

논문 2016-53-8-9

근거리장에서 NFS를 사용한 차폐효율 평가방법에 관한 연구

(A Study on the Evaluation Method of Shielding Effectiveness
using NFS in Near-Field Tests)

박 정 열*, 송 인 채**, 김 부 균**, 김 은 하***

(Jungyeol Park, Inchae Song[Ⓞ], Boo-Gyoun Kim, and Eun-Ha Kim)

요 약

본 논문에서는 근거리장에서 NFS(near field scanning)를 사용한 차폐효율 평가 방법을 통해 CNT(carbon nanotube) 필름의 차폐 특성을 분석하였다. 차폐 특성 평가는 농도 5%와 1mm의 두께를 가지는 CNT 필름과 실제 IC package를 모사한 테스트쿠폰을 사용하여 CNT 필름과 테스트쿠폰과의 거리에 따른 전자파 차폐효율 및 측정 위치에 따른 차폐효율을 측정하였다. 그 결과 근거리장에서 측정된 차폐효율은 주파수에 따라 차폐효율이 달랐다. 테스트쿠폰의 중심에서 측정된 전기장 차폐효율은 fringing effect의 영향을 받는 패턴경계보다 전기장 차폐효율이 좋은 것으로 측정되었다. 이는 근거리장에서 측정된 차폐효율은 주파수뿐만 아니라 CNT 필름과 측정 프로브의 높이, 측정 위치와 같은 측정 환경에 영향을 받는 것을 보여준다. 결론적으로 근거리장에서 제안된 방법을 사용하여 측정된 차폐효율과 ASTM D 4935-10에 의해 측정된 차폐효율은 연관성을 찾기 어렵기 때문에 전장 시스템의 거리 영역에 따라 적절한 측정 방법을 고려하여 측정해야 한다.

Abstract

In this paper, we evaluated shielding effectiveness (SE) of carbon nanotube (CNT) film using near field scanning (NFS) in near field analysis. We adopted CNT film with deposit carbon density of 5% and thickness of 1mm for evaluation of shielding characteristic. Using a test coupon analogized to an actual IC package, we measured SE according to measuring position and SE according to distances between the CNT film and the test coupon. As a result, the measured SE in the near field varied with frequency. Especially, the measured electric field SE in the center of the test coupon is better than that of the measured edge point of the test coupon where it is affected by fringing effect. The results show that the measured SE in the near field is affected not only by frequency but also by measurement environment such as position and height of the probe and height of shielding film. In conclusion, we should choose proper methods for SE measurement considering interference distance in the electronic control system because there is little correlation between the proposed evaluation method in the near field and ASTM D 4935-10.

Keywords : shielding effectiveness, carbon nanotube film, electromagnetic compatibility, near field scanning, near field probe

I. 서 론

최근 자동차 산업의 발달로 인해 기계부품의 사용이 줄어들고, 주변기기로 머물던 전장부품이 핵심부품으로

사용되고 있다. 하지만 과도한 전장부품의 사용은 기계 부품만을 사용할 때보다 자동차 고장 발생률이 증가하는 것으로 독일의 자동차 소비자 조합인 ADAC에서 분석하였다^[1]. 이러한 원인으로는 전장부품의 사용 시에 발생하는 전도성 간섭과 방사성 간섭이 있으며 이로 인한 영향으로 인접 전장부품에 오동작을 야기한다^[2-3]. 일반적으로 전도성 간섭은 노이즈가 민감한 신호선에 노이즈 필터를 설치하여 신호선으로 유입되는 노이즈를 해결할 수 있다^[4]. 한편 방사성 간섭은 시스템 동작주파수를 고려한 접지 배치방법과 신호의 경로를 차동모드로 설계하여 IC 또는 PCB layout에 따라 간섭되는 면

* 학생회원, ** 평생회원, 송실대학교 전자정보공학부
(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

*** 정회원, 자동차부품연구원
(Korea Automotive Technology Institute)

Ⓞ Corresponding Author (E-mail : isong@ssu.ac.kr)

※ 본 연구는 산업통상자원부에서 지원하는 산업기술 혁신사업(No. 10040133)의 일환으로 수행되었음.

Received : October 15, 2015 Revised : July 20, 2016

Accepted : July 28, 2016

적을 최소화하여 전자파 노이즈를 저감시킬 수 있다^[5]. 그러나 방사성 간섭은 전도성 간섭과 달리 회로 또는 보드 수준에서 해결하기에는 한계가 있기 때문에 차폐 물질을 사용하여 전자파 간섭을 해결하고자 하는 연구가 지속되고 있다^[6].

차폐물질로 사용되는 물질로는 반사작용이 좋은 금속 또는 흡수 작용이 좋은 복합재가 있다. 최근 자동차 산업에서는 경량성, 설계의 유연성, 저렴한 비용등과 같은 우수성으로 인하여 금속보다는 복합재 사용을 위한 연구가 진행 되고 있다^[7]. 이러한 복합재는 반도체 패키지의 몰딩으로 사용될 경우 또는 시스템 모듈과 모듈 사이를 격리시키기 위해 사용되는 경우 그 차폐특성을 원거리장과 근거리장으로 구분하여 분석하여야 할 필요가 있다. 하지만 차폐물질의 차폐특성 분석은 원거리장 기반의 측정방법인 ASTM(American Society for Testing and Materials) D 4935-10을 사용한 방법만 국제 표준화 되어 있고, 근거리장에서 표준화된 차폐효율 측정방법은 제시되지 않고 있다.

본 논문에서는 전도성 복합재 중 하나인 CNT(carbon nanotube) 필름을 사용하여 근거리장에서의 차폐효율 평가 방법을 제안하였다. 제안된 평가방법은 국제 표준화 규격인 IEC 61967-3/6에 따라 제작된 Near Field Scanner와 전자기 근거리장 프로브, VNA(vector network analyzer)를 사용하였다^[8-9]. 그리고 근거리장에서 전자파 소스로 사용하기 위해 PCB 상의 IC 패키지를 모사한 테스트쿠포를 제작하여 테스트쿠포와 CNT 필름의 간격에 따른 차폐효율과 측정위치에 따른 차폐효율을 분석하였다. 또한 제안한 근거리장에서의 차폐효율 평가방법으로 측정된 전자파 차폐효율과 원거리장 기반의 ASTM D 4935-10에 의해 측정된 차폐효율을 비교하여 측정 영역에 따른 CNT 필름의 차폐 특성을 분석하였다.

II. 측정 방법

1. ASTM D 4935-10 측정방법

그림 1은 ASTM D 4935-10의 측정환경을 보여준다. 이 측정방법은 자유공간에서 평면파에 대한 차폐효율 측정시험을 위해 전송선로 이론이 적용되었으며, 동축선을 테이퍼형태로 확장하여 제작되었다. 본 실험에서 차폐물질은 농도 5%, 두께 1mm의 polypropylene 합성물인 CNT 필름이 사용되었다. 사용된 CNT 필름의 면저항(sheet resistance)은 위치에 따라 0.5 ~ 27 kΩ/sq

범위의 값을 가졌다. 측정에 사용될 CNT 필름은 표준(reference)시료와 로딩(loading)시료 두 가지가 필요하다. 표준시료로 사용된 내부도체의 형태와 같은 원형 CNT 필름은 capacitive coupling을 유지하기 위한 것으로 표준시료를 부착하지 않고 측정하였을 때는 측정의 정확도가 떨어진다. 부착된 CNT 필름 표면에 수직으로 주 전파모드인 TEM(transverse electromagnetic) 모드가 입사되기 때문에 전자기는 진행파의 수직으로 발생한다. 차폐효율은 식 (1)과 같이 표준시료를 통과하는 신호 세기와 로딩시료를 통과하는 신호의 세기를 측정하여 그 차이를 비교함으로써 얻어진다.

$$SE[dB] = 10 \log(P1/P2) \quad (1)$$

여기서 P1: 표준시료를 통과한 신호의세기,
P2: 로딩시료를 통과한 신호의 세기.

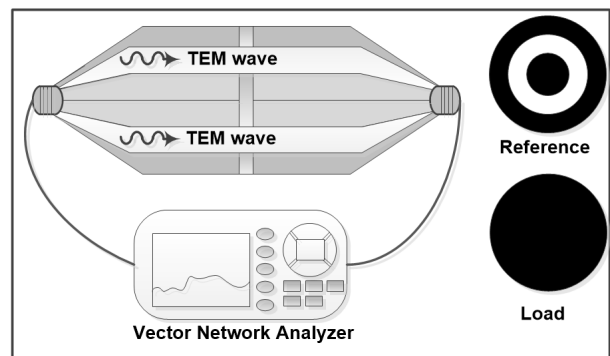


그림 1. ASTM D 4935-10의 측정 환경
Fig. 1. Test environment of ASTM D 4935-10.

그러나 이와 같은 측정 방법은 전도성 복합재인 CNT 필름을 사용한 경우에는 차폐효율 평가 방법으로 적합하지 않다. 면저항이 균일한 금속과 달리 CNT 필름과 같은 복합재는 면저항이 균일하지 않기 때문에 실제 사용할 차폐재의 크기에 따라 차폐효율에 차이가 있을 수 있다. 따라서 CNT 필름은 면적에 맞춰 차폐효율을 측정해야 하지만 Flanged Circular Coaxial Transmission Line Holder는 크기에 따라 동작 주파수 범위가 결정되고, 비용 또한 고가이기 때문에 다양한 크기의 복합재의 차폐효율을 분석하기에는 어려움이 있다.

2. 근거리장에서 제안한 차폐효율 측정 환경

그림 2는 CNT 필름을 사용하여 근거리장에서 차폐효율을 측정하는 환경을 보여준다. 차폐효율 측정을 위해 NFS 및 VNA등의 장비와 실제 PCB패턴을 모사한 테스트쿠포를 사용하였다. CNT 필름의 측정위치를 일

정한 간격으로 유지하기 위해 사용된 NFS는 IC EMI 측정표준 규격인 IEC 61967-3/6에 따라 구성되었으며, 용도에 맞게 계측기를 선택할 수 있는 계측기 제어 모듈과 probe station 제어 모듈 등으로 제작되었다. 또한 근거리장에서는 원거리장과 달리 전자기 방사패턴을 예측하는데 어려움이 있기 때문에 식 (2)와 같이 전기장 세기를 측정할 수 있는 모노폴 타입의 Langer EMV-Technik RF1 Near field E-probe를 사용하였다^[10].

$$|E_{total}| = |E_x^2 + E_y^2 + E_z^2|^{1/2} \quad (2)$$

차폐효율 측정에 사용한 전자파 소스는 실제 IC 패키지 크기를 고려하여 그림 2에 도시된 바와 같이 마이크로 스트립 패치 안테나 형태의 패턴을 테스트쿠폰으로 사용하였다. PCB(FR-4)기판의 윗면에는 마이크로 스트립으로 구성된 패턴이 제작되었으며 기판 밑면은 접지면으로 제작하였다.

전기장 차폐효율에 대한 측정 조건은 테스트쿠폰과 근거리장 프로브의 사이의 거리를 10mm 간격으로 고정시키고, 아크릴을 사용하여 0mm, 2mm, 4mm, 6mm, 8mm로 CNT 필름의 높이를 변화시키면서 측정하였다. 제작된 패치 형태의 테스트쿠폰에서 방사되는 자기장은 전기장에 비해 세기가 미약하기 때문에 전기장 차폐효율이 전체적인 전자파 차폐효율을 결정한다.

주파수 분산 실험은 VNA를 사용하여 50MHz부터 1.5GHz까지 수행하였다. characteristic distance ($\lambda/2\pi$)는 0.031m ~ 0.95m의 범위에 있고, 테스트쿠폰과 근거리장 프로브까지의 거리가 characteristic distance에 비해 매우 작으므로 근거리장에 해당한다. 또한 주변 장비 노이즈로부터 방사되는 전자기의 회절과 반사에 의한 영향을 최소화시키기 위해 CNT 필름 윗면에 10mm 높이의 메탈가드를 사용하였다.

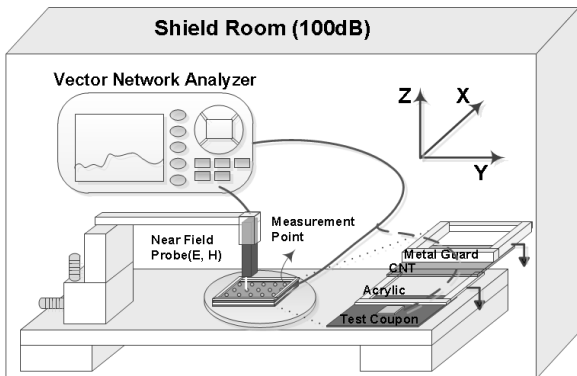


그림 2. 근거리장에서 제안한 차폐효율 측정 환경
Fig. 2. Proposed test environment of shielding effectiveness in the near field.

III. 측정 결과

1. 측정 위치에 따른 전기장 차폐 효율

측정 위치에 따른 CNT 필름의 전기장 차폐특성을 분석하기 위해 CNT 필름의 유무에 따른 전기장 세기를 측정하여 차폐효율을 구했다. 그림 3은 CNT 필름 없이 시뮬레이션을 수행한 전기장 세기를 보여준다. 시뮬레이션 결과는 패턴의 중심에서 전기장의 세기가 가장 크고 주변으로 갈수록 전기장 세기가 작아지는 것을 보여준다. 그림 4는 CNT 필름이 없는 경우 그림 3에 표시된 테스트쿠폰의 측정 위치에서 측정된 전기장 세기(VNA의 S21)를 나타내며 측정 위치에 따른 전기장 세기는 시뮬레이션 결과와 같이 point A에서 가장 큰 값이 측정되었다.

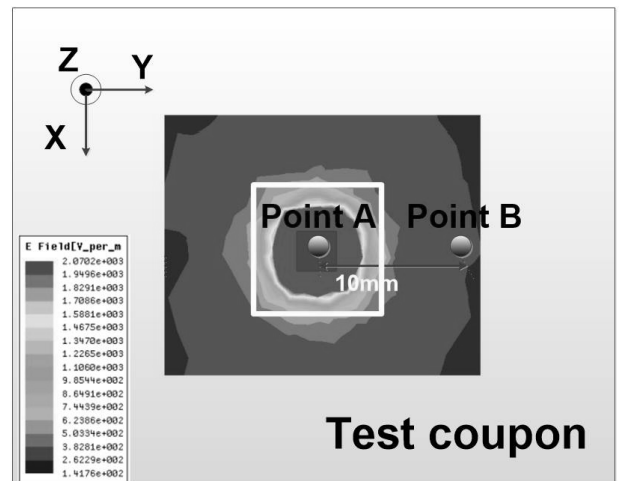


그림 3. CNT 필름이 없는 경우 전기장 시뮬레이션
Fig. 3. Simulated E-field contour without CNT film.

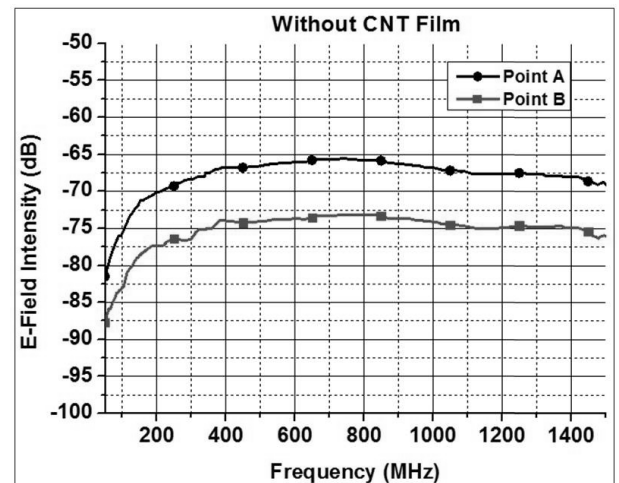


그림 4. CNT 필름이 없는 경우 측정된 전기장 (S21)
Fig. 4. Measured E-field (S21) without CNT film.

그림 5는 CNT 필름을 통과한 후의 전기장 세기 (VNA의 S21)를 보여주며 point A와 point B 사이의 전기장 세기 차이가 그림 4에서 측정된 전기장 세기의 차이에 비해 감소한 것을 볼 수 있다. 측정 프로브의 높이는 테스트쿠폰으로부터 10mm이며 CNT 필름의 높이는 8mm이다. 그림 6은 측정된 전기장 세기에 대하여 식 (3)을 적용하여 얻어진 전기장 차폐효율을 나타낸다.

$$\text{전기장 } SE[dB] = 20 \log(E1/E2) \quad (3)$$

여기서 E1: CNT 필름이 없을 때 전기장 세기,
E2: CNT 필름을 통과 후의 전기장 세기.

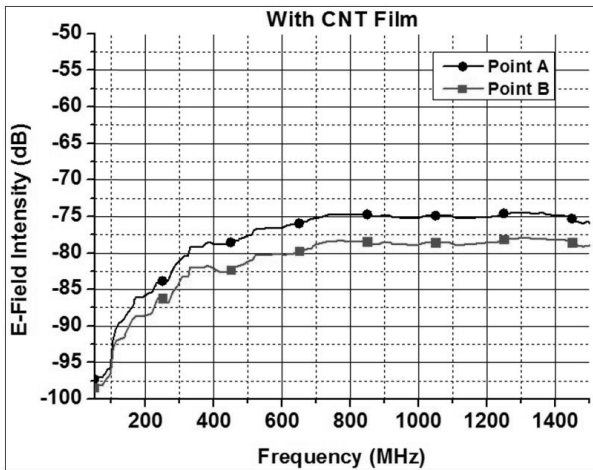


그림 5. CNT 필름이 있는 경우 측정된 전기장 (S21)
Fig. 5. Measured E-field (S21) with CNT film.

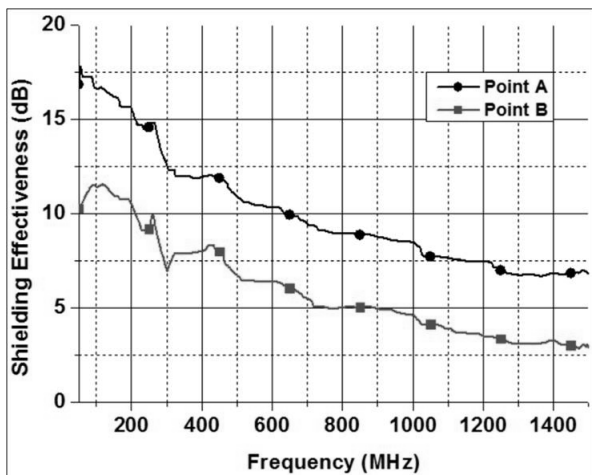


그림 6. 측정 위치에 따른 CNT 필름의 측정된 전기장 차폐효율
Fig. 6. Measured E-field shielding effectiveness according to measured position on CNT film.

그림 7은 차폐재의 전도도를 2 S/m, 비유전율을 10으로 설정하여 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 측정 결

과인 그림 6과 비교해 볼 때 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 차폐재로 사용한 CNT 필름의 면저항은 위치에 따라 다르지만 시뮬레이션 편의상 일정한 값을 사용하였다.

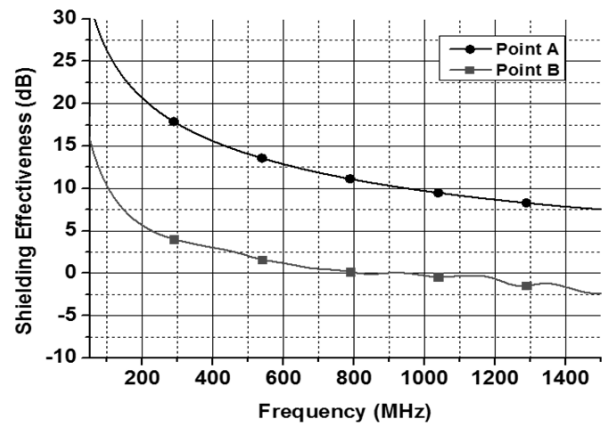
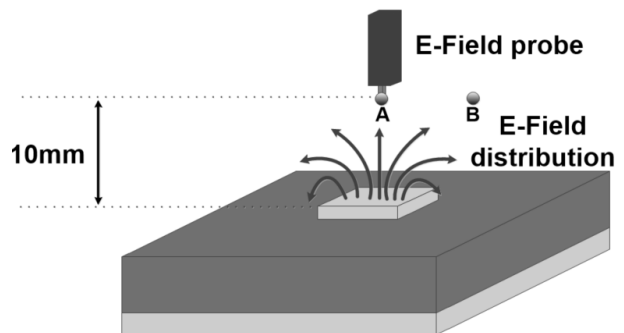
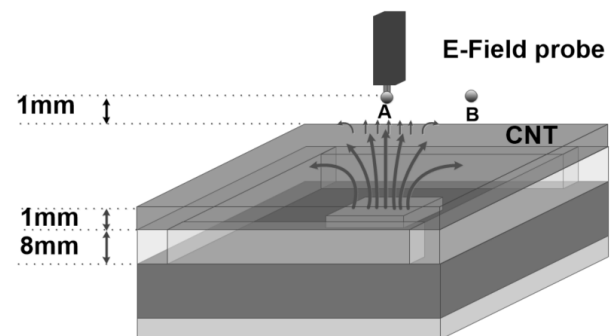


그림 7. 전기장 차폐효율 시뮬레이션
Fig. 7. Simulated E-field shielding effectiveness.



(a) CNT 필름이 없을 때 전기장 분포



(b) CNT 필름을 통과한 전기장 분포

그림 8. CNT 필름 유무에 따른 전기장 분포
Fig. 8. E-field distribution without/with CNT film.

그림 6에서 보이듯이 전기장 차폐효율은 측정 위치에 따라 다르게 측정되었으며 이러한 결과를 분석하기 위해 CNT 필름 유무에 따른 전기장 변화에 대한 해석

을 그림 8(a)와 8(b)에 나타내었다. 그림 8(a)에서와 같이 CNT 필름이 없을 경우 point B에서 fringing effect에 의한 영향으로 인해 전기장의 세기가 감소하지만 CNT 필름이 접지면과 접촉되었을 때는 그림 8(b)와 같이 전기장의 분포가 변화한다. 이는 접지면에 접촉된 CNT 필름의 표면에 유도된 전하 분포에 의해 패턴 경계에서 발생하는 fringing effect의 영향이 완화되고, CNT 필름과 전기장 프로브사이의 거리가 줄어들기 때문에 각각의 측정위치에서 측정되는 전기장 세기의 차이가 줄어드는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 IC 패키지 위에 위치한 CNT 필름의 차폐효율은 가장자리에 서보다 중앙에서 더 좋은 효과를 얻는 것을 알 수 있다.

한편 측정된 차폐효율은 주파수가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 금속에 비해 낮은 전도성을 갖는 CNT 필름은 주파수가 증가함에 따라 dielectric relaxation에 의해 CNT 필름에 유도되는 커패시턴스가 감소하여 패턴으로부터 방사되는 전기장을 제대로 차폐하지 못하고 투과하는 것으로 해석 할 수 있다^[11].

2. CNT 필름의 높이에 따른 전기장 차폐 효율

앞에서 언급한 것처럼 전기장의 크기와 방향은 거리에 따라 변하므로 CNT 필름이 위치한 높이에 따라 전기장 차폐효율이 변하게 된다. 따라서 패턴으로부터 방사되는 전기장이 CNT 필름을 투과한 후의 차폐효율을 분석하기 위해 테스트쿠폰과 CNT 필름의 거리를 0mm부터 8mm까지 변화시키며 전기장 차폐효율을 측정하였다. 측정 위치는 전기장의 세기가 CNT 필름을 투과했을 때 fringing effect의 영향을 최소화하기 위해 테스트쿠폰의 중심에서 측정 하였다.

그림 9에 보이는 바와 같이 CNT 필름의 높이가 증가할수록 차폐효율이 증가하는 경향을 보인다. 이는 제작된 패치 형태의 테스트쿠폰에서 생성되는 전기장은 z축 성분이 지배적이기 때문에 나타나는 현상으로 이해 할 수 있다.

3. 측정 결과 비교

그림 10은 ASTM D 4935-10의 방법을 사용한 CNT 필름의 차폐효율 측정 결과를 보여준다. 원거리장 기반의 ASTM D 4935-10의 차폐효율은 평면파에 대한 전체 흡수손실과 반사손실의 합으로 나타내어진다. 반면에 근거리장에 관한 본 연구에서는 특정한 위치에 대해 CNT 필름 유무에 따라 전기장 차이를 검출하게 되어

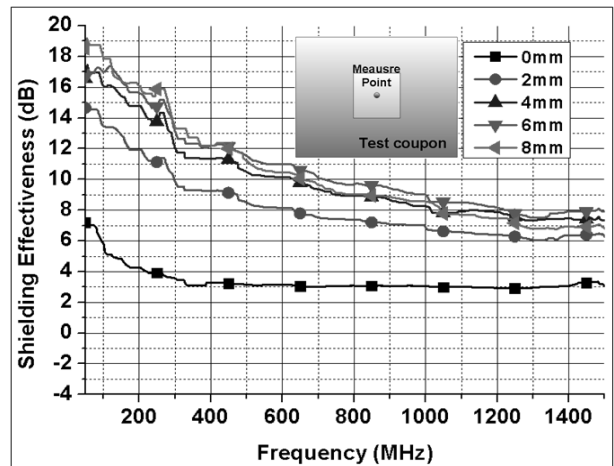


그림 9. CNT 필름 높이에 따라 측정된 전기장 차폐효율
Fig. 9. Measured E-field shielding effectiveness according to height of CNT film.

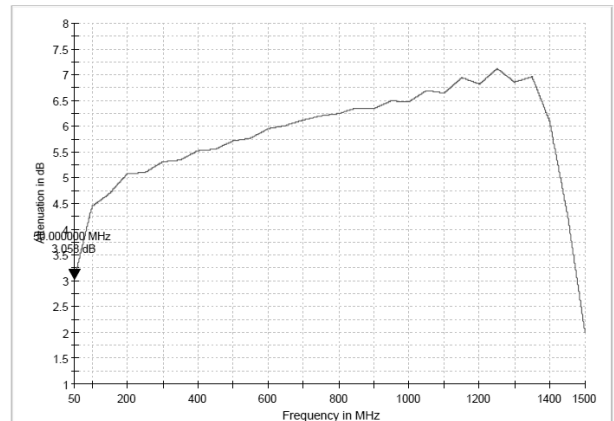


그림 10. ASTM D 4935-10을 사용하여 측정된 차폐효율
Fig. 10. Measured shielding effectiveness using ASTM D 4935-10.

측정 위치와 측정 높이에 따라 전자파 차폐효율이 변하는 것을 볼 수 있었다. 그림 6과 그림 10을 비교하여 보면 근거리장의 전자파 차폐 특성이 평면파 기반의 원거리장의 전자파 차폐 특성과 연관 관계가 거의 없음을 볼 수 있다.

측정 결과를 통해 근거리장에서 차폐효율 측정방법은 ASTM D 4935-10과 달리 전자파 소스로부터 방사되는 전자파의 형태가 차폐물질을 통과한 전·후에 따라 다르기 때문에 근거리장에서 차폐효율을 측정하기 위해서는 전자파 소스의 규격과 측정 높이가 중요함을 알 수 있고, 전도성이 낮은 차폐물질은 주파수가 증가함에 따라 전기장 차폐특성이 좋지 않음을 확인 할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 근거리장에서 전도성 복합재인 CNT

필름의 차폐특성을 분석하기 위해 제안한 차폐효율 측정방법을 사용하여 전자파 차폐효율을 분석하였다. 금속에 비해 낮은 전도성을 갖는 CNT 필름은 dielectric relaxation의 영향으로 주파수에 따라 차폐효율이 변하는 것을 볼 수 있었다.

측정 환경적 요소에 따른 CNT 필름의 차폐특성은 측정위치와 CNT 필름의 높이에 따라 fringing effect의 영향으로 전자파 차폐효율이 다르게 측정 되었으며, 이는 근거리장에서 측정된 차폐효율이 전자파 소스의 규격과 측정 높이에 따라 의존성을 보이는 것을 알 수 있었다. 이러한 측정 결과는 기존의 표준화된 차폐특성 평가 방법인 ASTM D 4935-10의 차폐효율이 근거리장 차폐효율과 연관성을 찾기 어렵기 때문에 전장 시스템에서 전자기 간섭이 일어나는 부품 사이의 거리 영역을 고려하여 사용될 측정 방법을 선택해야 함을 보여준다.

헌정의 글

이 논문을 본 연구에 함께하셨던 고 위재경 교수님 영전에 바칩니다.

REFERENCES

- [1] G. Zarri, F. Colucci, F. Dupuis, R. Mariani, M. Pasquariello, G. Risaliti, and C. Tibaldi, "On the verification of automotive protocols," IEEE Proceedings of Design, Automation and Test in Europe, vol. 2, p. 6, March 2006.
- [2] S. Yamamoto and O. Ozeki, "RF conducted noise measurements of automotive electrical and electronic devices using artificial network," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. VT-32, no. 4, pp. 247-253, November 1983.
- [3] T. C. Lim, "Automotive panel noise contribution modeling based on finite element and measured structural-acoustic spectra," Applied acoustics, vol. 60, pp. 505-519, August 2000.
- [4] S. Wang, F. C. Lee, and W. G. Odendaal, "Cancellation of capacitor parasitic parameters for noise reduction application," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 21, no. 4, pp. 1125-1132, July 2006.
- [5] A. Bhargava, D. Pommerenke, K. W. Kam, F. Centola, and C. W. Lam, "DC-DC buck converter EMI reduction using PCB layout modification," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 53, no. 3, pp. 806-813, August

- 2011.
- [6] W. Prietsch and D. Rehder, "Preparation and vanadium-51 NMR characteristics of oxovanadium (V) compounds. Relation between metal shielding and ligand electronegativity," Inorganic Chemistry, vol. 24, pp. 3058-3062, September 1984.
- [7] X. Luo and D. D. L. Chung, "Electromagnetic interference shielding using continuous carbon-fiber carbon-matrix and polymer-matrix composites," Composites Part B: Engineering, vol. 30, pp. 227-231, April 1999.
- [8] IEC 61967-3, "Integrated circuits - Measurement of electromagnetic emissions, Part 3: Measurement of radiated emissions-surface scan method," 2nd Edition, August 2014.
- [9] IEC 61967-6, "Integrated circuits-Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz - 1 GHz-Part 6: Measurement of conducted emissions-Magnetic probe method," 1st Edition, December 2008.
- [10] <http://www.emcdir.com/menu/pdf/LP1-TEIL4e.pdf>
- [11] J.-K. Wee, Y.-J. Park, H.-S. Min, D.-H. Cho, M.-H. Seung, and H.-S. Park, "Modeling the substrate effect in interconnect line characteristics of high-speed VLSI circuits," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 46, no. 10, pp. 1436-1443, October 1998.

저 자 소 개



박 정 열(학생회원)
 2012년 전북대학교 전자공학과 학사 졸업.
 2014년~현재 숭실대학교 전자공학과 석사과정.
 <주관심분야: 집적회로, EMC>

김 부 균(평생회원)
 2016년 6월 전자공학회 논문지 제53권 제6호 참조



송 인 채(평생회원)
 1981년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1984년 U.C.L.A Electrical Engineering 석사 졸업.
 1991년 U.C.L.A Electrical Engineering 박사 졸업.
 1985년~1992년 Hughes Aircraft Company, Staff Engineer.
 1992년~현재 숭실대학교 전자정보공학부 교수.
 <주관심분야: 반도체소자, 집적회로>



김 은 하(정회원)
 1993년 서울과학기술대학교 전자공학과 학사 졸업.
 2004년 충남대학교 전파공학과 석사 졸업.
 2008년~현재 충남대학교 전파공학과 박사과정.
 1990년~1993년 국가기술표준원 연구원.
 1994년~1996년 마마 연구원.
 1996년~현재 자동차부품연구원 전자기파연구센터장.
 2007년~현재 CISPR D 분과, ISO TC22 SC3 전문위원.
 <주관심분야: 초고주파회로설계, EMI/EMC>