

마이크로스트립 라인에서 유한요소법을 이용한 전도노이즈 흡수체의 성능해석

김선태 · 김선흥 · 김성수*

충북대학교 신소재공학과, 충북 청주시 흥덕구 개신동 산12, 361-763

(2007년 11월 14일 받음, 2007년 12월 18일 최종수정본 받음)

전자기적 해석 시뮬레이션 프로그램인 유한요소 방식의 HFSS(High Frequency Structure Simulation)를 사용하여, 전도 노이즈 흡수 sheet의 흡수특성을 해석하고 그 결과 값을 실측값과 비교함으로써 해석방법의 타당성을 검토하였다. 마이크로스트립 선로는 $S_{11} \approx -30$ dB, $S_{21} = 0$ dB의 반사/투과 특성을 보여 전도 노이즈 흡수율을 측정에 이상적인 전송특성을 보였다. 순철 압분체-고무 복합체 sheet의 복소비투자율과 복소비유전율을 입력하여 노이즈 흡수율을 계산한 결과 실측치와 비교적 잘 일치하는 해석결과를 얻었다. 주파수, 흡수재의 크기(특히 선로를 덮는 길이)에 따라 노이즈 흡수율은 현저한 변화를 보였으며, 이는 재료의 손실 특성과 밀접히 연관되어 있음을 제시하였다. 이러한 해석방법은 다양한 조성 및 크기의 전도 노이즈 흡수체의 설계에 유용히 사용될 수 있음을 제안할 수 있다.

주제어 : 전도 노이즈 감쇠, 전력 손실, 압분체, 마이크로스트립 선로, 노이즈 흡수

I. 서 론

오늘날 정보통신 산업의 비약적인 발전은 디지털 회로기술에 의한 정보처리 속도의 고속화(고주파화)와 IC 기술에 의한 고집적화(소형화 및 모바일화)로 특징지어진다. 이와 같은 고속화, 고밀도 디지털 회로기술은 휴대전화, 무선 LAN, 모바일 단말기, 디지털 통신 등에 확대되고 있으며, 대부분 GHz 대의 고주파를 이용한다.

PCB 배선에서의 cross-talk는 인접한 기판 패턴(마이크로스트립 전송선로) 간의 상호인더턴스 또는 상호커패시턴스의 결합에 의해 발생한다. Cross-talk을 방지하기 위해 사용되는 대책으로 기판 패턴의 특성 임피던스를 낮추는 방법, 기판 패턴에 종단저항을 접속하는 방법 등이 있으나, 근본적으로 회로설계의 가변 폭이 줄어든다는 문제점이 있다[1]. 이러한 문제를 해결하는 방법으로 마이크로스트립 선로 위에 노이즈 감쇠특성이 우수한 자성 후막을 장착하는 방법이 제안되고 있다[2, 3]. 전류가 흐르는 배선 주위의 전자계 분포는 주로 자계이기 때문에, 고손실 자성체의 삽입 또는 도포에 의해 전도노이즈를 감쇄시키는 방식이다. 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 새로운 노이즈 대책 재료로서 매우 얇은 편상형의 금속 연자성 분말을 유기고분자에 배열시킨 복합 자성체와 고손실 연자성 박막이 제안되고 있다[4-7].

마이크로스트립 선로 위에 자성손실재를 장착한 후 반사계수(S_{11})와 투과계수(S_{21})를 측정함으로써 노이즈 흡수율을 평가한다. 노이즈 흡수율에 관련된 인자에는 재료 파라미터(자성 및 유전 손실), 흡수재의 크기 및 두께, 주파수 등 변수가

많기 때문에 실험적으로 이를 확인하는 데는 시간과 노력이 많이 듈다. 본 연구에서는 전자기적 해석 시뮬레이션 프로그램인 유한요소 방식의 HFSS(High Frequency Structure Simulation)를 사용하여, 전도노이즈 흡수 sheet의 흡수특성을 해석하고 그 결과 값을 실측값과 비교함으로써 해석방법의 타당성을 검토하였다.

II. 마이크로스트립 라인 및 유한요소 해석

전도노이즈 흡수 sheet의 성능해석을 위해 유한요소 방식의 HFSS 9.0 tool을 사용하였다. Fig. 1은 실측에 쓰인 50Ω 특성임피던스의 microstrip line과 노이즈 흡수 sheet의 치수 및 재질이 동일하게 디자인된 3차원 해석모델이다. 폭 100 mm, 길이 79.5 mm, 두께 1.28 mm인 유전체 PCB 위에 폭 2.24 mm, 길이 79.5 mm의 신호 선을 설계하였으며, 50Ω 의 특성임피던스를 입력하였다. 이렇게 설계된 마이크로스트립

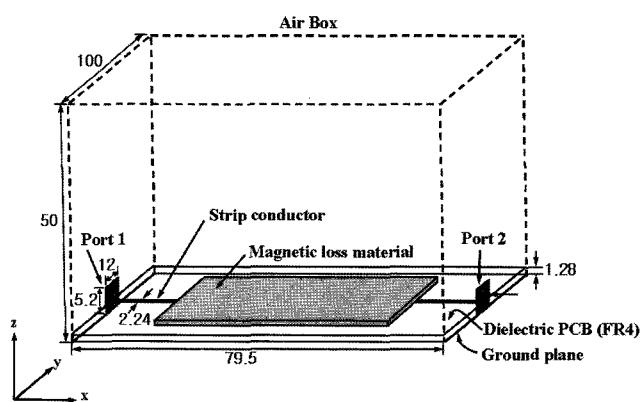


Fig. 1. Microstrip line model for FEM analysis.

*Tel: (043) 261-2418, E-mail: sskim@chungbuk.ac.kr

Table I. Material parameters used for microstrip model.

	PCB (FR4)	Strip conductor	Ground plane	Air box
Relative permittivity	4.8	1	1	1
Relative permeability	1	1	1	1
Conductivity (siemens/m)	0	5.8×10^7	5.8×10^7	0
Dielectric loss tangent	0	0	0	0
Magnetic loss tangent	0	0	0	0

선로 중앙에 노이즈 흡수 sheet를 부착하였다.

누설되는 전자파의 영향과 방사패턴을 고려하여 폭 100 mm, 높이 50 mm로 air box를 그려 넣었다. Air box의 크기가 너무 작으면 해석 범위가 좁기 때문에 정확한 해석이 곤란하며, 너무 클 경우 해석결과에는 영향이 없지만 해석 시간이 오래 걸린다는 단점을 가지고 있다. 이러한 모델을 구성하는 개체들의 재질 값으로 Table I과 같이 투자율 실수, 투자율 손실, 유전율 실수, 유전율 손실 값과 전기전도도 등을 주파수에 따라 입력하였다.

포트의 설정은 마이크로스트립 선로의 포트 인가법을 사용하여, 아래로는 ground 윗단까지, 위로는 기판 높이의 4배인 5.2 mm, 좌우측으로 선로 폭의 5배인 12 mm의 사각형 모양의 2차원 포트를 설정하여 양 끝단에 각각 배치하였다. 두 개의 포트에서 평면파가 방출된 후 그 전자파가 입사된 위치의 단면 구조와 수직 길이에 의해 특정 mode(quasi-TEM mode)로 자동 수렴하게 하였다.

구조물을 적당한 단위로 쪼개어 각 단위마다 maxwell 방정식을 풀게 되는데, 이러한 하나하나의 maxwell 방정식 해석구역을 mesh라 한다. mesh의 설정은 추출되는 모든 S-parameter 성분을 크기, 위상, 포트 별로 세분화하고 그것을 평준화한 기준 값의 차이에 따라 자동 분할된다. frequency sweep 조건으로 하나하나의 주파수대역에서 오류범위 0.02 % 이내의 정확한 값을 도출하기 위하여 discrete 기능을 사용하여 해석하였다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 2는 실측과 시뮬레이션된 microstrip line 특성을 비교 한 것이다. 실측용 microstrip line의 S_{11} 은 -60 dB로 반사가 0에 가깝고, S_{21} 은 0 dB로 100 % 투과되는 특성을 가진다. 시뮬레이션된 microstrip line의 S_{11} 은 -30 dB로 0.1 % 반사, S_{21} 은 0 dB로 100 % 투과되는 해석 결과를 얻을 수 있었다.

해석에 사용된 노이즈 흡수 sheet는 순철 압분체를 고무 매트릭스에 배열시킨 복합재이다. 평균입도 10 μm 의 순철 분말을 micro-forging하여 편상화 하였으며, 이를 고무와 배합한 복합재 sheet를 제작하였다. 편상화에 의해 와전류손실을

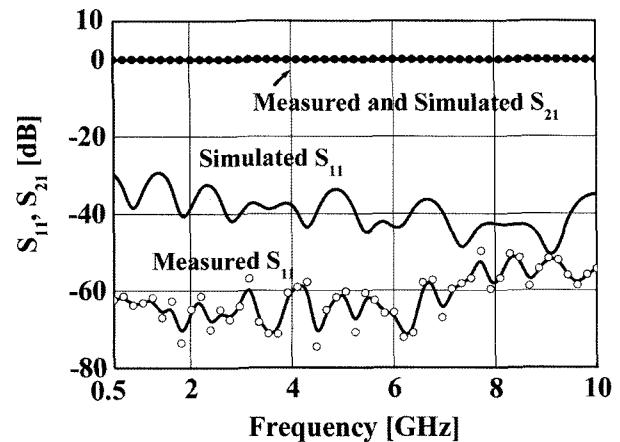


Fig. 2. S_{11} and S_{21} parameters measured and simulated in microstrip line.

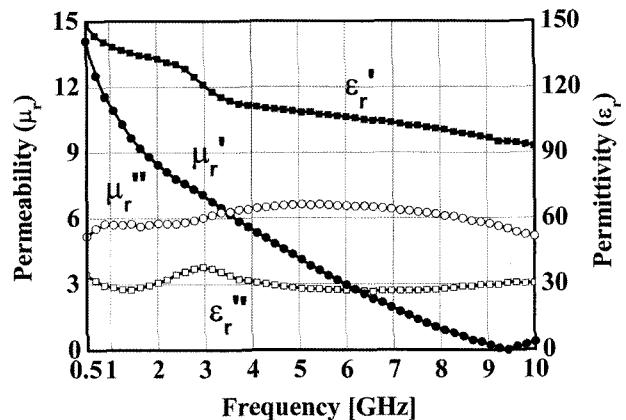


Fig. 3. Frequency dispersion of complex permittivity and complex permeability of iron flakes-rubber composites.

최소화할 수 있으며, 따라서 RF 대역에서 높은 투자율을 얻을 수 있다[8]. 투과/반사법에 의해 복소비투자율($\mu_r = \mu'_r - j\mu''_r$), 복소비유전율($\epsilon_r = \epsilon'_r - j\epsilon''_r$)을 측정하였으며, 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 높은 자기손실($\mu''_r \approx 6$)과 높은 유전손실($\epsilon''_r \approx 30$)을 보여준다.

Fig. 4는 흡수 sheet의 폭을 50 mm로 고정하고 선로를 덮는 길이를 10~50 mm로 변화시켰을 때 계산된 S_{11} , S_{21} 이다. Fig. 4(a)에서와 같이 sheet의 길이에 따라 S_{11} 은 그다지 큰 차이를 보이지 않으나, 장착 전의 -30 dB에 비해 장착 후 평균 -10 dB 수준으로 S_{11} 값이 크게 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 투자율 및 유전율이 큰 sheet 장착에 의해 선로의 특성 임피던스가 50Ω 으로부터 벗어난 것에 기인한다. 그러나 -10 dB의 S_{11} 은 10 % 정도의 반사전력에 해당하는 값이기 때문에 전송선로를 통해 전파하는 신호전력은 입사전력의 90 %에 달함을 알 수 있다.

반면 S_{21} 은 Fig. 4(b)에서와 같이 주파수와 선로를 덮는 길

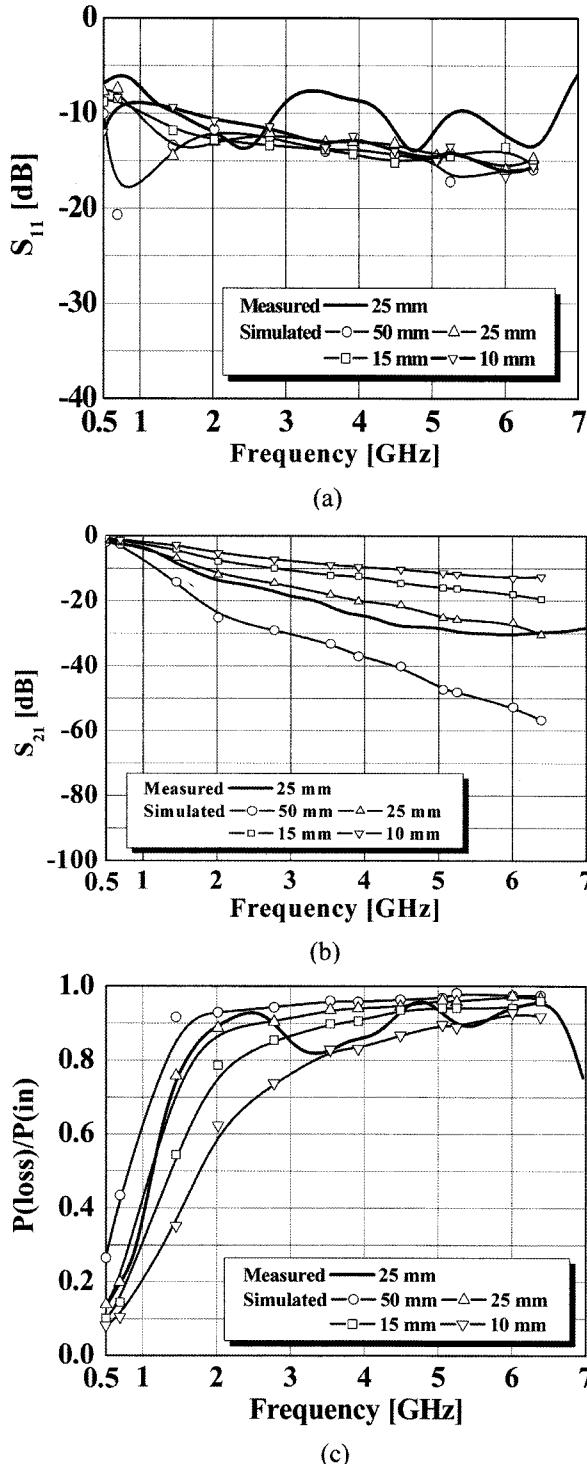


Fig. 4. S Parameters and power absorption simulated with variation sheet length (10~50 mm): (a) S_{11} , (b) S_{21} , (c) Power absorption.

이에 따라 현저히 감소함을 볼 수 있다. 0.5~5 GHz 대역에서는 주파수가 증가함에 따라 S_{21} 은 점차적으로 감소하고, 5 GHz 이상의 대역에서는 일정한 값에 수렴함을 볼 수 있다. 또한 S_{21} 은 선로를 덮는 길이에 비례하여 현저히 줄어든다. 6

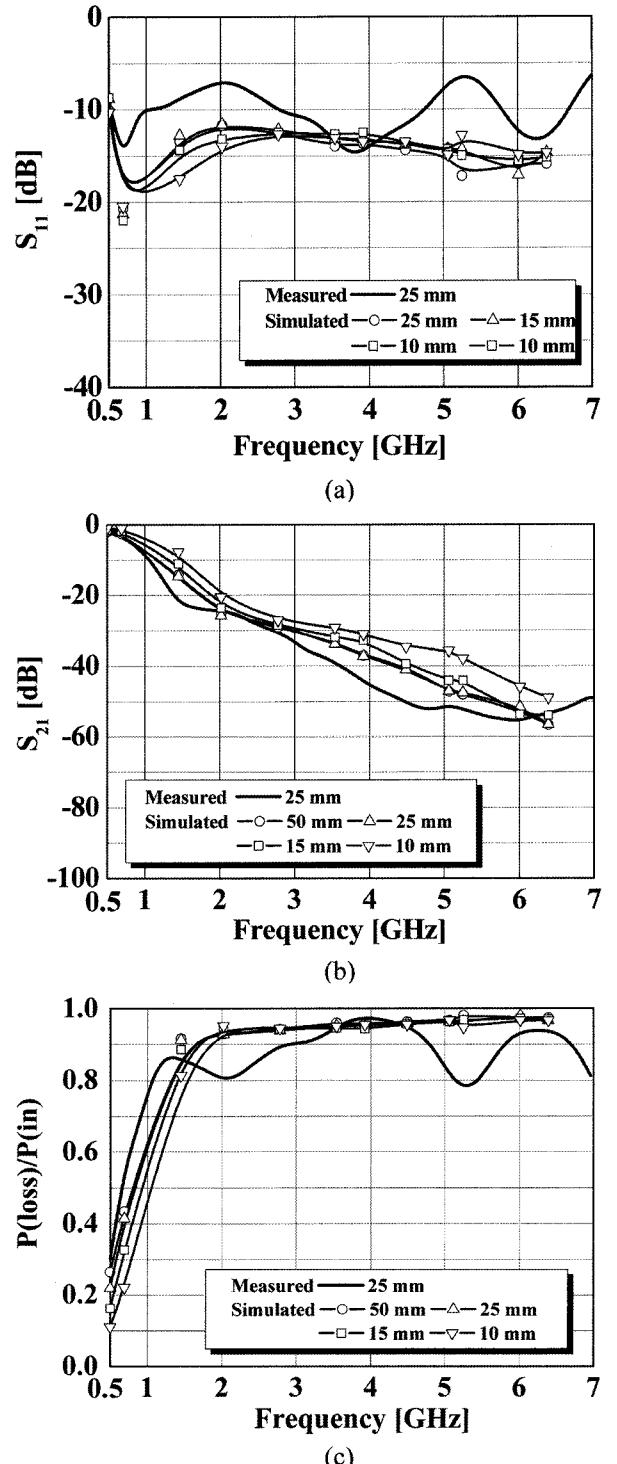


Fig. 5. S Parameters and power absorption simulated with variation sheet width (10~50 mm): (a) S_{11} , (b) S_{21} , (c) Power absorption.

GHz에서 10 mm 일 때 $S_{21} = -15 \text{ dB}$ 로부터 50 mm일 때 최대 $S_{21} = -60 \text{ dB}$ 수준까지 감소한다.

흡수 sheet 장착에 의한 전력흡수율(Power Absorption: PA)은 입사전력(P_{in})에 대한 흡수전력(P_{loss})의 비로 정의되고

다음 식으로 주어진다.

$$PA = 1 - (|S_{21}|^2 + |S_{11}|^2) \quad (1)$$

Fig. 4(c)는 sheet의 길이에 따른 전력 흡수율을 주파수의 함수로 나타낸 것이다. 0.5~2 GHz 대역에서 전력 흡수율은 주파수 증가에 따라 증가하고, 2~7 GHz 대역에서는 90 % 이상의 일정한 전력 흡수율로 수렴함을 볼 수 있다. sheet 길이의 증가에 따라 전력 흡수율은 현저히 증가하고, 계산치는 실측치와 거의 일치하는 값을 보인다.

Fig. 5는 선로를 덮는 sheet의 길이를 50 mm로 고정하고 sheet의 폭을 10~100 mm 범위에서 변화시켰을 때 측정된 S_{11} , S_{21} 이다. S_{11} 은 sheet의 폭에 따라 큰 차이를 보이지 않는다. S_{21} 은 폭의 증가에 따라 약간 감소하는 경향을 보이나 sheet의 길이에 비해 그 영향은 미미하다. 특히 25 mm 이상의 폭에서는 S_{21} 의 변화가 거의 없다. Fig 5(c)는 노이즈 흡수율이다. 동일한 반사손실과 투과손실로 인하여 흡수율은 0.5~6 GHz에 걸쳐 비슷한 것을 볼 수 있으며, 0.5~2 GHz 대역에서 급격하게 증가하여 2~6 GHz 대역에서 약 90 %의 흡수율을 보였다.

IV. 결 론

고주파 회로에서 발생하는 전도 노이즈의 흡수율을 해석하는 방안의 하나로 마이크로스트립 선로를 모델링 하였으며, 유한요소법을 적용한 전자기 시뮬레이션 툴을 사용하여 순찰 압분체로 구성되는 전도노이즈 흡수 sheet의 성능을 해석하였다. 마이크로스트립 선로는 $S_{11} \approx -30$ dB, $S_{21} = 0$ dB의 반사·투과 특성을 보여 전도 노이즈 흡수율 측정에 이상적인 전송 특성을 보였다. 순찰 압분체-고무 복합체 sheet의 복소비투자

율과 복소비유전율을 입력하여 노이즈 흡수율을 계산한 결과 실측치와 비교적 잘 일치하는 해석결과를 얻었다. 주파수, 흡수재의 크기(특히 선로를 덮는 길이)에 따라 노이즈 흡수율은 현저한 변화를 보였으며, 이는 재료의 손실 특성과 밀접히 연관되어 있음을 제시하였다. 이러한 해석방법은 다양한 조성 및 크기의 전도 노이즈 흡수체 설계에 유용히 사용될 수 있음을 제안할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

- [1] 山崎 弘郎, 디지털 회로의 EMC, Ohm사 (2002).
- [2] S. Yoshida, M. Sato, E. Sugawara, and Y. Shimada, J. Appl. Phys., **85**, 4636 (1999).
- [3] O. Hashimoto, Y. Takase, and S. Haga, Trans. IEICE Japan, J86-B (1), 113 (2003).
- [4] M. Matsumoto and Y. Miyata, IEEE Trans. Mag., **33**, 4459 (1994).
- [5] K. H. Kim, M. Yamaguchi, K. I. Arai, H. Nagura, and S. Ohnuma, J. Appl. Phys., **93**, 8002 (2003).
- [6] H. Karamon, T. Matsumoto, and Y. Makino, J. Appl. Phys., **57**, 3527 (1985).
- [7] S. Ohnuma, H. J. Lee, N. Kobayashi, H. Fujimori, and T. Masumoto, IEEE Trans. Magn., **37**, 2251 (2001).
- [8] S.-S. Kim, S.-T. Kim, Y.-C. Yoon, and K.-S. Lee, J. Appl. Phys., **97**, 10F905 (2005).

FEM Analysis of Conduction Noise Absorbers in Microstrip Line

Sun-Tae Kim, Sun Hong Kim, and Sung-Soo Kim*

Department of Advanced Materials Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

(Received 14 November 2007, in final form 18 December 2007)

Conduction noise attenuation by composite sheets of high magnetic and dielectric loss has been analyzed by using electromagnetic field simulator which employs finite element method. The simulation model consists of microstrip line with planar input/output ports and noise absorbers (magnetic composite sheets containing iron flake particles as absorbent fillers). Reflection and transmission parameters (S_{11} and S_{21}) and power loss are calculated as a function of frequency with variation of sheet size and thickness. The simulated value is in good agreement with measured one and it is demonstrated that the proposed simulation technique can be effectively used in the design and characterization of noise absorbing materials in the RF transmission lines.

Keywords : conduction noise attenuation, power loss, flake particle, microstrip line, noise absorbing