 수 있다. 그리고 Multi-filament는 그림 10(b)에서 보는 바와 같이 알루미늄 코팅이 벗겨짐이 없이 균일하게 코팅되어 있는 것을 확인하였으며, 균일하게 분산되어 있는 것을 확인 할 수 있다.

3.3.2. Fiber Chopping 길이 및 함량의 영향

MGF의 Chopping 길이를 각각 1, 2 mm로 짧게 하고, 이와 함께 MGF 함량을 5, 10, 20 wt.%로 변화시키며 전자파 차폐 성능 평가를 실시하였다. 그림 11의 (a)와 (b)는 각각 MGF Chopping 길이가 1 mm, 2 mm일 때 MGF의 함량을 변화시키며 차폐율을 측정한 결과를 나타낸 것이다.

그림 11(a)에서 MGF Chopping 길이가 1 mm 일 경우, MGF 함량이 5 wt.%, 10 wt.%일 때에는 1-5dB 사이로 차폐효과가 크지 않음을 알 수 있다. 그러나, MGF 함량이

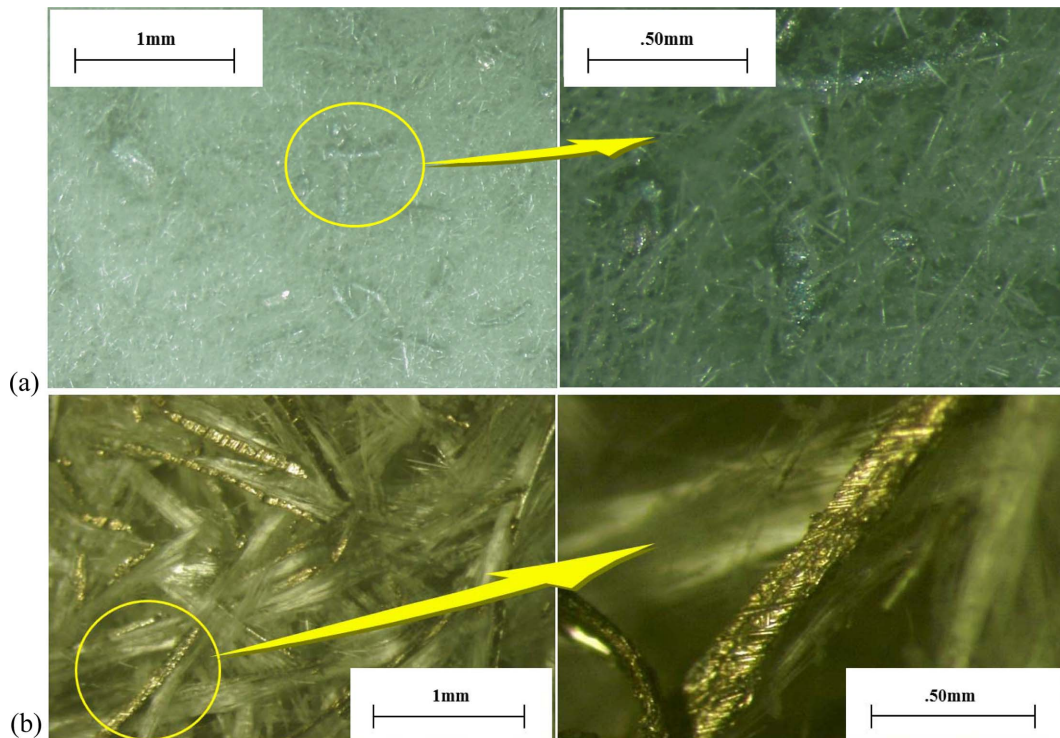


Fig. 10. Optical microscope images of Mono-filament MGF and Multi-filament MGF: (a) Mono-filament MGF and (b) Multi-filament MGF.

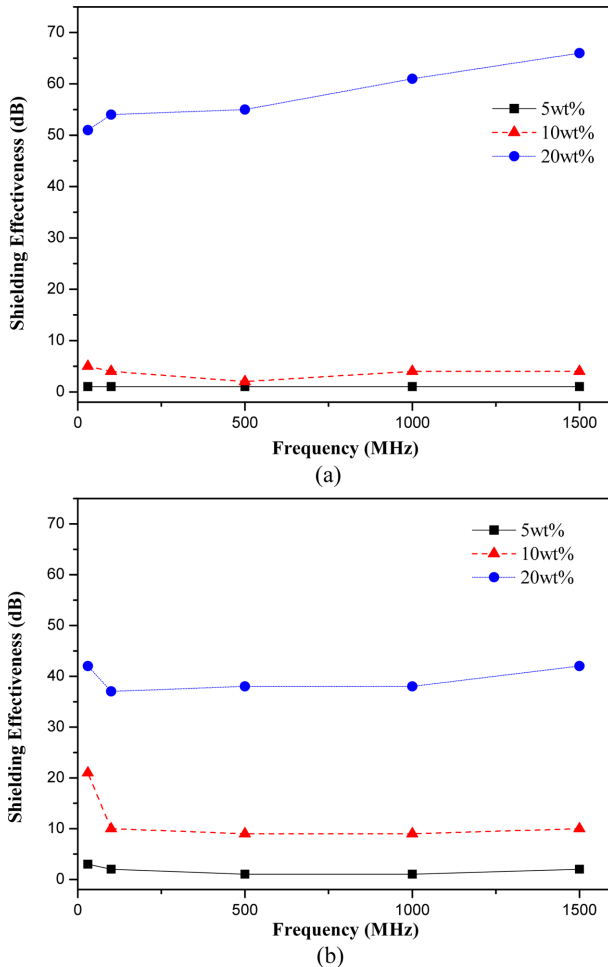


Fig. 11. Change in EMI shielding effectiveness of the Multi-filament MGF filler with frequency: Chopping length of (a) 1mm and (b) 2 mm.

20 wt.%로 증가할 경우에는 차폐율이 주파수 별로 최소 51dB, 최대 66dB로 크게 높아진 것을 확인할 수 있다. 이는 MGF 함량이 높아질수록 고분자 Matrix 수지 내의 전도성이 강해지기 때문에 차폐율이 더 높아진 것으로 판단된다. MGF Chopping 길이가 2 mm일 때(그림 11(b))에도 MGF Chopping 길이가 1 mm일 때와 동일하게 MGF의 함량이 증가할수록 차폐율이 높아진 것을 알 수 있다. MGF Chopping 길이가 1 mm와 2 mm일 때 각 길이에서의 함유량 변화에 따른 차폐율을 다시 살펴보면, 5 wt.%와 10 wt.%일 때에는 MGF의 Chopping 길이가 1 mm일 때보다 2 mm로 더 길 때 차폐율이 더 높은 것을 알 수 있으며, 20 wt.%일 때에는 MGF Chopping 길이가 1 mm로 짧을 때의 차폐 효과가 더 크다는 것을 알 수 있다. 이는 충전제의 형상과 분포 등 기하학적 요인이 충전제의 물성과 함께 차폐 효과에 영향을 미치고 있음을 시사하는 것으로 향후 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 다양한 Powder 계열 전도성 충전제를 고분자 PolyPropylene에 단순 혼합하거나, Glass fiber에 전도성 금속인 알루미늄을 코팅하는 Metal-coated Glass Fiber 제조 기법으로 제조하여 전자파 차폐 성능을 측정하고, 기존 자동차 Crash pad에 사용되고 있는 플라스틱 재질들의 차폐 성능과 비교하였다. 또한, 전도성 알루미늄 금속이 코팅된 유리섬유의 배열조건이 전자파 차폐 성능에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였으며, 그 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 조사된 Powder 계열 전도성 충전제의 경우, 모두 전자파 차폐 충전제로 사용하기에는 미흡한 낮은 차폐 성능을 나타내었으나, 분말의 입도가 미세할수록 또 형상에 따라 달라지는 경향을 보여 충전제의 기하학적 형태와 분포가 차폐 성능에 영향을 미칠 수 있음을 시사하였다.

2) Glass fiber 20가닥씩을 묶어 알루미늄으로 코팅 처리한 Multi-filament MGF의 경우 한 가닥씩 코팅 처리한 Mono-filament MGF와 비교하여 차폐율이 약 40dB 정도 우수하였다.

3) MGF Chopping 함량 및 길이의 영향을 주사한 결과, MGF 함량 20 wt.%일 때 차폐율이 40dB 이상을 나타냈으며, Chopping 길이가 짧을수록 차폐율이 우수하였다.

4) MGF의 전자파 차폐를 위한 자동차 Crash pad 소재로서의 적용 가능성을 제시 할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 울산대학교 2011년 교내연구비 지원에 의해서 수행되었습니다(2011-0157). 논문 원고의 검토와 보완을 도와주신 울산대학교 첨단소재공학부 김지순 교수께도 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] K. William: Int. EMC Symp., **3** (2004) 771.
- [2] M. S. Kim, H. K. Kim, S. W. Byun, S. H. Jeong, Y. K. Hong, J. S. Joo, K. T. Song, J. K. Kim, C. J. Lee and J. Y. Lee: Synthetic Metals, **126** (2002) 233.
- [3] D. D. L.Chung and J. Wu: Electronic Materials, **37** (2008) 1088.
- [4] G. Y. Han, W. C. Jung, I. Y. Yang and H. S. Sun: J. Kor. Soc. Manuf. Proc. Eng., **11** (2012) 169 (Korean).
- [5] S. M. Lee, K. Y. Lee and Y. Chun: Proc. Conf. Kor. Automotive Eng., (2011) 2252 (Korean).
- [6] S. K. Jeoung, P. C. Lee, S. E. Yoo, M. S. Lee, S. B. Kwak, J. Y. Lee, H. T. Lee, H. Y. Seo, Y. Y. Kim and B. W. Kim: SAE

Technical Paper 2013-01-0007 (2013).

- [7] ASTM D 4935 89: Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials.
- [8] V. Feuillade, A. Bergeret, J.-C. Quantin and A. Crespy: Composites Sci. and Tech., **66** (2011) 115.
- [9] J. S. Lee: Text. Sci. Eng., **48** (2011) 297 (*Korean*).
- [10] M. H. Al-Saleh, G. A. Gelves and U. Sundararaj: Compos. Part A Appl. Sci. Manuf., **42** (2011) 92.