



도전섬유의 전자파 차폐특성에 미치는 섬유구조 및 도금방법의 영향

김동현*, 이성준
주식회사엠에스씨

Effect of Fabric Structure and Plating Method on EMI Shielding Property of Conductive Fabric

DongHyun Kim*, SeongJoon Lee

MSC Co. Ltd., Incheon 21698, Korea

(Received August 19, 2015 ; revised August 22, 2015 ; accepted August 26, 2015)

Abstract

We investigated the effects of the fabric structure or the kinds of plated metals on the electromagnetic interference shielding effectiveness (EMI SE) by means of electroless plating on polyester fabric. We found that the weight of deposited metal, EMI SE, and flexibility of the conductive fabric for EMI shield is affected by morphology of fabric and structure of fiber. The EMI SE of conductive fabric plated Ni/Cu/Ni by electroless plating method on draw textured yarn (DTY) polyester was in the practically useful range of above 70 dB over a wide frequency range of 10 MHz to 1.0 GHz at the surface resistivity of 0.05 Ω/\square . Au or Ag plated conductive fabric by immersion plating method is not able to provide for a good EMI SE.

Keywords : Conductive Fabric, Electroless Plating, EMI Shielding Effectiveness

1. 서 론

최근의 전자기기에 있어서 각기 다른 주파수 영역의 부품들을 같은 전자기기 내부에 실장됨으로써 복합적인 전자파 노이즈가 발생하고 있으며, 이러한 복잡한 노이즈에 대한 대책이 요구되고 있다¹⁻³⁾. 한편으로는 대량의 데이터를 전송하는 경우 전자파 노이즈에 의한 데이터간의 간섭으로 오류가 발생하거나 데이터가 손실되는 경우가 자주 발생되고 있기 때문에 데이터 전송케이블도 박형화와 더불어 적은 노이즈 방출 및 전자파 차폐에 대한 요구도 증가되어 지고 있다^{4,6)}.

전자파 차폐 재료로 건축재료 분야⁷⁾에서는 도전성 섬유나 금속박 혹은 자성체 함유시트나 타일 등이 사용되고 있으며, 전자기기 혹은 통신기기 분야⁸⁻¹⁷⁾

에서는 금속박, 금속섬유, 전기전도성 수지시트, 자성 입자 배합시트, 도전성섬유, 형체에의 도금피복 또는 전기전도성 도장 등 여러 가지 재료가 사용되고 있다.

도전성섬유는 유연성이 양호하고 가공성이 용이하다는 장점으로 부터 전자재료 분야뿐만 아니라 다양한 분야 및 용도에서 전자파 장해 대책 재료로 사용되어 왔다. 구체적인 사용 예로는, 고분자 수지 발포체에 감아 말아서 전자파 장해 방지용 개스킷(gasket)이나 점착제를 코팅하여 전자파 장해 방지용 테이프 혹은 전선 등을 감아 결속하는 튜브의 내부에 합체시켜 전자파 장해 방지용 튜브 등을 제조하는 재료로 사용되고 있으며, 그 밖에도 전자 조리기기로부터 발생하는 전자파 방지용 앞치마, 인공심장을 장착하고 있는 환자를 전자파로부터 보호하는 페이스메이커(pacemaker) 장착작용 조끼, 고압선으로부터의 전자파방이나 실내 LAN 등의 전자파 방지용으로 채용할 수 있는 커튼, 침구, 벽 재료, 천

*Corresponding Author : DongHyun Kim
MSC Co. Ltd., Incheon 405-820, Korea
E-mail : kaneta0929@naver.com

장재료, 바닥 재료 등, 내장건재, 의료 등 그 용도가 넓다.

이러한 배경 하에서 근년에 들어 도전성섬유에 대한 수요도 증가하고 있다. 이와 더불어 도전성섬유를 구성하고 있는 섬유원단의 종류나 그 위에 도금되는 금속의 종류도 다양화 되고 있다. 특히 도전성섬유의 유연성 및 전기전도도는 전자파 차폐특성 및 사용 용도에의 적합성에 영향을 미치는 중요한 인자가 된다. 그러나 실제의 전자파 대책부품의 사용에 있어서, 도전성섬유 자체의 특성은 고려되지 않은 채 주먹구구식 사용이 이루어지고 있는 실정이며, 도전성섬유의 생산 및 사용에 비해 이와 관련된 연구 보고는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 무전해도금법에 의해 폴리에스테르 섬유상 Ni/Cu/Ni 3층 도금, Ni/Cu/Ag 3층 도금 및 Ni/Cu/Ni/Au 4층 도금을 실시하여, 섬유의 구조 및 도금된 금속의 종류가 도전성섬유의 유연성 및 전자파 차폐특성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험방법

표 1에는 본 연구에 사용된 섬유의 구조를 요약하여 나타내었다.

섬유를 구성하고 있는 실로는 폴리에스테르 멀티필라멘트사를 기본으로 하는 3종(시료1~시료3)과 멀티필라멘트를 고온에서 꼬아 만든 DTY (Draw Textured Yarn)사 2종(시료4 및 시료5), 메쉬 형태의 직물에 사용되는 모노필라멘트사(시료6) 및 부직포에 사용되는 방적사(시료7) 등 다양한 종류의 실로 구성된 섬유원단을 시료로 사용하였다. 시료1~시료5의 직물에 사용되는 실의 굵기는 50데니어(denir)로 모두 동일하며, 이 실을 구성하고 있는 필라멘트의 수가 24필러(시료1), 36필러(시료2~시료5)와

144필러(시료6)로 각각 다른 연합사를 사용하였다. 조직밀도(날실과 씨실의 1 inch당 실의 개수의 합계)는 250~290 정도로 각각 다른 밀도의 섬유원단을 사용하였다. 이 밖에 섬유밀도가 130 mesh인 메쉬 구조의 원단 및 30 g/m²인 부직포를 시편으로 사용하였다.

그림 1에는 폴리에스테르 섬유상 무전해도금 공정을 나타내었다. 80~120 g/L NaOH 수용액 중에서 75~80°C, 5분간 탈지 및 에칭 공정을 거친 후, 10 vol% HCl 용액 중에 침지하여 실온 90초간 중

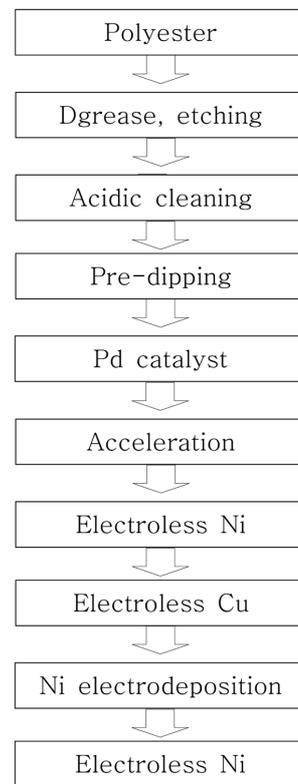


Fig. 1. Plating process for conductive fabric

Table 1. Structure of fabric used in the experiments

Sample No	Thickness (μm)	Kinds of fiber		Density		Name of fabric
		Weft	Warp	Weft	Warp	
1	110	MF 24f/50d	MF 24f/50d	116	136	WMF-250T(24f)
2	88	MF 36f/50d	MF 36f/50d	125	164	WMF-290T
3	90	MF 36f/50d	MF 36f/50d	112	144	WMF-260T
4	115	DTY36f/50d	DTY36f/50d	110	142	WD-260T
5	80	DTY36f/50d	DTY144f/50d	106	145	WD-250T(144f)
6	240	3f filament	3f filament	130french mesh		130FM
7	60	Non-woven		30 g/m ²		NW-30

* weft : 씨실, warp : 날실, MF : multi-filament, DTY : draw textured yarn, WMF : woven of multi-filament, WD : woven of DTY, FM : french mesh, NW : non-woven

화, 산세 처리 공정을 실시하고, 다시 같은 용액 중에 첨가하여 pre-dip 공정을 거친 후, 상용 콜로이드 타입 팔라듐 촉매액(팔라듐 농도 34 ppm)중에서 실온 60초간 침지하여 촉매화 공정을 거치고, 5 vol% H₂SO₄ 용액 중에서 실온, 40초간의 활성화 공정을 실시한 후 무전해 니켈 도금 공정으로 들어간다. 무전해 니켈 도금액으로는 차아인산나트륨을 환원제로 하고 착화제로는 구연산나트륨을 사용하는 알카리 타입의 저온욕을 사용하였다. 이어, 포름알데하이드를 환원제로, 에틸렌디아민펜타아세테이트 (EDPA)를 착화제로 하는 무전해 동 도금액 중에서 5분간 침지하여 무전해 동 도금 공정을 실시한 후 최종적으로 다시 무전해 니켈 도금 공정을 실시하여 도전성섬유를 얻었다. 무전해 동 도금 표면에 직접 무전해도금피막이 형성되지 않기 때문에 최종 무전해 니켈 도금 전에 약 10초간의 전기 니켈 도금(무전해도금액 중에서)을 행한 후, 무전해도금 공정을 실시하였다. 본 연구에 사용한 무전해 니켈 도금액과 무전해 동 도금액의 조성 및 도금 조건을 표 2 에 나타내었다.

얻어진 도전성섬유의 표면조직 및 단면조직의 관찰을 위하여 주사전자현미경(SEM) 관찰을 실시하였으며, 도금 피막의 성분 분석을 위하여 EDAX 분석 및 ICP 분석을 실시하였다. 전자파 차폐특성은 KEC(일본 간사이전자진흥센터)법으로 행하였다.

한편으로, 도금 금속의 종류가 도전성섬유의 유연성 및 전자파 차폐특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 1차 무전해 니켈 도금 후 무전해 동 도금을 실시하고 다시 무전해 니켈 도금을 실시한 시료(Ni/Cu/Ni), 1차 무전해 니켈 도금 후 무전해 동 도금을 실시하고 여기에 치환 은 도금을 실시한 시료(Ni/Cu/Ag), 최종 무전해 니켈 도금 후 다시 치환 금 도금을 실시한 시료(Ni/Cu/Ni/Au)를 제작하여 비교 평가하였다.

도전성섬유의 유연성 평가를 위하여 10 mmW ×

20 mmL × 10mmT 크기의 폴리우레탄 다공체 스펀지를 얻어진 도전성섬유로 감아 말아 붙여서 가스켓을 작성한 후, 외부에서 부하를 가할 때의 압축 비율에 따른 저항치의 변화를 측정하였다. 동일한 스펀지를 사용할 경우 외부로부터 부하되는 압력에 따른 압축율의 차이 및 저항치의 변화로부터 도전성섬유의 유연성을 유추하여 비교하는 평가방법이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 도전성섬유의 표면 및 단면 조직

무전해도금이 행해진 도전성섬유의 표면 및 단면 사진을 그림 2에 나타내었다.

그림 2의 단면사진으로부터 알 수 있듯이 도금 후의 날줄 방향(종축 방향)의 실(날실, 경사, warp)과 씨줄 방향(횡축 방향)의 실(씨실, 위사, weft)의 배치는 다르다. 도금공정 중에서 날실 방향으로 잡아당기면서 도금이 진행되기 때문에 날실은 각 필러가 촘촘히 붙어 있는 것에 비해 씨실은 각 필러가 서로 떨어져 있다는 것을 알 수 있다. 표면사진으로부터도 알 수 있는 바와 같이, 날실과 씨실이 동일한 두께의 동일한 필러수의 실을 사용하고 있음에도 불구하고 날실 방향의 실의 사진상 폭이 씨실 방향의 실의 사진상 폭에 비해 좁게 보인다는 것도 날실 방향으로 잡아당기면서 도금되기 때문에 생기는 현상이다. 이 사실은 금속이 각 필러의 표면에 도금이 될 수 있는가 아니면 응집된 필러 중 최상부의 필러에만 도금이 되는가 하는데 중요한 판단 자료가 된다. 각 필러의 표면에 골고루 도금 피막이 형성되는 경우에는 전류가 흐를 수 있는 금속 면적이 넓어짐을 의미하며, 반대로 응집된 필러의 최상부에만 도금이 되는 경우에는 도금 두께는 두꺼워 지면서도 도금된 면적이 좁기 때문에 전류를 흘려 보낼 수 있는 전체 표면이 좁아져서 전기 저항이 높아지게 될 수 있다는 것을 의미한다. 이

Table 2. Composition of plating solution and plating conditions for electroless Ni plating and electroless Cu plating

Electroless Ni plating solution		Electroless Cu plating solution	
component	concentration	component	concentration
NiSO ₄ ·6H ₂ O	0.08 mol/L	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.05 mol/L
Trisodium citrate	0.10 mol/L	EDPA	0.05 mol/L
Ammonium sulfate	0.25 mol/L	NaOH	0.25 mol/L
Sodium hypophosphate	0.15 mol/L	HCHO	0.15 mol/L
Additive	optimum	Additive	optimum
pH	9.0 (with NH ₃ aq)	pH	12.3
Temp.	40°C	Temp.	45°C

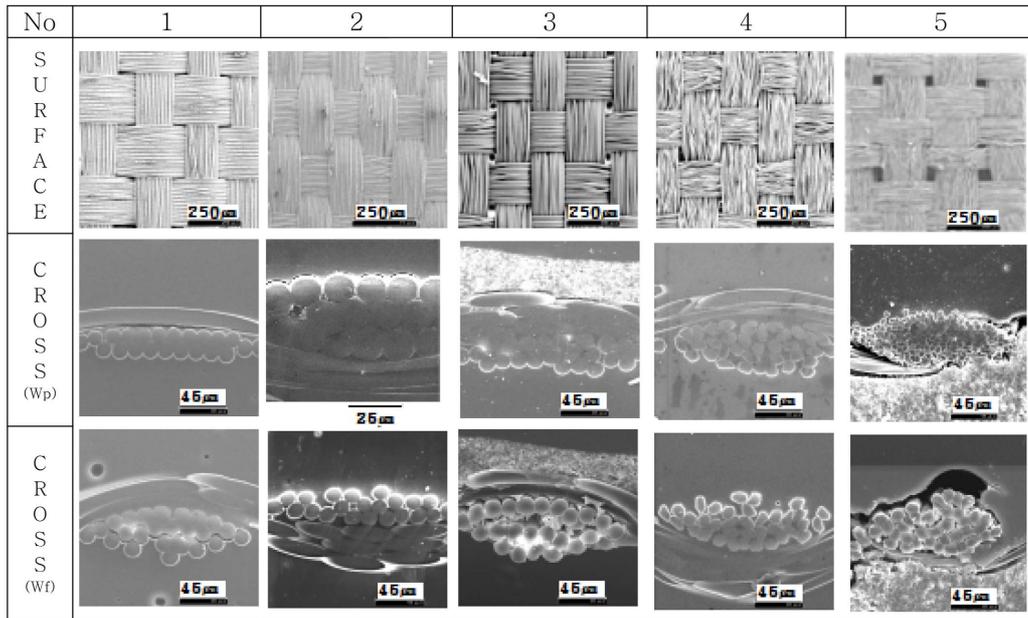


Fig. 2. Surface and cross section of woven type conductive fabric.

와 더불어 도금 두께의 증가는 도전성섬유의 유연성에 좋지 못한 영향을 미치며, 도금피막의 밀착성에도 불리하게 작용한다.

한편 도전성섬유는 전자기기에 장착하기 위하여 그 표면에 점착제 혹은 핫멜트 코팅이 행하여 진다. 이 코팅공정 중에서 조직이 치밀하지 못한 경우 그 틈새로 코팅액이 배어 나와 불량률의 원인이 된다. 따라서 코팅공정을 위해서는 치밀한 구조의 직물이 유리하다.

그림 2의 표면구조로부터 섬유조직의 치밀성을 비교할 수 있다. 조직이 치밀한 시료2는 씨실과 날실의 합계 밀도가 290사/inch로 섬유 표면에 틈새가 거의 보이지 않은 치밀한 구조를 하고 있으며, 시료3 및 시료4의 경우에는 실의 밀도가 260사/inch, 시료1 및 시료5는 250사/inch 정도이다. 특히 144 필러인 실을 날실로 사용하고 있는 시료5의 경우에는 표면사진으로부터 틈새가 많이 관찰되고 있으며 그 유연성이 우수하다. 본 연구에 사용된 시료의 유연성을 순서대로 나열하면 2>3>1>4>5의 순이다. 조직이 치밀하다는 것은 도금공정 후의 점착 혹은 접착제의 코팅성 면에서는 유리하나 유연성 면에서 불리하며, 도금액이 섬유 내부로까지 침투하기 어려워 각각의 필러 표면에 균일하게 도금피막이 형성되기 어렵다는 단점이 있다.

한편, 본 연구에 사용된 시료6(메쉬 구조)과 시료7(부직포 구조)의 표면과 단면사진을 그림 3에 나타내었다. 메쉬 구조의 섬유는 틈새가 많기 때문에 직접적인 표면 접촉이 필요한 접지 형태 혹은 그라

운딩 형태의 노이즈 대책 재료로 사용하기에는 무리가 있다. 따라서 양면 도전성 점착제의 심재로 사용되거나 광 투과도를 필요로 하는 전자파 차폐용 윈도우 등에 사용되어 진다. 한편 부직포 구조의 섬유는 그림 2의 표면사진으로부터도 알 수 있듯이 표면의 각 부분에서 실의 밀도가 불균일하기 때문에 도금된 표면의 접촉 전기저항도 불균일하게 나타난다. 따라서 이 재료도 직접적인 표면 접촉이 필요한 접지 형태 혹은 그라운드 형태의 노이즈 대책 재료로 사용하기에는 무리가 있다. 부직포 형태의 도전성섬유는 틈이 많기 때문에 점착제를 함침할 수 있는 능력이 우수하여 고 밀착성을 요구하는 전자파 차폐용 테이프 용도로 사용되어질 수 있다.

3.2 섬유상 도금 피막의 성분 분석

무전해도금법에 의해 Ni/Cu/Ni를 도금을 실시한 후 피막 중의 각 금속의 함량을 분석하여 그 결과를 표 3에 나타내었다. 표면저항값이 $43 \text{ m}\Omega/\square \sim 49 \text{ m}\Omega/\square$ 의 범위에서 거의 유사한 저항 특성치를 나타내는 도전성섬유를 제작한 후, 도금된 금속의 함량을 측정하였다. 금속 성분의 분석을 위하여 25 vol% 질산 용액에 도금된 섬유를 침적하여 금속을 용해시킨 후 ICP를 사용하여 Ni와 Cu의 함량을 측정하였으며, 무전해 Ni-P 도금 피막에 함유되어 있는 P의 분석을 행하지 아니하였다. 분석 결과의 전체 금속 농도 중 Ni와 Cu 비율을 백분율로 나타내었다.

Ni/Cu/Ni 다층 구조를 하고 있는 도전성섬유의

Table 3. Metal compositions of conductive fabrics

No.	Ni weight (g/m ²)	Cu weight (g/m ²)	Total metal (g/m ²)	Resistivity (Ω/□)
1	3.1 (18.3%)	13.8 (81.7%)	16.9	0.046
2	5.2 (24.3%)	16.2 (75.7%)	21.4	0.045
3	4.6 (21.8%)	16.6 (78.2%)	21.1	0.043
4	6.3 (19.6%)	25.9 (80.4%)	32.2	0.044
5	4.8 (18.8%)	20.8 (81.2%)	25.6	0.046
6	2.2 (19.8%)	8.9 (80.2%)	11.1	0.049
7	8.2 (24.4%)	23.4 (75.6%)	33.6	0.048

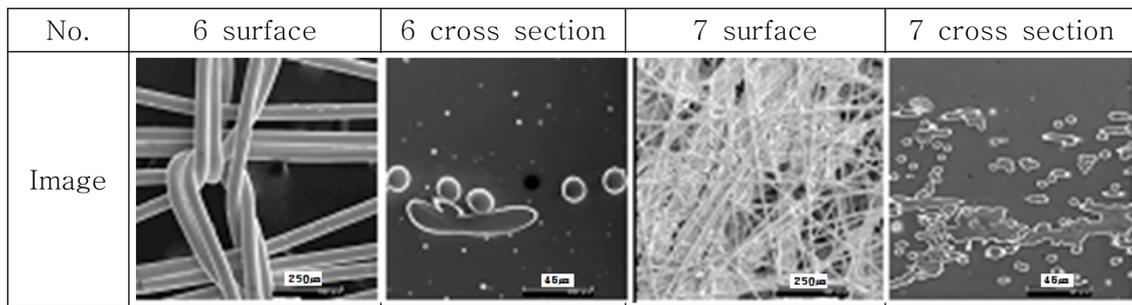


Fig. 3. Surface and cross section of mesh type and nonwoven type conductive fabric.

1 m²당 석출금속의 비율은 Ni이 약 18~25% 정도로 섬유의 구조에 관계없이 유사하며, 석출금속 함량은 약 11 g/m²~32 g/m²으로 섬유의 구조에 따라 크게 차이를 나타내어, 거의 유사한 표면저항값을 나타내는 도전섬유에 있어서도 섬유의 구조에 따라 석출된 금속의 양은 다르다는 것을 알 수 있다.

대표적인 시료3의 도전성섬유에 대하여 EDAX 분석을 실시하여, 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 측정 조건으로는 측정시간 32 sec, 가압속도 20.0 kV, 전자선 입사각도 90.0°, X선 취출각도 30.0°의 조건으로 분석한 결과, P 4.03%, Ni 22.9%, Cu 73.1%의 결과를 얻었다. 이 결과는 전술의 ICP 분석 결과와 유사한 값을 나타내고 있으며, ICP 분석에서 실시하지 않았던 무전해 Ni-P 도금에서의 P 함량까지 포함하고 있다.

다음으로, 도전섬유의 내부에까지 도금피막이 형성되는가를 조사하였다. 전술한 바와 같이 도금 금속이 섬유 내부의 각 필러의 표면에 도금이 될 수 있는가 아니면 응집된 필러 중 최상부의 필러에만 도금이 되는가는 도전성섬유의 밀착성뿐만 아니라 유연성 및 전자과 차폐특성에 중요한 영향을 미친다. 섬유 내부까지 금속이 석출되는가 여부를 관찰하기 위하여 단면 선분석을 실시하였다. 필라멘트 평직사인 시료3과 DTY사인 시료4의 단면 분석 결과를 각각 그림 5 및 6에 나타내었다. 각 그림중의 2개의 적색선 내부의 성분을 분석한 결과이다.

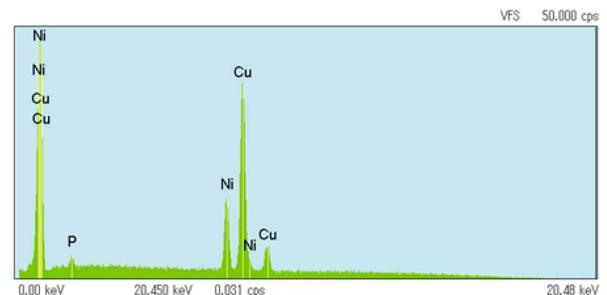


Fig. 4. Result of EDAX analysis for conductive fabric (sample 3).

그림 5로부터 알 수 있는 바와 같이 평직의 필라멘트사를 사용하는 직물의 경우 36가닥의 필러가 3층 구조로 뽁뽁하게 적층되어 있으며, 최상층의 표면에는 Ni 및 Cu의 석출 피크가 확연히 관찰되나 중간층에서는 그 강도가 감소하며 최하부층, 즉 섬유의 내부층에는 거의 도금이 되지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 이에 비해 그림 6의 DTY사를 사용하는 직물(시료4)의 경우에는 섬유 내부까지 도금액이 침투할 수 있는 공간이 열려 있다는 것을 관찰할 수 있으며, 이러한 이유 때문에 섬유의 내부에 있는 필러까지 금속이 석출되어 있다는 것을 확인할 수 있다.

이처럼, 평직필라멘트사에 비해 DTY사로 구성된 섬유상 도금이 섬유의 내부에 있는 필러에까지 금속이 석출되어 유연성 및 도금 밀착성에서 유리하

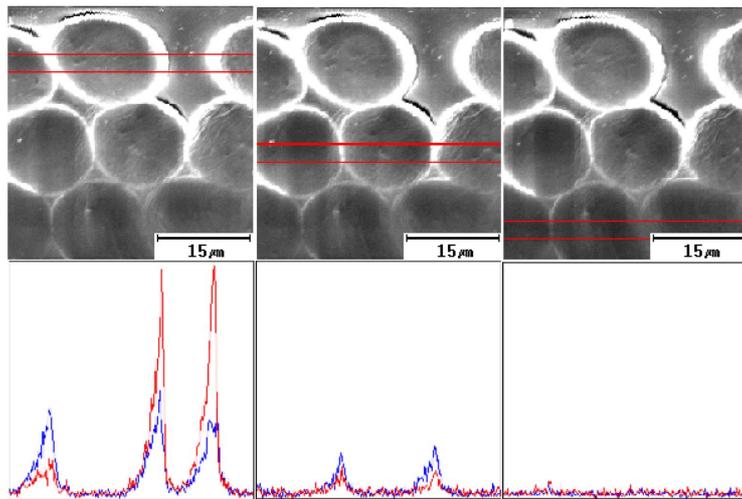


Fig. 5. Line analysis of cross section for the sample 3.

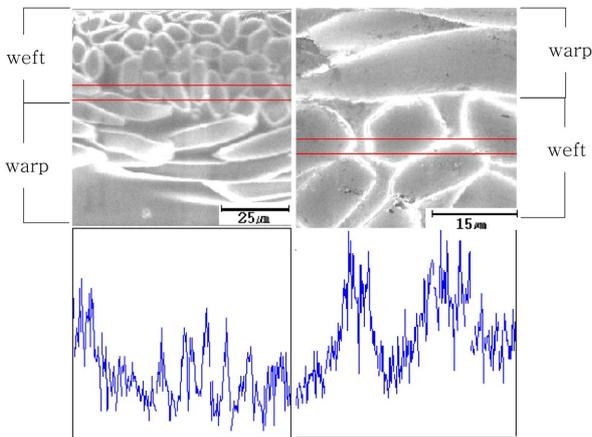


Fig. 6. Line analysis of cross section for the sample 4.

다. 그러나, 전술의 금속 함량 결과로부터 알 수 있듯이 DTY사로 구성된 섬유는 경우 동일한 전기 저항값을 얻기 위한 석출금속이 양이 많아지기 때문에 이는 곧 도금액의 사용 양이 많아진다는 것을 의미하며 비용면에서 불리하다. 또한 DTY 사로 구성된 섬유는 경우에는 틈이 많이 존재하기 때문에 후 공정인 코팅공정에서 불리하다. 이러한 장단점을 고려하여 각 용도에 맞게 섬유를 선택할 필요가 있다.

3.3 도전성섬유의 전자파 차폐특성

제작된 시료의 전자파 차폐특성은 KEC법으로 측정하였다. KEC법은 일본 간사이전자진흥센터(KEC)에서 개발한 전자파 차폐 측정방법으로, 그 장치를 그림 7에 나타내었다. 이 방법은 시트상 재료의 전자파 차폐특성을 비교적 쉽게 평가하기 위하여 고안된 방법으로, TEM셀(transverse electromagnetic cell)의 내부에 전송 축 방향으로 면내에서 좌우 대



Fig. 7. Measurement system for electromagnetic interference shielding effectiveness (EMI SE) by KEC method.

칭으로 분할된 구조로 되어 있으며, 측정 시료가 장착될 때 단락회로가 형성되지 않도록 하기 위하여 중심 도체의 축 방향 길이는 절단면으로부터 2 mm 짧게 되어 있다.

전자파 차폐 측정에는 자계성분의 큰 전자계를 발생시키기 위하여 실드형 원형 루프안테나를 사용하고, 90도 각도의 금속판과 결합시켜 루프안테나의 1/4 부분이 외부로 도출되어 있는 구조로 되어 있다. 이와 같은 구조의 TEM 셀 내부에 제너레이터와 안테나 사이에 도전성섬유를 장착한 후, 전자계를 발생시켜 투과되는 전자계에너지를 루프안테나가 받아들여 측정하는 방법이다¹⁸⁾.

전술의 시료1~시료7 이외에, 도금 금속의 종류가 도전성섬유의 유연성 및 전자파 차폐특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 1차 무전해 니켈 도금 후 무전해 동 도금에서 완료한 시료에 치환 은(Ag) 도금을 실시한 시료(Ni/Cu/Ag), 최종 무전해 니켈 도금 후 다시 치환 금(Au) 도금을 실시한 시료(Ni/Cu/Ni/Au)를 제작하여 전자파 차폐특성을 비교 평가하였다. 그 결과를 그림 8에 나타내었다.

전자파 차폐 재료의 전자파 차폐성능은 그 전기

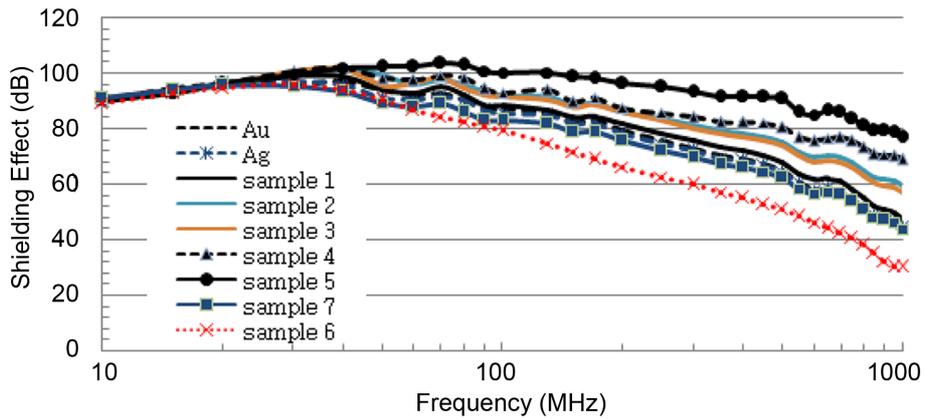


Fig. 8. Electromagnetic interference shielding effectiveness of conductive fabrics.

전도도에 비례한다. 따라서 재료의 표면저항만을 측정함으로써 그 차폐특성을 어느 정도 유추할 수 있다. 그러나 그림 8에 나타난 바와 같이 표면저항이 거의 유사한 값을 갖는 도전성섬유에 있어서도 그 차폐특성은 차이를 나타낸다. 이는 섬유의 구조에 따라 접촉할 수 있는 면적이 다르기 때문에 접지 특성이 다르게 나타나 결과적으로 전자파 차폐특성에 다른 결과가 나오는 것으로 생각할 수 있다.

그림 8에서 메쉬 섬유(시료6) 및 부직포(시료7)는 전자파 차폐특성에서 불리한 결과를 나타낸다는 것을 알 수 있다. DTY로 구성된 섬유(시료4 및 시료5)는 평직필라멘트사로 구성된 섬유(시료1 ~ 시료3)에 비해 우수한 전자파 차폐성능을 나타내고 있다.

한편, Au 도금 및 Ag 도금은 전자파 차폐특성에서 유리한 점이 확인되지 않는다. 이는 Au 및 Ag가 전자파 차폐성능의 측면에서는 Cu에 비해 유리한 금속이 아니며, 본 연구에서의 Au 및 Ag 도금이 치환 도금법에 의한 피막이기 때문에, 치환 도금 공정에서 기재 피막(Cu 혹은 Ni 피막)이 용해되어 나오면서 연속된 금속 피막을 형성하는 데는 불리하게 작용하였기 때문이라 유추할 수 있다. 전 주파수 범위에서의 전자파 차폐특성은 우수한 순으로 정리하면, 시료5 > 시료4 > 시료2 > 시료3 > 시료1 > Au ≥ Ag > 시료7 > 시료6의 순이다.

표 4에는 각 주파수에서의 전자파 차폐특성을 나

타내었다. 1 GHz에서의 전자파 차폐특성은 DTY로 구성된 섬유상 도금(시료4 및 시료5) 피막이 70 dB 이상을 나타내고 있다.

3.4 도전섬유의 유연성

제작된 도전성섬유로 10 mW × 20 mL × 10 mm T 크기의 스펀지를 감싸 말아 붙인 전자파 차폐용 가스켓을 제조 후, 외부에서 압력을 가할 때의 압축 비율에 따른 저항값의 변화를 측정하는 방법으로 도전섬유의 유연성을 평가하였다. 이때 사용된 스펀지는 80 PPI (pores per inch)의 밀도를 갖는 폴리우레탄 다공체이다. 동일한 스펀지를 사용할 경우, 외부로부터 부하되는 압력에 따른 압축율의 차이 및 저항값의 변화로부터 도전성섬유의 유연성을 유추하여 비교하는 평가 방법이다. 압축-변형량 및 변형량-저항값 측정 방법 및 측정 장비의 개요도를 표 5에 나타내었다.

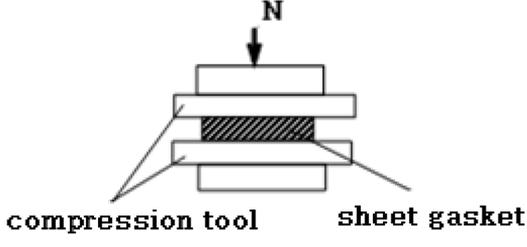
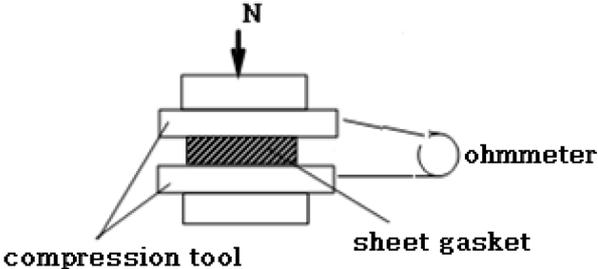
섬유구조가 다른 도전성섬유를 사용하여 전자파 차폐 가스켓을 제조한 후 외부의 부하를 인가할 때의 변형율을 측정하여 그 결과를 그림 9에 나타내었다. 또 변형율에 따른 전기 저항값의 변화를 그림 10에 나타내었다.

DTY사로 구성된 직물섬유(시료4 및 시료5)의 경우, 평직필라멘트사로 구성된 직물섬유(시료2 및 시료3)에 비해 작은 외부의 부하에도 변형량이 크다

Table 4. Electromagnetic interference shielding effectiveness of conductive fabric at a particular frequency

Frequency (MHz)	Electromagnetic interference shielding effectiveness								
	Au	Ag	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7
50	94	91	94.2	99	96	98	102.3	89	90
100	87	86	88.4	92	92	93	100.1	83	79.1
500	65	64	67.7	75	74	80	90.7	62	50.6
1000	43	44	47.1	59	57	70	76.7	44	30

Table 5. Test method for the relationship between compressive force and deformation and the relationship between deformation and electric resistivity

Test method	Detail
<p>[Compressive force - Deform]</p> <p>Measuring the deformation amount of the according to a compressive force at 10% to 50% deformation of the sample height</p> <p>Specimen size : 10×20mm Unit : [N]</p>	
<p>[Deformation - Electric resistivity]</p> <p>Measuring the change of electric resistivity at 10% to 50% deformation of the sample height</p> <p>Specimen size : 10×20mm Unit : [mΩ]</p>	

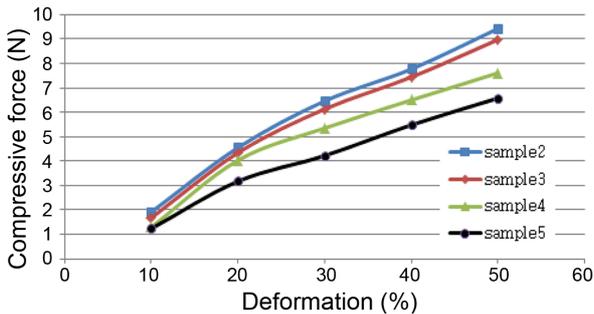


Fig. 9. Relationships between compressive force and deformation of EMI shielding gaskets.

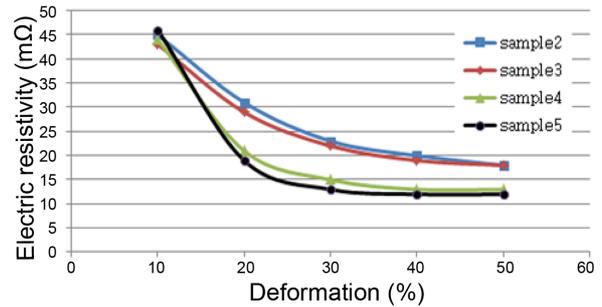


Fig. 10. Relationships between deformation and electric resistivity of EMI shielding gaskets.

는 것을 알 수 있다. 이는 DTY사로 구성된 직물섬유를 사용하는 쪽이 평직필라멘트사로 구성된 직물섬유를 사용하는 것보다 유연성이 양호한 도전성섬유를 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 그림10에서 알 수 있는 바와 같이 DTY사로 구성된 직물섬유(시료4 및 시료5)의 저항값이, 평직필라멘트사로 구성된 직물섬유(시료2 및 시료3)에 비해 변형율에 따른 저항값 감소가 급격하다는 것을 알 수 있다. 이는 유연성이 우수한 도전성섬유가 우수한 전자파 차폐특성을 나타낼 수 있다는 것을 추정할 수 있다는 근거가 된다.

4. 결 론

1. 도전성섬유의 날줄 방향의 실(날실, 경사)과 씨줄 방향의 실(씨실, 위사)의 배치는 다르다. 도금공정 중에서 날실 방향으로 잡아당기면서 도금이 진

행되기 때문에 날실은 각 필러가 촘촘히 붙어 있는 것에 비해 씨실은 각 필러가 서로 떨어져 있다

2. 도전성섬유 내부의 각 필러의 표면에 균일하게 도금피막이 형성되는 경우에는 응집된 필러의 최상부에만 도금이 되는 경우에 비해 도전성섬유의 유연성이 양호하며 우수한 전자파 차폐특성을 나타낸다.

3. 평직필라멘트사로 구성된 직물 섬유에 비해 DTY사로 구성된 직물섬유상 도금이 섬유의 내부에 있는 필러에까지 금속이 석출되어 유연성 및 도금 밀착성에서 유리하다.

4. DTY사로 구성된 섬유의 경우, 평직필라멘트사로 구성된 섬유에 비해 동일한 전기 저항값을 얻기 위한 석출금속이 양이 많아지기 때문에 이는 곧 도금액의 사용 양이 많아진다는 것을 의미하며 비용면에서 불리할 뿐만 아니라 틈이 많이 존재하기 때문에 후공정인 코팅공정에서 불리하다.

5. DTY 사로 구성된 도전성섬유의 전자과 차폐 특성은 평직필라멘트사로 구성된 도전성섬유의 전자과 차폐특성에 비해 우수하다. 한편, 무전해 Cu 도금 및 Ni 도금후 치환 도금법에 의한 Au 혹은 Ag 도금 피막은 전자과 차폐특성 향상에 불리하게 작용한다.

6. 부직포 및 메쉬 구조의 도전성섬유는 표면 각 부에서 도금석출이 균일하지 못하고 표면저항이 균일하지 못하기 때문에 접지특성이 요구되는 분야의 용도에는 적합하지 못하며 전자과 차폐용 도전성 테이프의 심재용으로 사용될 수 있다.

7. 전자과 차폐용 도전성섬유의 구조 선택은 각각의 장단점을 가지고 있기 때문에, 이러한 장단점을 고려하여 각 용도에 맞게 섬유를 선택할 필요가 있다.

Reference

1. T. Kasagi, S. Suenaga, T. Tsutaoka, K. Hatakeyama, *J. Magnetism and Magnetic Materials*, 310 (2007) 2566.
2. B. Szpunar, M. Aus, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 187 (1998) 325.
3. S. kumar, C. M. S. Rauthan, P.N.Dixit, *Vacuum*, 63 (2001) 433.
4. Akhilesh K, Arora, T.R.Ravindran, *Diamond and Related Materials*, 10 (2001) 1477.
5. T.Kasagi, T.Tsutaoka, K.Hatakeyama, *J. Magnetism and Magnetic Materials*, 193 (2004) 272.
6. 10. S.C.Mehta, D.A.Smith, U. Erb, *Materials Science and Engineering A*, 204 (1995) 227.
7. S.Shibuya, *IEICE B Plus* 10 (2009) 10.
8. M.Masugi, Y.Suzuki, H.Yamane, K.Tajima, *IEICE B Plus* 10 (2009) 22.
9. Shaffer MSP, Windle AH, *Adv. Mater.*, 11 (1999) 937.
10. Koul S, Chandra R, Dhawan SK, *Polymer*, 41(26) (2000) 9305.
11. K.Terashita, Y.Mmizuno, P.Lyoo, K.Miyanami, *Chemical engineering* 16(4) (1990) 715.
12. Hung FS, Hung FY, Caiang CM, Lui TS, *Materials Transactions, JIM* 49(3) (2008) 655.
13. L.S. Son, H.N. Lee and H.K. Lee, *J. Korean Institute of Surface Engineering*, 45(1) (2012) 8.
14. J.H. Lee, Y.S. Han, H.N. Lee and H.K. Lee, *J. Korean Institute of Surface Engineering*, 46(1) (2013) 9.
15. C.M. Lee, J.Y. Hur and H.K. Lee, *J. Korean Institute of Surface Engineering*, 47(6) (2012) 275.
16. T. SAITO, K. IRIE, E. SATO, Y. TOMURO, A. KUWANA, *Jitsumu Hyomen Gijutsu* 44(3) (1993) 237.
17. Cheng KB, *Journal of the Textile Machinery Society of Japan* 46(2), (2000) 42.
18. H.Shigekuchi, S.Sato, *IEICE B Plus* 10 (2009) 12.