

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.6.57
JIIBC 2019-6-9

EMI 차폐막의 높이가 회로의 기능에 미치는 영향 분석

Analysis for the Effect of EMI Shield Layers' Height on Circuit Function

김현우*, 우진하*, 장세현**, 장대순***, 이원희***, 허정****

Hyeon-Woo Kim*, Jin-Ha Woo*, Se-Hyun Jang**, Tae-Soon Chang***,
Won-Hui Lee****, Jung Hur****

요약 EMI 차폐막의 높이가 회로에 어떤 영향을 끼치는지를 S파라미터를 통해 분석하였다. S파라미터 중에서 회로의 기능에 끼치는 영향을 판단할 수 있는 요소로서 S11, S21, S22, S31이 있다. 시뮬레이션은 그래파이트와 페라이트로 이루어진 차폐막을 이용하였고, 주파수는 100 MHz ~ 1 GHz에서 진행하였다. 차폐막의 높이가 증가함에 따라 S21값이 0 dB에 점점 가까워지는 모습을 보였다. 또한 SE(Shielding Effectiveness)값은 특정한 주파수 대역에서만 절연층의 두께에 따른 차폐성능의 향상을 확인할 수 있었다. 이산화규소(Silicon dioxide)의 두께가 가장 두꺼운 800 um 경우를 기준으로 FG(Ferrite-Graphite) 구조는 100 MHz ~ 300 MHz의 좁은 주파수 대역에서 평균 -1 dB를 보이며 -2 dB의 평균을 보이는 GF(Graphite-Ferrite)보다 뛰어난 효율을 보인다. GF 구조는 높은 효율을 보이지는 못하지만 넓은 범위에서 흔들리는 FG 구조보다 100 MHz ~ 1 GHz의 주파수 대역에서 -3 dB의 평균적인 성능을 보인다. 즉, FG 구조와 GF 구조는 트레이드-오프(trade-off)의 구조를 갖는다. 따라서 용도에 따라 적절한 구조를 선택해야 한다.

Abstract S-parameters were used to analyze the effect of the circuit according to the height of the EMI shield layers. Among the S-parameters, S11, S21, S22, and S31 were used as factors for determining the effect on the circuit function. Simulations were performed using shields made of Graphite and Ferrite, and the frequencies were run from 100 MHz to 1 GHz. As the height of the shield was increased, the value of S21 was getting closer to 0 dB. In addition, the SE value was confirmed to improve the shielding performance according to the thickness of the insulating layer only in a specific frequency band. Based on 800um with thickest silicon dioxide thickness, the FG structure averaged -1 dB in narrow frequency bands between 100 MHz and 300 MHz, showing better efficiency than GF with an average of -2 dB. Although GF structures do not show high efficiency, they exhibit average performance of -3 dB in frequency bands between 100 MHz and 1 GHz rather than FG structures that sway over a wide range. In other words, FG and GF structures have trade-off structures. Therefore, it should be noted that the appropriate structure is selected for use.

Key Words : EMI Shielding Layers, Microstrip line, Magnetic probe, FG(Ferrite-Graphite), GF

*준회원, 건국대학교 전기전자공학부

**준회원, 건국대학교 전기전자공학부(교신저자)

***정회원, 서일대학교 정보통신공학과

****정회원, 건국대학교 전기전자공학부

접수일자: 2019년 11월 12일, 수정완료: 2019년 12월 2일

게재확정일자: 2019년 12월 6일

Received: 12 November, 2019 / Revised: 2 December, 2019 /

Accepted: 6 December, 2019

**Corresponding Author: jangsehyun55123@hotmail.com

Electrical and Electronics Engineering, Konkuk University, Korea

1. 서 론

고주파 회로에서 발생하는 EMI를 차단하기 위하여 흔히 PCB 위에 도체 상자를 씌운다. 이를 EMI 차폐 캔(EMI shield can)이라 한다. 최근에는 이런 도체상자 대신 도전성 증착 기법이나 도전성 페이스트의 스프레이 코팅으로 EMI 차폐막을 형성하려는 연구가 수행되고 있다^[1~5]. 증착이나 스프레이 코팅으로 EMI 차폐막을 형성하기 위해서는 우선 회로소자 위에 절연층을 형성한 뒤, 그 절연층 위에 도전성 재료층을 형성하게 된다. 또한, 용도에 따라서는 자성 재료층을 겹쳐 놓기도 한다^[6]. 이 도전성 재료층 혹은 자성 재료층이 EMI 차폐막인 것이다. 이렇게 증착이나 스프레이 코팅으로 형성된 EMI 차폐막은 회로기판으로부터 수십 혹은 수백 마이크로미터(μm) 높이로 대단히 가깝게 형성된다. 따라서 EMI 차폐막이 회로소자의 동작이나 기능에 영향을 미칠 수 있다.

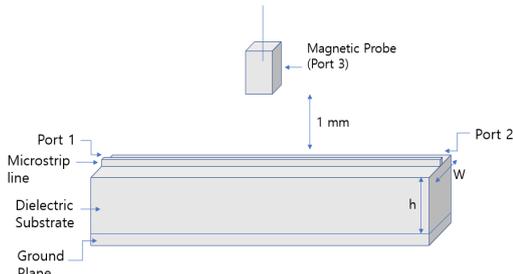


그림 1. 시뮬레이션 구조
Fig. 1. Simulation Structure

포트(port) 1과 포트 2는 각각 신호를 받고 보내는 역할을 하는 부분이다. 두 포트 모두 신호를 송수신하는 마이크로스트립 선로의 양단을 맡고 있다. 포트 3은 포트 1에서 포트 2로 가는 신호 중 외부로 흘러나오는 신호를 포착하기 위한 프로브(Probe) 부분이다. S11, S21, S22, S31의 S파라미터를 사용한다. 그림 1과 같은 회로에서 포트 1과 포트 2 사이 전파는 특별한 방해 없이 통과한다. 또한 포트 1, 2에서 포트 3으로 움직이는 전파, 즉 EMI의 양은 상대적으로 매우 적다. 이는 투과계수인 S21 값이 0 dB에 가까우며, EMI 값을 나타내는 S31은 비교적 작다는 것을 의미한다.

그림 2는 그림 1의 구조를 고주파 시뮬레이터인 HFSS에서 설계하고 S파라미터를 분석한 결과이다. 주파수 범위는 의미가 없다고 판단되는 0 Hz에서 100 MHz의 구간을 제외한 범위인 100 MHz부터 1 GHz까지 시뮬레이션을 진행하였다. 반사계수인 S11과 S22의 오차

는 포트 3인 프로브가 정확히 대칭적 구조가 아니기에 생기는 현상이라 판단된다. 또한 S21은 0 dB와 가깝게 유지되며 고주파 대역으로 갈수록 S31이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

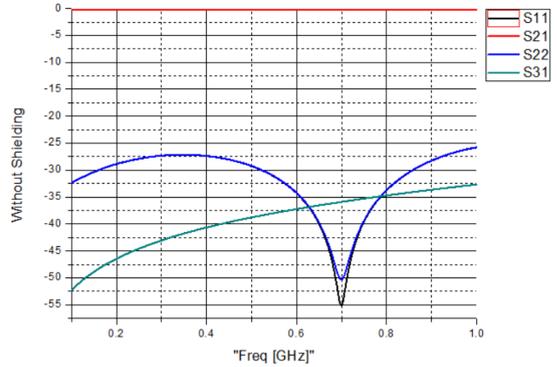


그림 2. 시뮬레이션 결과
Fig. 2. Simulation results

의도하지 않는 값인 S31, 즉 EMI 값을 줄이기 위해 마이크로스트립 선로 위에 차폐막을 씌운다. 차폐막의 영향으로 인해 S31은 감소하지만 차폐막의 종류와 두께에 따라 차이가 있을 것이라 유추할 수 있다. 이를 시뮬레이션을 통해 회로에 어떠한 영향을 끼치는지 확인하고자 한다. 회로에 대한 영향은 S11, S21, S22, S31의 변화로 분석한다. 시뮬레이션을 통해 차폐막의 순서 및 절연층의 두께가 회로에 미치는 영향을 분석하고 실제 적용 결과를 알아보려고 한다.

II. 시뮬레이션을 위한 회로 설계

본 연구를 위해 설계한 마이크로스트립 선로와 프로브는 IEC 61967-6 표준 설계를 따른다. 그림 3(a)에서는 기판과 마이크로스트립 구조를 그림 3(b)에서는 프로브의 구조를 볼 수 있다. 마이크로스트립 선로를 구성한 기판의 크기는 가로 106 mm, 세로 50 mm, 두께 0.59 mm 이다. 마이크로스트립 선로의 크기는 가로 106 mm로 기판의 가로와 같고 세로는 1 mm, 두께는 0.01 mm이다. 프로브의 크기는 가로 10 mm, 세로 30 mm 인 3 층 구조를 가진다. 프로브는 마이크로스트립 선로를 형성한 기판 상부로부터 1 mm 위에 고정하였다. 프로브 및 유전체는 비유전율이 4.4인 FR4로 사용했으며, 전도체 및 프로브의 각 층은 구리(copper)를 사용하였다. 실제 차폐 물질은 다양하지만 시뮬레이션 툴에서 나타낼

수 있는 물질의 한계로 본 논문에서는 페라이트(Ferrite)와 그래파이트(Graphite)를 사용하였다. 페라이트의 비유전율은 12, 비투자율은 1000이며 그래파이트의 전도율은 7×10^3 S/m이다. 또한 절연층으로는 이산화규소를 사용하였다.

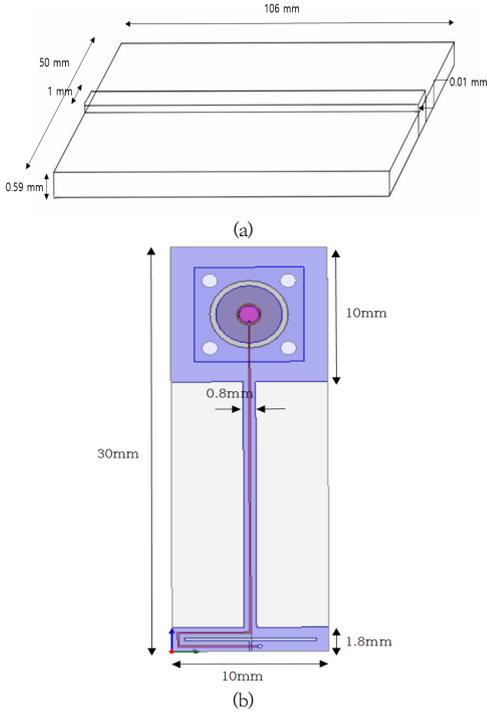


그림 3. 마이크로스트립 선로와 프로브
 Fig. 3. Microstrip-line and probe

그림 4는 시뮬레이터 상에서 구현한 차폐막의 구조이다. 상위 2개 층이 밑에서부터 페라이트-그래파이트순서이면 FG 구조, 그래파이트-페라이트 순서이면 GF구조라고 사용한다. 자성 재료 층으로는 그래파이트와 페라이트를 사용하였다. 또한 자성 재료 층의 증착용 물질로서 절연층 역할을 하는 이산화규소를 사용하였다.

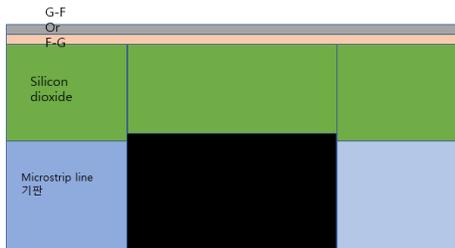


그림 4. 차폐막의 구조
 Fig. 4. A structure of shield layers

주파수의 범위는 100 MHz부터 1 GHz까지로 시뮬레이션을 진행하였다. 각 50 um의 두께로 고정된 FG와 GF의 두 구조를 증착용 물질인 이산화규소의 두께를 100 um부터 800 um까지 100 um 단위로 변경하며 총 16번의 시뮬레이션을 진행하였다. 위 시뮬레이션은 자세한 결과를 위해 HFSS의 시뮬레이션 설정에서 스텝(Step) 값을 약 2200 스텝으로 설정하였다.

III. 결과 및 분석

다음의 그래프는 FG 구조와 GF 구조의 S21 그래프를 나타낸 것이다. 그림 5는 FG 구조의 S21 값을 그래프로 나타낸 것이다. FG 구조는 주파수가 100 ~ 300 MHz 인 구간을 제외한 나머지 주파수 대역에서 그래프의 흔들림이 많다. 그림 5에서 그래프가 심하게 흔들리는 구간은 신뢰하기 힘든 구간이라 판단된다. 따라서 그림 5(b)에는 신뢰구간으로 보이는 100 MHz에서 300 MHz까지의 구간만 따로 확대하여 그래프로 나타내었다.

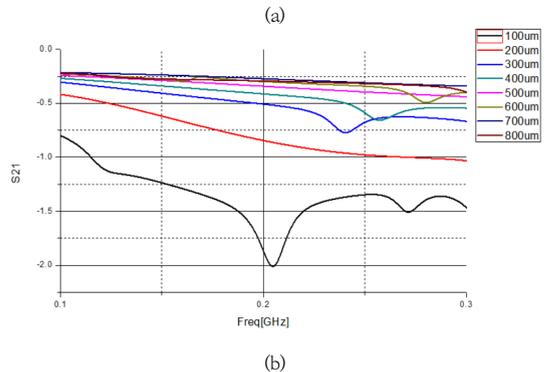
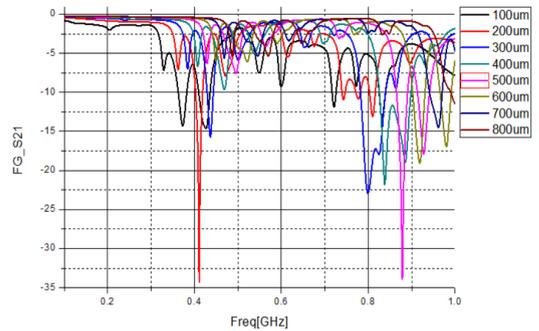


그림 5. FG 구조의 S21 결과
 Fig. 5. S21 Results of FG structure

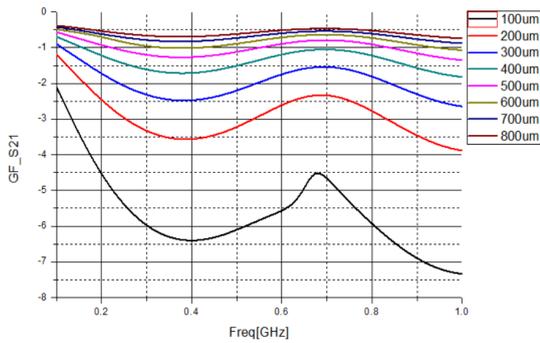
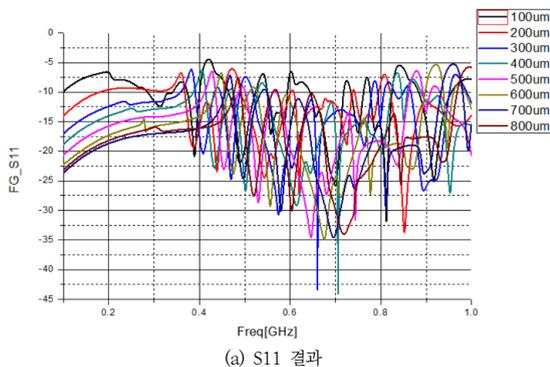


그림 6. GF 구조의 S21 결과
Fig. 6. S21 Results of GF structure

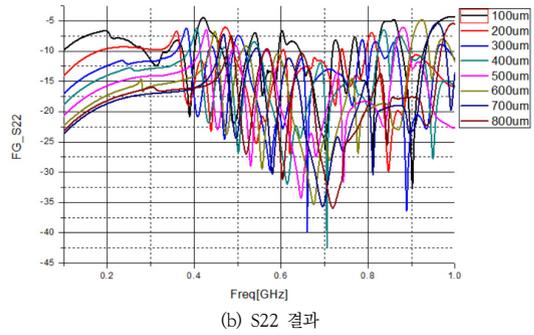
그림 6은 GF 구조의 S21값을 그래프로 나타낸 것이다. GF 구조 그래프의 경우 특정 주파수에서 최하점을 (dip) 갖는 구간을 제외하고는 흔들림 없이 완만한 그래프를 갖는다.

그림 5와 그림 6을 비교해보면 FG 구조는 GF 구조에 비해 안정적이지 못한 그래프를 가진 것으로 보이지만, 신뢰구간 내에서는 FG 구조의 S21 그래프가 GF 구조의 S21 그래프보다 0 dB에 가깝게 위치하고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 FG 구조와 GF 구조 모두 이산화구소의 두께가 얇을수록 S21이 커진다. FG 구조는 이산화구소의 두께가 얇을수록 안정적이지 않은 S21의 구간이 빨리 나타난다.

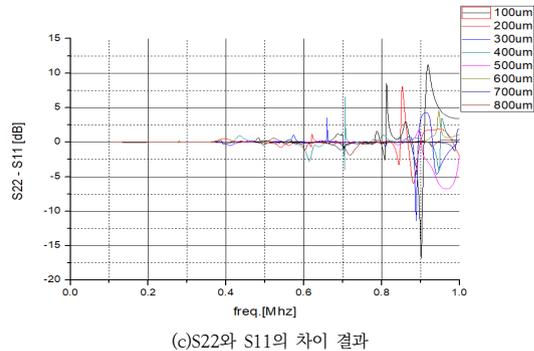
다음은 FG 구조와 GF 구조에서의 S11과 S22값에 대한 그래프들이다. 그림 7은 FG 구조에서의 S11과 S22를 그래프로 나타낸 것이다. 미세한 차이를 확인하기 위해 그림 7(c)로 그래프화 하였다. FG 구조에서의 S11과 S22의 차이를 그래프로 나타내었다.



(a) S11 결과



(b) S22 결과

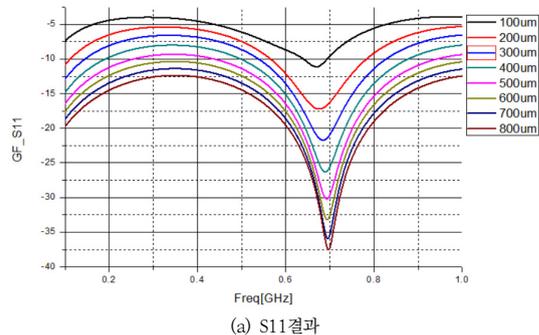


(c) S22와 S11의 차이 결과

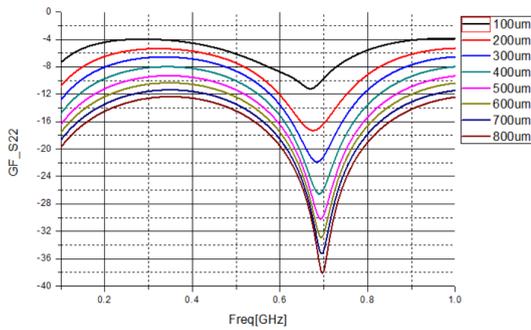
그림 7. FG 구조의 S11과 S22결과
Fig. 7. S11, S22 results of FG structure

그림 7(c)에서 볼 수 있듯이 FG 구조에서 볼 수 있는 특징으로는 절연층의 두께에 따른 차이는 크지 않지만 고주파로 갈수록 S11과 S22의 차이가 커진다는 점이다.

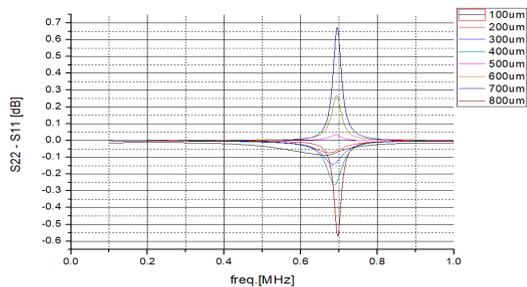
그림 8은 GF 구조에서의 S11과 S22를 그래프로 나타낸 것이다. GF 구조에서는 이산화구소의 두께가 얇아질수록 S11, S22의 값이 점점 증가한다. GF 구조의 S11과 S22의 특징의 미세한 차이를 확인하기 위해 그림 8(c)와 같이 그래프화 하였다.



(a) S11결과



(b) S22 결과



(c) S22와 S11의 차이 결과

그림 8. GF 구조의 S11과 S22결과
 Fig. 8. S11, S22 results of GF structure

그림 8(c)에서 확인해 볼 수 있는 특징으로는 FG 구조에서와 달리 특정 주파수에서만 S11과 S22의 차이가 발생하고 절연층의 두께가 두꺼워 짐에 따라 그 현상이 심화된다는 점이다.

FG 구조와 GF 구조에서 보이는 S11과 S22의 차이는 일반적으로는 나타나지 않아야 한다. 하지만 이 전제는 포트 3이라는 구조가 없을 때 성립한다. 따라서 이 현상은 포트 3인 프로브의 구조가 정확히 대칭적이지 않기 때문에 생기는 현상이라 예상할 수 있다. 차폐성을 분석하기 위해 S31을 통해 SE(Shielding Effectiveness)를 구하였다. SE는 차폐막이 없을 때의 S31의 값과 차폐막이 있을 때의 S31의 값의 차이이다. SE는 차폐의 성능을 나타낸다. 따라서 차폐막이 두꺼울수록 SE의 값은 증가할 것으로 판단된다.

그림 9로 확인할 수 있듯이 FG의 구조에서는 300 ~ 500 MHz에서 명확히 그 패턴과 값의 차이를 확인할 수 있다. 그러나 저주파 혹은 고주파로 갈수록 차폐막의 두께 증가에 따른 SE값의 증가는 확인하기 어렵다. 그림 10의 GF 구조 또한 800 MHz 이상의 고주파 혹은 200 MHz 이하의 저주파로 갔을 때 두께증가에 따른 SE값의 증가를 확인하기 어렵다.

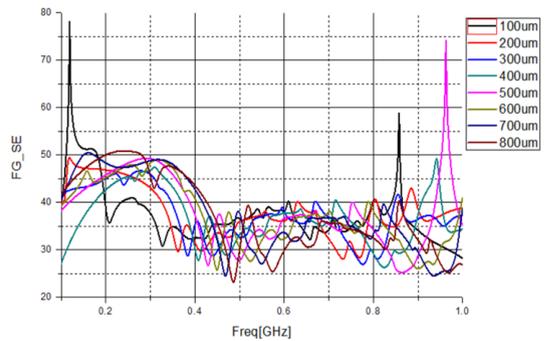


그림 9. FE 구조의 SE 결과
 Fig. 9. SE results of FE structure

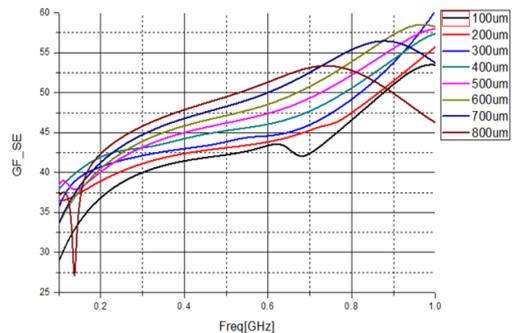


그림 10. GF 구조의 SE결과
 Fig. 10. SE results of GF structure

IV. 결론

S21의 그래프를 통해 확인한 FG 구조는 절연층의 두께가 두꺼워질수록 실제 적용 가능 주파수 대역이 넓어짐을 알 수 있고, 고주파 대역에서 반사되는 양이 증가하여 회로의 기능에 좋지 못한 영향을 준다. 그러나 GF 구조는 절연층의 두께가 두꺼워질수록 손실의 양이 감소하여 회로의 기능이 향상된다. SE 그래프를 통해 확인한 FE구조는 300 ~ 500 MHz의 비교적 저주파 대역에서 차폐막의 높이가 SE 값에 비례하므로 확인할 수 있지만, 그 외의 영역에서는 확인하기 어렵다. 따라서 모든 주파수 대역에서 차폐 성능이 차폐막의 두께에 비례한다고 볼 수 없다. GF 구조는 FG 구조에 비해 비례하는 주파수 대역이 넓다. 200 MHz 이하의 저주파 대역과 800 MHz 이상의 고주파 대역을 제외한 구간에서 차폐막의 높이가 SE의 값에 비례함을 확인할 수 있다.

FG와 GF 구조의 S31값은 평균적으로 -50 ~ -70 dB의 값으로 -10 dB를 넘지 않는 S21과 비교해 10^5 배

의 차이를 보이는 매우 작은 값이므로 S21보다 미미한 영향을 끼친다는 판단을 할 수 있다. 결과적으로 S21이 본 시뮬레이션의 주요한 파라미터 역할을 한다고 할 수 있다. 이산화규소의 두께가 가장 두꺼운 800 um 경우를 기준으로 FG 구조는 100 MHz ~ 300 MHz의 좁은 주파수 대역에서 평균 -1 dB를 보이며 -2 dB의 평균을 보이는 GF 보다 뛰어난 효율을 보인다. GF 구조는 높은 효율을 보이진 못하지만, 넓은 범위에서 흔들리는 FG 구조보다 100 MHz ~ 1 GHz의 주파수 대역에서 -3 dB의 평균적인 성능을 보인다. 즉, FG 구조와 GF 구조는 트레이드-오프(trade-off)의 구조를 갖는다. 따라서 용도에 따라 적절한 구조를 선택해야 한다.

References

- [1] J. Hur, W-H. Lee, "Improvement for Shielding Effectiveness of EMI Shield Layers using Conformal Spray Coating Scheme", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBC), Vol. 18, No. 6, pp. 107-112, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7236/jiibc.2018.18.6.107>
- [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] C. Morari, L. Balan, "Methods for determining shielding effectiveness of materials", Electrotechnics, Vol. 63, No. 2, 2015.
- [4] 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.
DOI: <https://doi.org/10.7236/jiibc.2018.18.4.79>
- [5] J. Hur, W-H Lee, "Analysis for Shielding Effectiveness of EMI Spray Coating Layers in 3D Structure", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBC), Vol. 19, No. 4, pp. 35-39, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.7236/jiibc.2019.19.4.35>
- [6] W-S Lee, W-H Lee, J. Hur, "Analysis for Shielding Effectiveness of Metal Shielding Layer within Near-Field of Noise Source", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 19, No. 3, pp.59-65, Jun. 30, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.7236/jiibc.2019.19.3.59>

저 자 소 개

김 현 우(준회원)



- 2020년 : 건국대학교 전기전자공학부 공학사 졸업예정
- 주관심분야 : 고주파 회로설계, EMI Shield Coating 등

우 진 하(준회원)



- 2020년 : 건국대학교 전기전자공학부 공학사 졸업예정
- 주관심분야 : 안테나 및 마이크로파 회로, EMI Shield Coating 등

장 세 현(준회원)



- 2020년 : 건국대학교 전기전자공학부 공학사 졸업예정
- 주관심분야 : EMI Shield Coating, 무선전력전송 등

장 대 순(정회원)



- 2001년 2월 : 건국대학교 전자공학과 공학사
- 2003년 2월 : 건국대학교 전자정보통신공학과 공학석사
- 2009년 2월 : 건국대학교 전자정보통신공학과 공학박사
- 2009년 2월 ~ 2011년 11월 : (주) 유니스트림 근무
- 2012년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 정보통신공학과 조교수
- 주 관심분야 : 안테나 설계, UWB system, 무선전력전송 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

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, 무선전력전송, EMI Shield Coating 등