

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.6.107>

IIBC 2018-6-13

콘포멀 스프레이 코팅으로 형성한 EMI 차단막의 차폐효과 개선

Improvement for Shielding Effectiveness of EMI Shield Layers using Conformal Spray Coating Scheme

허정*, 이원희**

Jung Hur*, Won-Hui Lee**

요약 콘포멀 스프레이 코팅으로 형성한 EMI 차단막으로 차폐효과(SE)를 얼마나 개선할 수 있는지 연구하였다. 차단막을 형성하는데 사용한 재료는 도체 분말을 아크릴계 바인더에 혼합한 금속-레진 복합재료이며, 금속분말로는 은(Ag)과 니켈(Ni)을 비교하였다. 재료의 점도는 400 cPs와 100 cPs에서 차폐성능을 비교하였다. 차단막의 두께는, 은의 경우 20 um에서 50 um, 니켈의 경우 60 um에서 120 um로 만들어 비교하였다. 차폐효과의 측정은 동축형 표준 측정기를 이용하여 ASTM D4935 방법으로 수행하였다. 니켈 시료보다 은 시료의 차폐효과가 우수했다. 차폐효과는 차단막 두께와 비례해 증가하지만 35 um 이상에서 더 이상 증가하지 않는다는 사실도 관찰하였다. 가장 차폐효과가 좋은 경우는 35 um 두께 은 시료 차단막으로, 63 dB의 차폐효과가 측정되었다.

Abstract Shielding effectiveness (SE) improvement with EMI shield layers fabricated by conformal spray coating system was studied. Silver or Nickel powder filled acrylic resin were sprayed on the samples. We compared the performance with the viscosity of 400 cPs and 100 cPs cases. The thickness range of the coating layer was 20 to 50 um for the silver, 60 to 120 um for the nickel. The shielding effectiveness was measured by ASTM D4935 using coaxial type TEM-cell. The silver-filled resin showed much better performance than that of the nickel-filled resin. The shielding effectiveness increased almost proportional to the thickness of the coating layers until being saturated around 63 dB for the silver-layer or around 34 dB for the nickel-layer. The best performance measured in this study was the shielding effectiveness of 63 dB with 35 μ m-thick of silver-layer.

Key Words : EMI Shield, conformal spray coating, shielding effectiveness

1. 서론

차폐용 도체캔(shielding conductor can)을 씌우는 EMI 차폐 공정은 수십 년 전부터 오늘에 이르도록 특별한 대안 모색 없이 거의 모든 종류의 PCB에 무난히 적용

되어 왔다. 차폐효과(SE; shielding effectiveness) 등^{[1],[2]} 성능이 좋고, 가볍고 값싸며 자동화 공정을 적용하여 빠르고 정확하게 조립할 수 있다.

그러나 수 밀리미터의 두께를 다루는 최근의 전자 기기^{[3],[4]}에서는 부품이나 커넥터의 크기를 줄이는 단계를

*정희원, 건국대학교 전기전자공학부

**정희원, 서일대학교 정보통신공학과(교신저자)

접수일자: 2018년 11월 22일, 수정완료: 2018년 12월 6일

게재확정일자: 2018년 12월 7일

Received: 22 November, 2018 / Revised: 6 December, 2018 /

Accepted: 7 December, 2018

**Corresponding Author: whlee@seoil.ac.kr

Dept. of Information and Communication Engineering, Seoil University, Korea

넘어 그 위에 씌우는 차폐용 도체캔의 높이마저도 어떻게든 줄여야 한다는 요구를 키우고 있다. 이런 요구에 부응하기 위하여 도체캔의 높이뿐 아니라 도체판 자체의 두께도 얇게 하려는 노력이 계속되어 왔다.

한편에서는 도체캔이 아닌, 완전히 다른 방법으로 EMI 차폐를 구현하는 방법을 모색하고 있다. 도체캔을 대신하여 도체막을 전자부품이나 PCB의 표면에 직접 씌우는 방법이 그것이다.

도체막을 부품에 직접 씌워 주는 방식으로는 스퍼터링(sputtering)과 스프레이(spraying), 두 방식이 대안으로 제시되고 있다. 스퍼터링은 진공 증착의 일종으로 얇은 도체막이 목표물의 표면에 입혀진다. 스퍼터링으로 형성된 도체막의 전기적 특성과 기계적 물성은 뛰어나다. 따라서 2차원 평면적 구조의 목표물에는 무난히 적용해 쓸 수 있다. 그러나 증착의 목표물이 3차원적 입체 구조일 경우에는 문제가 생긴다. 수평면에 증착되는 도체막에 비해 수직면에 증착되는 도체막이 현저하게 얇아 차폐효과를 크게 떨어뜨린다. 이런 문제를 기술적으로 극복한다 하더라도 또 하나의 더욱 큰 문제는 공정비용이 대단히 비싸고 긴 시간이 소요되어 대량생산에 부적합하다는 점이다.

스프레이(spraying)은 도전성 액체를 스프레이 방식으로 목표물의 표면에 뿌려 입힌 다음 경화시켜 EMI 차단막을 만드는 것이다. 도전성 액체는 도체 분말(conductive powders)을 액상의 수지(resin)에 섞은 이종복합재료(heterogeneous compound)이다. 도체로는 구리, 은, 니켈 또는 그래파이트 등이, 수지로는 에폭시, 아크릴, 우레탄, 러버(rubber) 등이 쓰인다. 스프레이 방식은 공정에 소요되는 시간이 아주 짧아 대량 생산에 적합하며 공정 단가가 대단히 저렴하다. 그러나 비중 차이가 현격한 이종복합재료를 단순한 레진처럼 스프레이하여 균질한 도체막을 형성하는 것은 달성이 쉽지 않은 과제이기 때문에 아직 실용화되지 않고 있다.

본 논문에서는 콘포멀 스프레이 코팅으로 형성한 EMI 차단막으로 차폐효과(SE)를 얼마나 개선할 수 있는지 연구한 결과를 보고한다. 차단막을 형성하는 데 사용한 재료는 도체 분말을 아크릴계 바인더에 혼합한 금속-레진 이종복합재료이며, 금속분말로는 은(Ag)과 니켈(Ni)을 비교하였다. 재료의 점도를 400 cPs와 100 cPs로 바꾸며 도전성 막을 형성하였고 형성된 막의 균질성과 차폐성능을 비교하여 적절한 재료 점도를 추정하였다. 차단막의

두께는, 은의 경우 20 um에서 50 um, 니켈의 경우 60 um에서 120 um로 만들어 비교하였다.

II. 콘포멀 스프레이 코팅으로 EMI 차단막 시료의 제작

콘포멀 스프레이 코팅(conformal spray coating)은 단순한 2차원 평면이 아닌 3차원 요철이 있는 표면에도 균일한 코팅막을 형성할 수 있는 기술이다. 그러나 코팅 재료로써 액상의 수지를 이용하는 것이 지금까지의 주된 응용 분야이고, 도체 분말을 액상의 수지에 섞은 이종복합재료를 스프레이 하는 방법은 3차원 구조에는 말할 것도 없고 2차원 평면에서조차 균질막을 만들지 못하는 수준이기 때문에 아직 실용화되지 않았다.

이종복합재료를 스프레이 하여 균질막을 얻는 데 적용되는 핵심 요소는 재료의 점도 설정, 스프레이 압력과 노즐의 모양, 교반기(agitator) 가동 등이다. 이 중에서도 점도(viscosity)가 가장 결정적인 요소이다. 점도가 너무 낮으면 무거운 도체 분말들이 중력에 의해 액체 바닥 쪽으로 빠르게 가라앉아 불균일(non-uniform)의 원인이 될 뿐만 아니라 노즐을 막아 재료의 분사 자체를 불가능하게도 한다. 반대로 점도가 높으면 도체 분말들이 가라앉는 문제는 줄어들지만 너무 끈끈해서 입자들이 분사되어 나가는 스프레이 메커니즘이 아예 발생하지 않는다.

본 논문에서는 아크릴계 수지에 은(silver) 분말과 니켈(nickel) 분말을 각각 혼합한 두 재료를 준비하여, 이들의 점도를 400 cPs와 100 cPs로 바꾸며 시료를 두 가지씩 제작하였다. 도체 분말의 평균 입도는 2 um 였다. 그림 1은 코팅 시료의 모양을 나타낸 것이다. 차폐효과가 0인 기준을 설정하기 위하여 도체막이 코팅되기 전의 FR4 기판 한 장을 준비했고, FR4에 동박을 씌운 기판으로는 차폐효과 무한대의 기준 시료로 삼았다. 별도의 FR4 기판 두 장에는 은-아크릴 시료를 두 단계의 점도로 바꾸며 스프레이 코팅하여 2장의 차단막 시료를 얻었고, 다른 FR4 기판 2장에는 니켈-아크릴 시료를 점도를 역시 두 단계로 바꾸며 스프레이 코팅하여 2장의 차단막 시료를 얻었다. 적정 점도를 확인한 후에는 새로운 FR4 기판 15 장을 준비하여, 은의 경우 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60 um 두께로, 니켈의 경우 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 um 두께로 코팅막을 만들었다. 교반기는 가능한 수준에서

최대 가동을 하였고, 스프레이 압력도 허용하는 최대 수준으로 적용하였다. FR4 기판은 두께 1 mm, 지름 125 mm인 원형으로, 측정 지그에 고정할 수 있도록 테두리에 8개의 구멍을 뚫은 것이다. 스프레이 코팅은 (주)TTnS의 TCMCI6A coating machine과 ECO99 curing oven을 이용하였다. 차폐효과(SE; shielding effectiveness)의 측정은 동축형 표준 측정기를 이용하는 ASTM D4935 방법으로 수행하였다. 또한 Agilent 8722ES Vector Network Analyser를 이용하여 측정 환경을 구성했다.

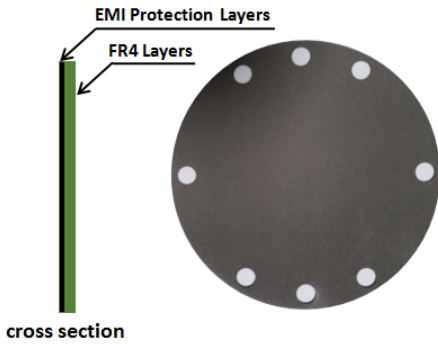


그림 1. FR4 기판에 콘포멀 스프레이 코팅으로 EMI 차단막을 형성한 시료의 구조
 Fig. 1. The structure of the EMI shield layers fabricated by conformal spray coating on FR4 substrate

III. 시뮬레이션 및 측정 결과

제작된 시료를 측정하기에 앞서 동축형 표준 측정기의 유효성을 검증하고 측정 시료들의 EMI 차폐 효과를 예상하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 Ansys의 HFSS를 이용하였다. 그림 2는 차폐 효과 0인 기준을 설정하기 위해 준비한 도체막 코팅 전의 FR4 기판에 대한 시뮬레이션 결과이다. 부분적으로 2 dB 근처의 삽입손실을 보이지만, 10 MHz에서 6 GHz까지 대역의 거의 모든 주파수에 대하여 무손실에 가까운 통과 특성을 보이고 있어, 이를 SE = 0인 캘리브레이션 기준으로 삼기에 무리가 없다. 그림 3은 FR4에 동박(Cu)을 씌운 시료의 차폐효과를 구한 시뮬레이션 결과다. 2.8 GHz 부근에 나타난 희미한 공진특성 외에는 완벽한 차단 특성을 보이고 있어 SE = infinity인 캘리브레이션 기준으로 삼기에 또한 무리가 없다. 그림 4는 HFSS에서 제공하는 도전성 물질 중 본 논문의 코팅재료와 유사한 도

전율 특성을 갖는 그래파이트(graphite)를 이용한 시뮬레이션 결과이다. 100 MHz에서 6 GHz까지 대역에서 SE 값이 44 dB에서 56 dB까지 나타나고 있다. 여기에 적용된 그래파이트의 도전율은 0.07×10^6 S/m이다. 이러한 시뮬레이션의 결과로써, 동축형 표준 측정기를 가지고 측정한 SE 성능이 높은 신뢰도를 갖는다고 판단할 수 있다.

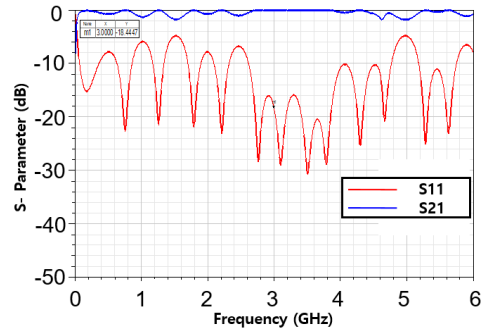


그림 2. FR4 기준 시료의 시뮬레이션 결과
 Fig. 2. Simulation results of FR4 reference sample

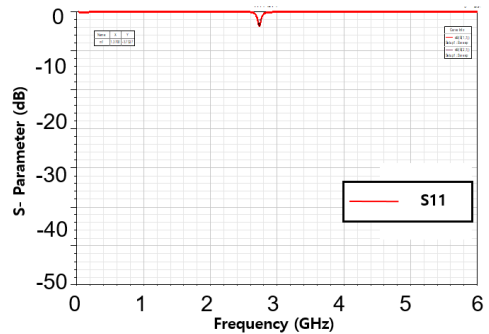


그림 3. FR4 기판에 동박이 입혀진 경우의 시뮬레이션 결과
 Fig. 3. Simulation result for Copper cladding FR4 substrate sample

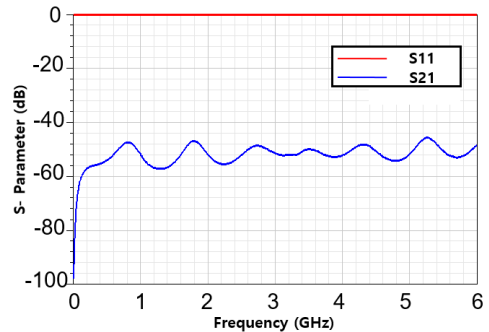


그림 4. 그래파이트막이 코팅된 FR4 시료의 시뮬레이션 결과
 Fig. 4. Simulation results for graphite coated FR4 substrate

그림 5은 ASTM D4935 방법^[5]으로 시료의 차폐효과(SE)를 측정하기 위하여 원통 동축 표준 측정기와 Agilent 8722ES Vector Network Analyser를 연결하여 구성한 측정 환경을 보인 것이다^[6].

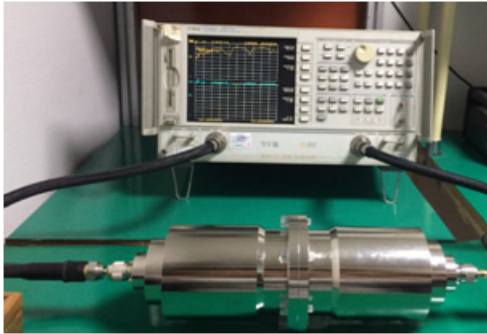


그림 5. 측정 시스템 구성
Fig. 5. Measurement instrument set-up

그림 6은 FR4 기판 위에 스프레이 코팅을 하여 얻은 시료의 일부를 보인 것이다. 그림 6(a)는 니켈-아크릴 도료가 코팅된 것이고 그림 6(b)는 은-아크릴 도료가 코팅된 것이다. 니켈-아크릴 도료의 경우 점도가 400 cPs일 때에는 스프레이 노즐이 간헐적으로 막혀, 제작된 시료가 육안 관찰로도 너무 불균질하기에 측정 대상에서 제외하였다. 니켈-아크릴-400 cPs 시료를 뺀 나머지 모든 시료들의 표면이 육안으로는 매우 균질해 보였다. 그 중에도 은-아크릴 도료 코팅이 니켈-아크릴 도료 코팅에 비해 밝은 색이면서 더 균질해 보였다. 은-아크릴 도료의 경우 점도가 400 cPs인 시료가 100 cPs인 시료에 비해 더 거칠어 보였다. 코팅막의 두께는 육안으로 구별이 힘들 정도로 차이하지 않았다.

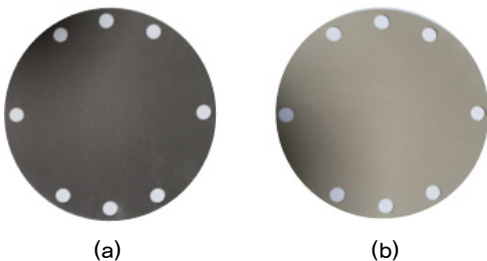


그림 6. FR4 기판 위에 콘포멀 스프레이 코팅으로 형성한 EMI 차단막; (a)니켈-아크릴 도료, (b)은-아크릴 도료
Fig. 6. EMI shield layers fabricated by conformal spray coating on FR4 substrate; (a) nickel-acrylic, (b) silver-acrylic

그림 7과 그림 8은 점도가 각각 400 cPs와 100 cPs인 은-아크릴 도료가 50 μm 두께로 코팅된 시료의 차단효과(SE)를 비교한 것이다. 점도 400 cPs인 그림 7에서 1 GHz 이하 주파수 특성은 신뢰할 수 없는 수준이어서 삭제한 것이다. 1 GHz에서 6 GHz까지의 주파수 대역에서 차폐효과(SE)는, 점도 400 cPs인 시료가 40 dB에서 55 dB 사이이고, 점도 100 cPs인 시료는 50 dB에서 65 dB 사이로, 점도 100 cPs인 시료가 전 측정 주파수 대역에서 10 - 15 dB 이상 높은 성능을 보이고 있다. 그림 8에는 두께 50 μm 코팅막의 특성에 35 μm 코팅막의 특성을 같이 그려 두께에 따라 달라지는 차단효과(SE)의 차이 비교도 하였다. 또한 점도 400 cPs이면서 두께가 50 μm 인 코팅막에 비해 두께가 훨씬 얇은 35 μm 인 코팅막이라도 점도가 100 cPs인 경우라면 차단특성(SE)이 10 dB 정도 우수함을 알 수 있다. 이로서 도료의 점도는 400 cPs일 때보다 100 cPs일 때 더욱 균질하고 차단효과(SE) 특성이 우수한 코팅막을 얻을 수 있다는 것을 확인한 것이다.

그림 9는 점도를 100 cPs으로 고정하고, 니켈-아크릴 도료의 두께를 증가시키며 스프레이한 시료의 차폐효과(SE) 측정치 평균값이다. 두께는 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 μm 까지 7 종류로 제작하였는데, 60 μm 일 때 32 dB, 70 μm 일 때 33 dB, 80 μm 일 때 33.7 dB, 90 μm 일 때 34 dB로 증가하다가 90 μm 이상에서는 34 dB로 포화되는 것을 볼 수 있다. 즉, 니켈 시료의 경우 90 μm 의 두께일 때 34 dB로 최고 성능을 갖는다.

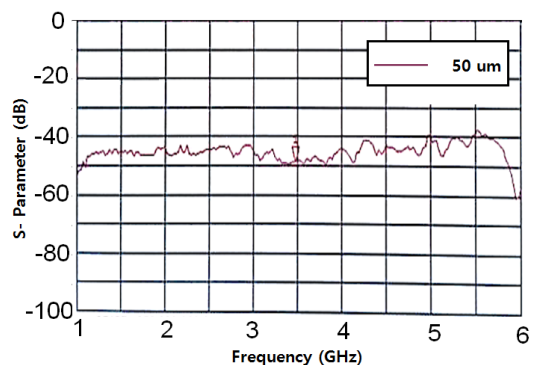


그림 7. 점도 400 cPs인 은-아크릴 도료를 50 μm 로 코팅한 시료의 차단효과(SE)

Fig. 7. Shielding effectiveness of 50 μm -thick silver-acrylic coated sample with 400 cPs viscosity

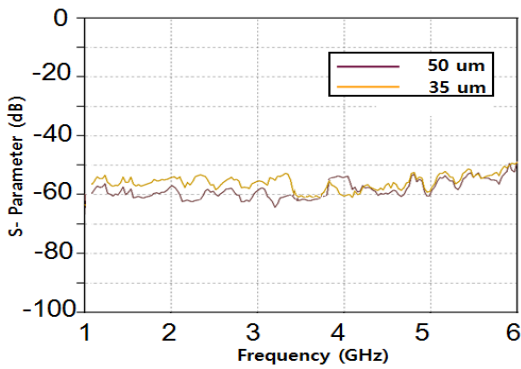


그림 8. 점도 100 cPs인 은-아크릴 도료를 50 μm 및 35 μm로 코팅한 시료의 차폐효과(SE)
 Fig. 8. Shielding effectiveness of 50 μm-thick and 35 μm-thick silver-acrylic coated sample with 100 cPs viscosity

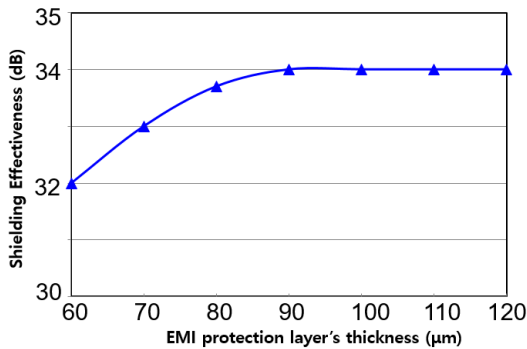


그림 9. 니켈-아크릴 도료 EMI 차단막의 두께에 따른 차폐효과(SE) 변화
 Fig. 9. Shielding effectiveness for EMI shield layers of the nickel-acrylic material

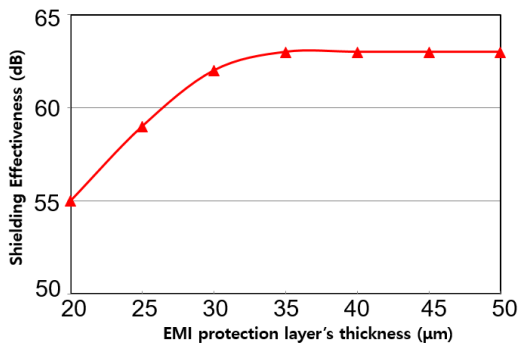


그림 10. 은-아크릴 도료 EMI 차단막의 두께에 따른 차폐효과(SE) 변화
 Fig. 10. Shielding effectiveness for EMI shield layers of the silver-acrylic material

그림 10은 점도를 100 cPs으로 고정하고, 은-아크릴 도료를 두께를 증가시키며 스프레이한 시료의 차폐효과(SE) 측정치 평균값이다. 두께는 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60 μm까지 8 종류로 제작하였는데, 20 μm일 때 55 dB, 25 μm일 때 59 dB, 30 μm일 때 62 dB, 35 μm일 때 63 dB로 증가하다가 35 μm 이상에서는 63 dB로 포화되는 것을 볼 수 있다. 즉, 은 시료의 경우 35 μm의 두께일 때 63 dB로 최고 성능을 갖는다.

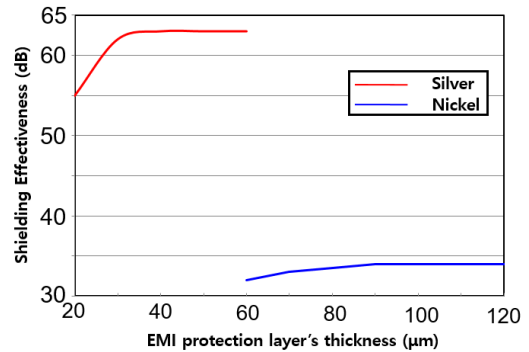


그림 11. 니켈-아크릴 도료와 은-아크릴 도료의 EMI 차폐효과(SE) 비교
 Fig. 11. EMI Shielding effectiveness comparison between the nickel-acrylic material and the silver-acrylic material

그림 11은 은-아크릴 도료와 니켈-아크릴 도료의 두께에 따라 달라지는 차폐성능을 동일한 그래프에서 비교한 것이다. 동일한 두께이지만 재료가 다른 60 μm의 경우 31 dB 만큼의 차폐효과(SE) 차이가 나는 것을 볼 수 있고, 전반적으로 은-아크릴 도료가 니켈-아크릴 도료에 비해 절반 이하의 얇은 차단막으로도 30 dB 즉, 1000배 정도 우수한 차폐 성능을 구현할 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

은 분말과 아크릴 수지를 혼합한 이중 복합도료를 콘포멀 스프레이 코팅하여 EMI 차단막을 만들었고 두께 35 μm에서 최대 63 dB까지의 차폐효과(SE)를 구현하였다. 두께가 증가할수록 차폐효과가 증가하지만 35 μm을 넘으면 더 이상 증가하지는 않는다는 사실도 확인하였다. 니켈 분말과 아크릴 수지를 혼합한 이중 복합도료로도 EMI 차단막을 만들어 비교하였는데, 은-아크릴 재료에

비해 차폐효과(SE)가 30 dB 이상 열등하게 나타났다. 재료의 점도를 400 cPs보다 100 cPs일 때 우수한 특성을 보였다.

본 연구 결과를 바탕으로 코팅막의 두께를 줄이면서도 차폐효과를 더욱 높이려는 시도를 계속하고 있으며, 이를 통해 수평면이 아닌 수직면 등에도 적용할 수 있는 차폐막을 구현할 수 있는 방법을 찾아내고자 한다.

References

- [1] C. Morari, L. Balan, "Methods for determining shielding effectiveness of materials", *Electrotechnics*, Vol. 63, No. 2, 2015.
- [2] D. D. Soyaslan, "Investigation of Test Instruments for EM Shielding Effectiveness of Conductive Fabrics and Their Composites", *Journal of Safety Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 39-44, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.5923/j.safety.20130202.04>
- [3] S. K. Kim, "Fabrication of Millimeter Wave Radiometer", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC)*, Vol. 12, No. 3, pp. 71 - 74, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.7236/jiwit.2012.12.3.71>
- [4] W-H Lee, T-J Chung, "Implementation of An 1.5Gbit/s Wireless Data Transmission System at 300 GHz", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC)*, Vol. 11, No. 2, pp. 1-6, 2011.
- [5] S. K Das and B. K. Shinaja, "Numerical solution of higher order mode cutoff frequencies in symmetric TEM cell using Finite Element Method", *IEEE Trans. EMC-32(4)*, pp. 264-268, Nov. 1990.
DOI: <https://doi.org/10.1109/15.59885>
- [6] J. Hur, W-H. Lee "An Accurate Method to measure Shielding Effectiveness of EMI Spray Coating Film", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC)*, Vol. 18, No. 4, pp. 79 - 83, 2018.

저자 소개

허 정(정회원)



- 1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학사
- 1983년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학석사
- 1991년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 1991년 4월 ~ 현재 : 건국대학교 전기전자공학부 교수

<주관심분야 : 안테나 및 마이크로파 회로, EMI Shield Coating 등>

이 원 희(정회원)



- 2000년 : 건국대학교 전자정보통신공학과 공학석사
- 2003년 : 건국대학교 전자정보통신공학과 공학박사
- 1998년~1999년 : 건국대학교 전자정보통신공학과 교육조교
- 2002년~2008년 LG전자 DA연구소 책임연구원

- 2008년~2009년 포항공과대학교 Post Doc.
 - 2009년~2016년 한국전자통신연구원 선임연구원
 - 2016년~현재 서일대학교 정보통신공학과 조교수
- <주관심분야 : 무선 데이터 및 영상 통신, 이동통신, 무선통신 시스템, 밀리미터파 및 테라헤르츠 응용, EMI Shield Coating 등>