

〈研究論文(學術)〉

구리박막의 넓이와 간격에 따른 melt-blown 부직포의 전자파 차폐 효과

¹신현세 · 손준식 · 김영상 · 정진수

단국대학교 공과대학 섬유공학과
(2004. 10. 4. 접수/2004. 10. 14. 채택)

Electromagnetic Shielding Effectiveness of Melt-blown Nonwoven Fabric with Width and Interval of Thin Copper Film

Hyun Sae Shin, Jun Sik Son, Young Sang Kim,
and Jin Soo Jeong

Dept. of Textile Eng., Dankook University, Seoul, Korea
(Received October 4, 2004/Accepted October 14, 2004)

Abstract—The main objective of this work is to develop melt-blown nonwoven fabric composite materials have electromagnetic shielding characteristics using thin copper film. Melt-blown nonwoven fabric is the matrix phase and thin copper films are the reinforcement of the composite materials. Thin copper films are incorporated as conductive fillers to provide the electromagnetic shielding property of the melt-blown nonwoven fabric. The width and interval of thin copper films in the nonwoven fabric are varied by changing 1, 3, 5 mm for thin copper film's width and 1, 3, 5 mm for thin copper film's interval. The shielding effectiveness(SE) of various melt-blown nonwoven fabrics is measured in the frequency range of 50 MHz to 1.8 GHz. The variations of SE of melt-blown nonwoven fabric with width and interval of thin copper films are described. Suitability of melt-blown nonwoven fabric for electromagnetic shielding applications is discussed. The results indicate that the melt-blown nonwoven fabric composite material using thin copper film can be used for the purpose of electromagnetic shielding.

Keywords : *electromagnetic shielding, melt-blown nonwoven fabric, shielding effectiveness*

1. 서 론

전자산업의 급속한 발전과 정보사회의 구축에 따라서 방송, 통신과 제어, 계측, 전력, 의료 등 광범위한 분야에서 전자파를 이용한 기술이 눈부신 발전을 거듭해오고 있다. 이러한 전기·전자장비가 급증하면서 사용하는 주파수 스펙트럼이 확장되고 전자파 잡음이 증가함에 따라서 '전자파 공해'

현상이 심각한 문제로 대두되고 있다. 그리고 전자소자들의 저전력화, 고집적화, 고속화 및 다기능화로 되어가는 추세이므로 미세한 전자파 장애(Electromagnetic Interference, EMI)에 의한 기계의 성능 저하나 오작동 등을 유발시킬 수 있으며 인체의 면역기능 및 생체리듬의 불균형을 초래하여 기형과 암 등의 여러 가지 질병들을 유발시킬 수 있다고 알려져 있다¹⁻²⁾.

최근에는 국내외적으로 전자파 장애 규제가 본격화됨에 따라 효과적인 전자파 차폐 소재의 개발이 활발히 이루어지고 있는 실정이다. 전자파 차

¹Corresponding author. Tel. : +82-2-709-2607 ; Fax. : +82-2-709-2893 ; e-mail : shinsa@dankook.ac.kr

폐재는 재료의 도전, 유전 및 자성 손실을 이용하여 전자파가 차폐막을 통과할 때 전자파의 반사, 흡수, 투과 및 다중 반사에 의해서 전자파의 세기를 효과적으로 감쇄시킬 수 있는 재료이며, 전자파 차폐란 전도체 혹은 자성체 등을 이용하여 잡음원을 완전히 차폐하거나 새로운 회로를 형성하여 보호할 대상의 주변에 존재하는 유해파의 세기를 감소시켜 전자파로부터 장비 또는 인체를 보호하는 것을 말한다³⁾. 일반적으로 전자파 차폐용 재료로 많이 사용되고 있는 도전성 금속재료(Ni, Cu, Al, Zn, Fe 등)는 입사하는 전자파의 반사율이 높은 대신에 전자파가 재료내부를 통해 진행되어 흡수할 수 있는 깊이가 작아 반사에 의한 차폐를 이용한 전자파 차폐재료이다⁴⁾. 이러한 금속 재료를 진공증착, 무전해도금, 분사도금 등을 이용하여 재료 표면에 전도성 피막을 형성시켜 전자파 차폐 성능을 부여하는 방법⁵⁾이 널리 쓰이고 있으나 부직포 및 직물의 경우 마찰 및 세탁 등의 외부저항에 의해 금속층이 탈리 또는 부식 등이 발생할 가능성이 커 전자파 차폐 효율(Shielding Effectiveness, SE)이 저하되기 쉬운 문제점이 있다⁶⁾.

전자파 차폐 전도성 플라스틱을 제조하는 경우 금속 분말입자, 금속단섬유나 flake상, 금속 장섬유를 사용하는 경우 급격히 전도도가 증가하는 한계치(percolation threshold) 이상의 실용적인 전도성 고분자 복합재료를 제조하기 위해서는 많은 양의 금속분말 및 금속섬유가 필요하며 입자의 크기와 분산상태, 금속 전도체간의 network 형성이 전도도에 영향을 준다^{7~8)}. 이때 사용되는 도전성 금속은 금, 은, 구리, 알루미늄, 니켈 순으로 전자파 차폐 효율이 크고, 금이나 은인 경우 내산화성이 뛰어나지만 가격이 비싸기 때문에 구리가 가장 널리 쓰이고 있다.

재료가 전자파 차폐재료로서 사용되기 위해서는 허용치가 명확한 기준값은 없으나 상용화 가능한 허용반사계수가 -20 dB(99% 차폐효과) 이하 혹은 -30 dB(99.9%) 이하로 하는 경우가 많으며 또한 사용상의 편의를 위하여 두께가 가능한 한 얇고 가벼워야 한다. 이미 고차폐율의 직물이나 편성물을 제조하고자 제직 과정에서 금속 섬유를 혼합한 hybrid 직물에 대한 제조와 그에 대한 전기적 특성은 이미 연구보고가^{9~10)} 되어진 반면 melt-blown 부직포에 금속 섬유나 금속박막들을 이용한 전자파 차폐 부직포의 제조에 대한 연구보고는 없는 실정이다. 따라서 산업용으로 많이 사용되고 있는

melt-blown 부직포에 전자파 차폐 성능을 부여한다면 전자파 차폐 벽지, 차폐 패널 등의 건축자재까지 폭 넓게 사용될 수 있으며, 과학적으로 검증된 것은 없지만 최근에 사회적으로 이슈화된 수맥 문제를 해소하는 상품으로써 침대, 장판지나 돗자리 등에 수맥차 차폐용으로도 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

이 연구는 melt-blown 부직포에 전자파 차폐 성능을 부여하기 위한 효율적인 가공방법을 모색하기 위하여 구리박막 필름을 부직포 내에 직선상으로 가로 또는 가로×세로로 배열시켜 부직포를 제조하였다. 그리고 부직포 내 구리박막 필름의 넓이와 배열간격이 제조된 부직포의 전자파 차폐효과에 미치는 영향을 고찰하여 상용화 가능한 전자파 차폐효과를 갖는 최적의 구리박막 필름의 넓이와 배열간격을 알아보려고 하였다.

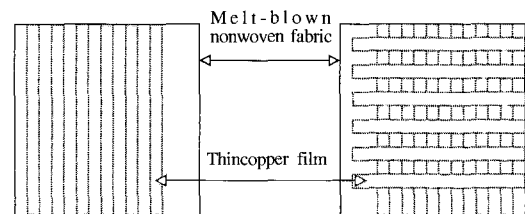
2. 실험

2.1 원료

Melt-blown 부직포는 두께가 0.15 mm로서 (주) 선진제품을 사용하였으며, 구리박막은 두께가 0.01 mm인 일진소재산업(주)의 제품을 사용하였다.

2.2 시료제조

구리박막의 넓이를 1, 3, 5 mm로 하여 부직포 사이에 가로 배열 또는 가로×세로로 교차하게 배열하였으며, 이때 각 구리박막의 넓이마다 부직포 사이의 배열간격을 1, 3, 5 mm로 하여 직선으로 배열하였다. fig. 1은 구리박막의 넓이와 간격에 따라 제조한 전자파 차폐용 melt-blown 부직포 시료를 나타낸 것이다. 즉 A1은 넓이가 1 mm인 구리박막을 1 mm 간격으로 부직포 내에 한쪽 방향으로 배열시킨 것을 나타내며 A11은 넓이가 1 mm인 구리박막을 1 mm 간격으로 부직포 내에 가로



(A1)

(A11)

Fig. 1. schematic of melt-blown nonwoven fabric samples with width and interval of thin copper film.

세로 양방향 직각으로 교차시켜 배열한 것이다. 구리박막을 최소한 사용하기 위하여 구리박막 넓이를 5 mm로 한정하였으며 시료의 크기는 가로 세로 15 cm × 15 cm로 제조하였다. 시료코드와 구리박막의 넓이 및 배열간격을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Sample code, interval and width of thin copper film (mm)

Sample code	Width (mm)	Interval (mm)	
		Horizontal	Vertical
A1	1	1	-
B1	3	1	-
C1	5	1	-
A11	1	1	1
B31	3	1	1
C51	5	1	1
A13	1	3	3
B33	3	3	3
C53	5	3	3
A15	1	5	5
B35	3	5	5
C55	5	5	5

2.3 전자파 차폐효율 측정

전자파 차폐에 있어서 차폐에 의한 보호 능력을 판단할 수 있는 지수를 차폐효율(Shielding effectiveness, SE)이라 한다. fig. 2는 전자파 차폐 원리를 나타낸 것으로 전자파가 전자파 차폐재로 입사

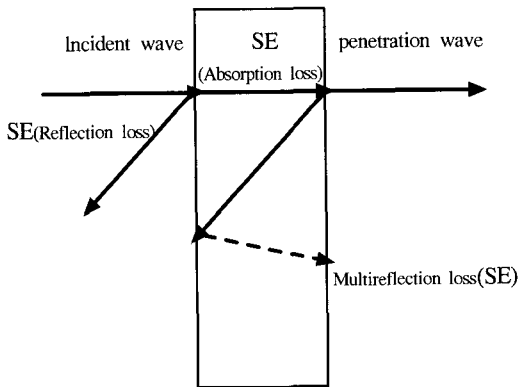


Fig. 2. Electromagnetic shielding effectiveness of materials.

하면 반사, 흡수, 다중반사를 거쳐 나머지만 투과하게 되며 반사되거나 흡수된 전자파가 차폐된 것이다. SE는 처음에 입사된 전자파가 전자파 차폐 재료를 거치면서 반사나 흡수 및 다중반사를 통해서 어느 정도 감소되었는지를 나타내는 것으로, 아래 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$SE(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_1}{P_2} = 20 \log \frac{E_1}{E_2} \quad (1)$$

여기서 P1은 차폐전 측정점에서의 전력밀도이며, P2는 차폐후 측정점에서의 전력밀도이다. 또한 E2는 차폐전의 전기장의 세기이며 E1은 차폐후 전기장의 세기이다. 일반적으로 전자파가 전기적 도체에 도달하게 되면 Fig. 2에 나타낸 것처럼 일부의 에너지는 반사되고 일부는 흡수된다. 따라서 일반적으로 전자파 차폐효과는 아래의 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 SE는 전자파 차폐효과, SE_R는 차폐재 반사에 의한 손실, SE_A는 흡수에 의한 손실, 그리고 SE_M는 다중반사보정을 나타낸다. 구리박막의 넓이와 배열간격에 따른 melt-blown 부직포의 전자파 차폐효율(SE)의 변화는 ASTM D 4935(Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials)에 따라 Agilent 8722ES network analyzer(Agilent, USA)을 이용하여 50 MHz ~ 1.8 GHz 범위에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

우리 주변의 전자기들이 내는 전자파의 주파수 대는 주로 30 MHz에서 1000 MHz 사이의 범위에 속해 있으며 전자파 장애도 이 주파수 범위를 규제하고 있고 일반적으로 차폐효과의 수준은 다음과 같이 알려져 있다¹¹⁾. 10~20 dB: 최소한의 차폐 효과가 있음, 30~60 dB: 차폐효과가 있음, 60~90 dB: 차폐효과 큼, 90 dB 이상: 최고수준의 차폐효과가 있음.

따라서 부직포를 상용화 가능한 전자파 차폐재료로 활용하기 위하여 차폐효과가 최소 20 dB 이상 또는 30 dB 이상이어야 한다.

fig. 3은 순수 melt-blown 부직포와 구리박막의 전자파 차폐효율을 나타낸 것으로 순수 부직포의 경우 거의 차폐효과가 없는 것을 확인할 수 있으며 순수 구리박막의 경우 최소 -60 dB 이하, 평균 -70 dB 이하의 우수한 차폐효과를 나타내는 것을

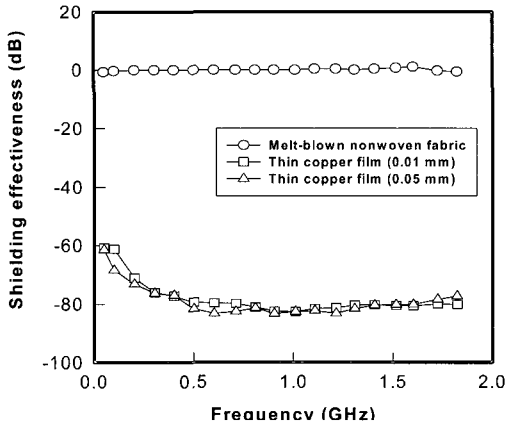


Fig. 3. SE vs frequency plots of melt-blown nonwoven fabric and thin copper film with the incident frequency.

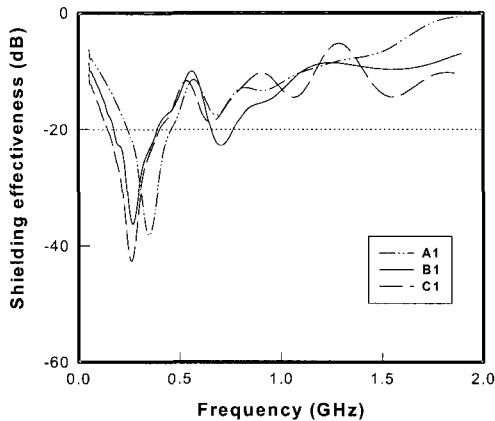


Fig. 4. SE vs frequency plots of melt-blown nonwoven fabric A1, B1, and C1 with the incident frequency.

알 수 있다. 그리고 구리박막의 두께가 0.01 mm와 0.05 mm의 차폐효과가 거의 유사한 경향을 나타냄으로써 구리박막의 두께에는 차폐효과가 크게 차이가 나지 않음을 확인할 수 있었다. 이는 도전성 금속재료의 경우 전자파의 반사에 의한 차폐재료로서 입사전자파의 주파수에 관계없이 재료 자체의 고유한 성질(전기전도도, 유전상수)에 의해 전자파 차폐 효율이 결정되기 때문으로 생각된다⁴⁾.

fig. 4는 구리박막의 넓이를 1, 3, 5 mm 하여 부직포 내에 1 mm 간격으로 한쪽(가로) 방향 배열시킨 A1, B1, C1 시료의 전자파 차폐효과를 나타낸 것이다. A1, B1, C1 시료의 경우 최대 차폐

율의 범위가 대략 0.2 - 0.35 GHz에서 나타나고 있으며 C1 시료의 경우가 A1, B1 시료보다 최대 차폐율이 더 높은 것을 알 수 있다. 또한 차폐효과가 -20 dB 이하를 나타내는 주파수의 범위가 0.1 - 0.5 GHz로 폭이 좁으며 그 이상의 주파수에서는 차폐효과가 떨어지면서 균일하지 않은 것을 확인할 수 있다. 이는 시료의 단위면적당 차지하는 구리박막의 넓이가 클수록 차폐효과가 크지만 차폐재료간의 간격이 크기 때문에 입사하는 전자파가 반사되지 않고 구리박막 사이로 투과되기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 따라서 0.05 - 1.8 GHz 주파수 범위에서 -20 dB 이하의 차폐효과를 가지는 부직포를 제조하기 위해서는 구리박막의 넓이 5 mm 내에서 구리박막의 넓이, 배열 간격 및 배열구조가 전자파 차폐효과에 많은 영향을 미치며 한 방향 배열에 의해서는 상용화 가능한 전자파 차폐 부직포의 제조가 용이하지 못한 것으로 판단된다.

fig. 5는 구리박막 넓이를 1, 3, 5 mm로 하여 부직포 내에 가로세로 양방향 1 mm 간격으로 교차하게 배열시킨 A11, B31, C51 시료의 전자파 차폐효과를 나타낸 것이다. A11, B31, C51 모두 0.05 - 1.8 GHz 주파수 범위에서 -20 dB 이하의 차폐효과를 나타내고 있으며, B31은 -30dB 이하, C51은 -40 dB 이하의 차폐효과를 나타내고 있다. 즉 구리박막의 넓이가 넓어질수록 차폐효과가 크게 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 fig. 4와는 상당히 상이한 결과로 부직포 내에 구리박막의 배열간격이 동일할 경우 구리박막의 넓이가 넓을수록 차폐

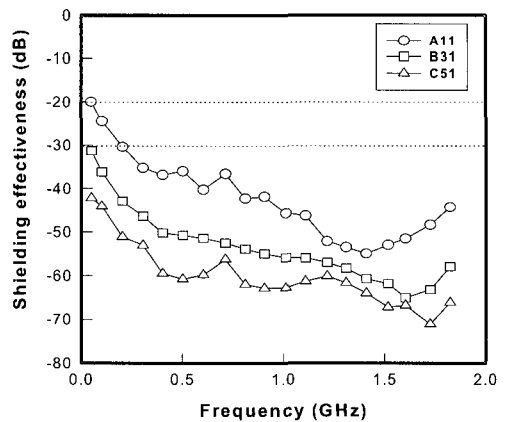


Fig. 5. SE vs frequency plots of melt-blown nonwoven fabric A11, B31, and C51 with the incident frequency.

효과가 크며 한쪽방향의 배열보다 가로세로 양방향으로 배열시킨 부직포의 경우가 입사하는 전자파를 보다 많이 반사시킬 수 있을 것으로 생각된다. 즉 단위면적당 차지하는 구리박막의 넓이가 클수록 차폐효과가 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 구리박막을 가로세로 1 mm 교차하게 배열하고 구리박막의 넓이를 1 mm로 할 경우 -20 dB 이하의 차폐효과를 얻을 수 있을 것으로 생각되며 구리박막의 넓이를 3 mm로 할 경우 -30 dB 이하의 차폐효과가 있는 부직포를 제조할 수 있을 것으로 생각된다.

fig. 6은 구리박막 넓이를 1, 3, 5 mm로 하여 부직포 내에 가로세로 양방향 3 mm 간격으로 교차하게 배열시킨 A13, B33, C53 시료의 전자파 차폐효과를 나타낸 것이다. A13의 경우 0.3 GHz 이

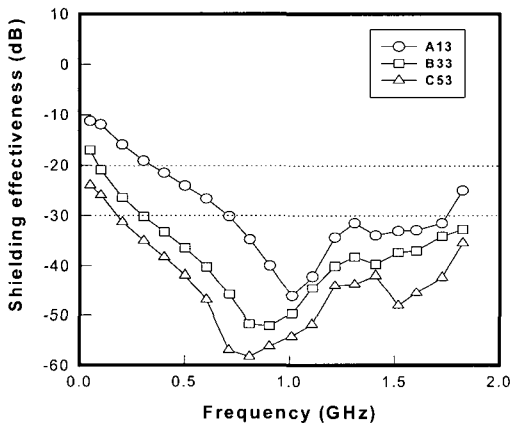


Fig. 6. SE vs frequency plots of melt-blown nonwoven fabric A13, B33, and C53 with the incident frequency.

상에서 -20 dB 이하의 차폐효과를 나타내고 있으며 B33의 경우 0.1 GHz 이상에서 -20 dB 이하의 차폐효과를 나타내고 있다. 그리고 C53의 경우 전주파수 범위에서 -20 dB 이하의 차폐효과가 나타나고 있다. 즉 동일한 배열간격에서 구리박막의 넓이가 넓을수록 차폐효과가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있으며 구리박막을 3 mm 간격으로 배열할 경우 -20 dB 이하의 차폐효과를 얻기 위해서는 구리박막의 넓이를 5 mm 이상으로 해야 함을 알 수 있다.

fig. 7은 구리박막 넓이를 1, 3, 5 mm로 하여 부직포 내에 가로세로방향 5 mm 간격으로 교차하게 배열시킨 A15, B35, C55 시료의 전자파 차폐효과

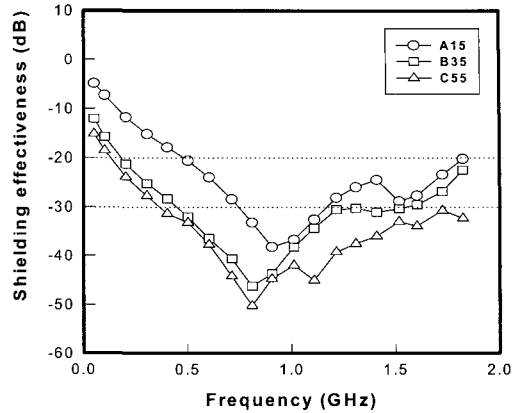


Fig. 7. SE vs frequency plots of melt-blown nonwoven fabric A15, B35, and C55 with the incident frequency.

를 나타낸 것이다. A15의 경우 0.05 - 0.5 GHz 범위에서 -20 dB 이상으로 차폐효과가 감소되는 경향을 나타내고 있으며 B35와 C55의 경우는 0.3 GHz 이상의 주파수범위에서 차폐효과가 -20 dB 이하를 나타내고 있다. 따라서 0.05 - 1.8 GHz 전 주파수 범위에서 -20 dB 이하의 차폐효과를 나타내는 부직포를 제조하기 위해서는 구리박막의 넓이 1, 3, 5 mm 내에서 배열간격이 5 mm 이상인 경우에는 효과적이지 못하다는 것을 확인할 수 있다.

fig. 8은 구리박막의 간격에 따른 0.05-1.8 GHz 주파수 범위에서 구리박막의 넓이가 1, 3, 5 mm의 전자파 차폐효과를 평균한 값을 나타낸 것이다.

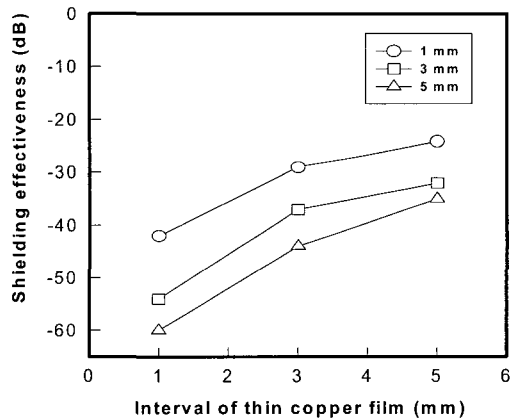


Fig. 8. Changes of the mean electromagnetic shielding effectiveness(SE) with interval of thin copper film.

구리박막의 간격이 증가할수록 차폐효과가 감소하는 경향을 나타내고 있으며 구리박막의 넓이가 3, 5 mm인 시료보다 넓이가 1 mm인 시료가 가장 낮은 차폐효과를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

이는 부직포 내에 구리박막 사이의 공간이 구리박막 넓이가 1 mm인 시료가 가장 크기 때문에 입사하는 전자파가 반사되지 않고 상당수 투과되기 때문으로 생각된다. 그리고 차폐효과의 평균값이 모두 -20 dB 이하의 값을 가지지만 구리박막 사이의 간격이 증가할수록 차폐효과가 -20 dB 이상으로 낮아지는 주파수 범위(Figure 6, 7)를 가지므로 0.05 - 1.8 GHz 전주파수 범위에서 -20 dB 이하 또는 -30 dB 이하의 차폐효과를 가지는 상용화 가능한 부직포를 제조하기 위해서는 구리박막의 넓이와 배열간격의 선택이 보다 중요하다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

melt-blown 부직포에 전자파 차폐 성능을 부여하기 위한 효율적인 가공방법을 모색하고자 구리박막 필름을 부직포 내에 직선상으로 가로 또는 가로×세로로 교차하게 배열시켜 전자파 차폐용 부직포를 제조하고, 부직포 내에 구리박막 필름의 넓이와 배열간격이 제조된 부직포의 전자파 차폐 효과에 미치는 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전자파 차폐재료로 구리박막을 이용할 경우 구리박막의 두께에 따라서는 차폐효과가 크지 않음을 알 수 있었다.
2. melt-blown 부직포 내에 구리박막을 1 mm 간격으로 한쪽 방향으로만 배열시키는 경우 구리박막의 넓이에는 큰 영향 없이 0.05 - 1.8 GHz 전주파수 범위에서 -20 dB 이하의 차폐효과를 가지는 부직포를 제조하기에는 용이하지 못함을 알 수 있었다.
3. 구리박막을 한쪽 방향으로만 배열시킨 부직포와 가로세로 교차하게 배열시킨 부직포의 차폐효과가 상이한 결과를 나타냄으로써 부직포 내 구리박막의 배열구조가 부직포의 전자파 차폐효과에 큰 영향을 미침을 확인할 수 있었다.
4. 구리박막의 동일한 배열간격에서 구리박막의 넓이가 증가할수록 차폐효과는 증가하였으며, 동일한 구리박막의 넓이에서 배열간격이 증가

할수록 차폐효과가 감소함을 알 수 있었다.

5. 최소한의 구리박막을 사용하여 0.05 - 1.8 GHz 전주파수 범위에서 -20 dB 이하의 상용화 가능한 전자파 차폐효과를 가지는 부직포를 제조하기 위해서는 구리박막의 넓이를 1 mm로 배열간격을 가로세로 교차하게 1 mm로 배열하고, -30 dB 이하의 차폐효과를 얻기 위해서는 구리박막의 넓이를 3 mm로 배열간격을 가로세로 교차하게 1 mm로 하는 것이 가장 효과적임을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 2003학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. T. Barker, IEEE Electrical Insulation Magazine, 1, 27(1995).
2. "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.
3. J. H. Kim, H. J. Lee, K. J. Han, and W. "Korean Electromag. Soc. Symposium Proceedings", 1995.
4. J. Y. Lee and J. S. Joo, Fiber Technology and Industry(Korea), 7, 28(2003).
5. M. Charbonnier, M. Alami, and M. Romand, J. Electrochem. Soc., 143, 472(1996).
6. K. W. Lee, H. J. Jung, J. W. Woo, and Y. S. Chung, J. Korean Fiber Soc., 40, 196(2003).
7. H. Rahman, J. Dowling, and P. K. Saha, J. Mater. Proc. Techn., 54, 21(1995).
8. T. S. Oh, Polymer Science and Technology (Korea), 2, 179(1991).
9. T. H. Ueng and K. B. Cheng, Compos A:Appl. Sci. Manufact., 32, 1491(2001).
10. K. B. Cheng, K. C. Lee, T. H. Ueng, and K. J. Mou, Compos A: Appl. Sci. Manufact., 33, 1219(2002).
11. H. D. Kim, Polymer Science and Technology(Korea), 14, 31(2003).