

EMC 관련 최근 기술 동향

PCB에서의 자기장 측정용 미소 프로브의 설계방법

송태승 · 조원서
산업기술시험원 전자파팀

I. 서 론

디지털 기술 및 반도체 기술의 발달로 인해 전자 기기의 경량화, 소형화 및 고집적화를 이룩하였으며, 일상생활에서 고속의 전기·전자기기의 대량 사용을 가능하게 하였다. 반면에 고속화 및 소형화와 같은 향상된 기능과는 달리 기기의 동작과정에서 원치 않는 전자파가 발생하여 다른 기기의 오동작을 유발시킴으로서, 이에 대한 폐해는 일반 소비자 생활에서부터 교통, 통신, 군수, 항공 등 산업 전반에 걸쳐 심각한 문제가 되고 있다. 이에 대한 문제의 심각성을 고려하여, 미국, 일본, 유럽 등에서는 강제화된 법령으로 전자파 장애(Electro-Magnetic Interference; EMI)를 규제하고 있으며, 국내에서도 전파법에 의한 정보통신기기에 대한 EMI 규제, 전기용품안전관리법에 의한 전기용품에 대한 EMI 규제, 약사법에 의한 의료기기에 대한 규제 등 여러 분야의 전기·전자기기에 대하여 전자파 장애문제를 엄격하게 규제하고 있다. 최근에는 중국을 비롯한 아시아권의 여러 나라에서도 자국으로 수입되는 제품들에 대해 EMI 문제를 규제하고 있으므로, 전세계적으로 EMI 문제가 심각하게 고려되고 있는 상황이다.

일반적으로 전자기기는 전자부품이 PCB 위에 실장되는 형태로 구성되어 있다. 최근 경박단소(輕薄短小)의 경향에 따라 실장밀도는 더욱 높아지고 있으며, 여기서 동일 기판내의 전자회로 상호간의 간

섭이 증가하여 회로의 오동작이 빈번히 발생하고, 전자파 장애(EMI) 시험에서 부적합되고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전자파 차폐 및 흡수재의 개발이 활발히 진행되고 있으며, 실제로 이들은 PCB 상에서 전자파의 방사를 감소시키도록 적절한 위치에 탑재되어야 한다. 하지만 현재까지 PCB의 어느 부분에서 전자파가 가장 많이 방출되는가를 정밀하게 측정하는 장치 및 기술이 정립되어 있지 않다. 이 때문에 경험적으로 차폐 및 흡수재를 PCB의 특정부분에 적용한 후 시험장에서의 EMI 시험을 통해 전자파의 감소 여부를 확인하므로 효율적이지 않다^{[1],[2]}.

미국, 일본 등의 선진국에서는 정밀한 자기장 측정이 가능한 미소 프로브를 자체적으로 개발하여 핸드폰, PDA 등의 정보기기와 환자감시장치 등의 의료기기 내의 PCB에서 자기장을 측정하며 전자파에 대한 대책을 수립하는 사례가 보고되고 있다^[3]. 본고에서는 위와 같은 필요성을 인식하고 그 해결방안의 기초연구로서 PCB 상에서의 RF 전류 계산식을 유도하고, 이를 측정하기 위한 미소 프로브를 실제 제작하기 위한 설계방법을 제안하고자 한다.

II. 자기장 측정용 미소 프로브

2-1 도선에서의 전류측정 방정식 유도

도선에 전류 I 가 흐르면 거리 r 만큼 떨어진 임의

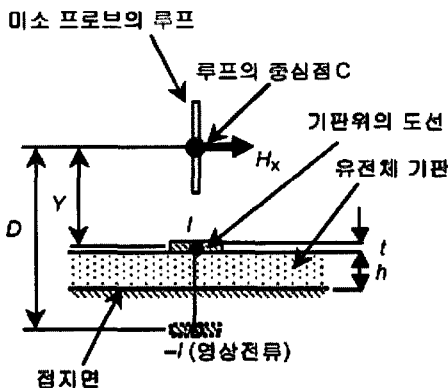
점에서의 자속밀도 B 는 다음 식 (1)과 같이 정의된다.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (1)$$

여기서 자속밀도 B 의 단위는 [T], 전류 I 의 단위는 [A], 거리 r 의 단위는 [m]이며, 자유공간에서의 투자율 μ_0 는 $4\pi \times 10^{-7}$ 이다. 또한 자속밀도 B 와 자기장의 세기 H 와의 관계는 다음과 같이 표현되며, 자기장의 세기 H 의 단위는 [A/m]이다.

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{I}{2\pi r} \quad (2)$$

기판 위의 도선에서 회로의 동작에 의해 전류가 흐르면 미세한 자기장이 발생되며, 근접한 위치에서 미소 루프 프로브를 사용하여 자기장을 측정하므로서 도선에 흐르는 전류를 계산할 수 있다^[4]. 이러한 현상의 물리적 의미는 150 kHz로부터 1 GHz까지 광대역의 주파수에서 특정 주파수 성분을 가진 많은 전류가 흐른다면 이는 외부의 원거리장 영역에서 심각한 EMI 문제를 발생시킨다. 따라서 전자파 잡음원에 차폐재, 흡수재 및 페라이트 코아 등을 사용하여 효율적인 대책을 적용할 수 있다. [그림 1]은 기판에서 전류측정을 위한 개념의 단면도를 나타낸다.



[그림 1] PCB에서 전류측정을 위한 개념의 단면도

[그림 1]에서 자기장 측정용 미소 프로브 루프의 중심점 C 에서 자기장의 세기 H_x 는 기판 위의 도선에서 흐르는 전류 I 와 이 전류와 반대방향으로 흐르는 영상전류 $-I$ 에 의해 발생하는 자기장의 영향을 받는다. 따라서 자기장의 세기 H_x 는 다음과 같이 표현된다.

$$H_x = \frac{I}{2\pi Y} - \frac{I}{2\pi D} \quad (3)$$

여기서 D 는 $Y + 2h + t$ 이며, Y 는 기판 위의 도선으로부터 루프의 중심점 C 까지의 거리이고, D 는 영상전류 $-I$ 가 흐르는 곳과 C 점까지의 거리이며, h 와 t 는 각각 유전체 기판의 두께와 금속성 도선의 두께이며, 이들 모두의 단위는 [m]이다. 위의 식 (3)은 풀어 쓰면 식 (4)와 같으며, $t \ll h$, $t \ll Y$ 라고 가정하면 루프의 중심점 C 에서의 자기장의 세기 H_x 는 식 (5)와 같다.

$$H_x = \frac{(2h+t)I}{2\pi Y(Y+2h+t)} \quad (4)$$

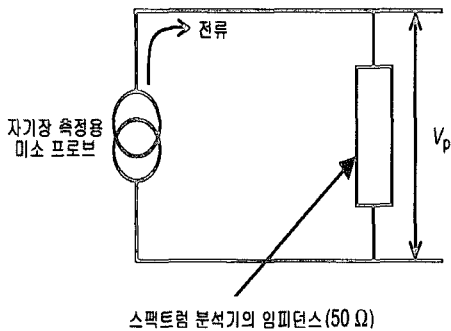
$$H_x = C_h I = \frac{hI}{\pi Y(Y+2h)} \quad (5)$$

여기서 C_h 는 자기장의 세기 H_x 와 기판 위의 도선에서 흐르는 전류 I 와의 관계를 나타내는 전달상수로 기판의 두께 및 측정거리에 의해 결정된다. 계산의 편의를 위해 식 (5)를 데시벨로 표현하면 식 (6)과 같으며, 이때 $C_{h\text{ dB}}$ 는 다음 식 (7)과 같다.

$$H_{x\text{ dB}} = C_{h\text{ dB}} + I_{\text{ dB}} \quad (6)$$

$$C_{h\text{ dB}} = 20 \log \left[\frac{h}{\pi Y(Y+2h)} \right] \quad (7)$$

미소 프로브에서 측정된 자기장의 세기는 동축케이블로 연결된 스펙트럼 분석기에 전류의 형태로 입력되며, 스펙트럼 분석기의 단자 임피던스에 의해 저항 양단간에 걸리는 전압의 형태로 변화된다. 이러한 측정 개념을 그림으로 나타내면 다음과 같다.



[그림 2] 스펙트럼 분석기를 활용한 자기장의 측정

[그림 2]에서 스펙트럼 분석기에서 측정되는 전압 V_p 와 미소 프로브에서 측정되는 자기장의 세기 H_x 는 미소 프로브의 교정인자 C_f 와의 관계로 나타낼 수 있다.

$$H_x = C_f V_p \quad (8)$$

앞에서처럼 식 (8)도 데시벨로 변환하면 다음과 같다.

$$H_{x \text{ dB}} = C_{f \text{ dB}} + V_{p \text{ dB}} \quad (9)$$

식 (6)과 (9)를 연립해서 풀면 기판 위의 도선에서 흐르는 전류를 계산할 수 있다.

$$I_{\text{dB}} = C_{f \text{ dB}} + V_{p \text{ dB}} - C_{h \text{ dB}} \quad (10)$$

그런데 기판 위의 도선에서 흐르는 전류는 옴의 법칙에 의해 기판에 인가되는 전압 V_s 와 기판위 도선의 저항 R 과의 관계인 $I = V_s / R$ 로 표현 가능하며, 이 식을 데시벨로 나타내면 다음과 같다.

$$I_{\text{dB}} = V_{s \text{ dB}} - 20 \log R \quad (11)$$

따라서 식 (10)과 식 (11)의 관계에서 미소 프로브의 교정인자 C_f 를 유도한다.

$$C_{f \text{ dB}} = V_{s \text{ dB}} - V_{p \text{ dB}} - 20 \log R + 20 \log \left[\frac{h}{\pi Y(Y + 2h)} \right] \quad (12)$$

지금까지 유도된 식에 의해, 측정할 기판의 두께와 프로브의 측정거리로부터 전달상수 $C_{h \text{ dB}}$ 를 계산하고, 제작된 프로브를 150 kHz부터 1 GHz까지 교정하여 교정인자 $C_{f \text{ dB}}$ 를 구한 후, 미소 프로브를 이용하여 스펙트럼 분석기에서 측정된 전압 $V_{p \text{ dB}}$ 를 식 (10)에 대입하여 전자회로가 실장된 인쇄회로기판(PCB)의 도선에서 흐르는 전류 I 를 계산할 수 있다^[5].

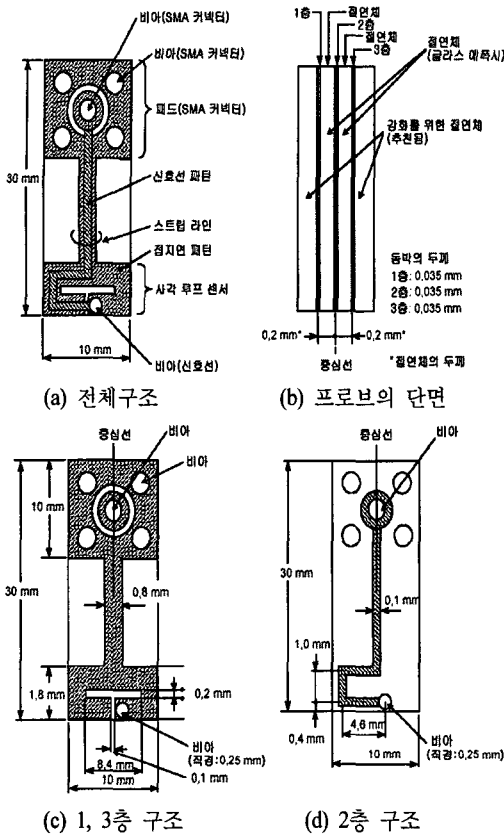
2-2 미소 프로브와 고정장치의 설계 및 제작

자기장 측정용 프로브는 IC가 집적된 기판 위에서 효율적으로 측정을 수행할 수 있도록 작은 크기이어야 한다. 하지만 일반적인 원형 루프 프로브인 경우 기판으로부터 프로브까지의 거리가 일정하지 않아 발생하는 자기장에 대한 감도가 떨어져 효율적이지 못하고, 또한 단층기판으로 루프 프로브를 제작할 때 많은 어려움이 존재한다. 따라서 효율성, 프로브 제작기술 및 전류량 계산의 용이성을 고려하여 다음 <표 1>의 사양을 만족하도록 비아를 이용한 다층기판으로 사각형 모양의 자기장 측정용 미소 프로브를 설계한다.

<표 1>의 사양을 만족하면서 손실을 최소로 할 수 있는 최적의 자기장 프로브는 다층 기판으로 구성된 3D 평면 구조의 스트립 선로로 이루어지며 구조는 [그림 3]과 같다. 그림에서 보듯이 프로브의 사각 루프 부분의 반대편 모서리 부분에 SMA 커넥터

<표 1> 자기장 측정용 미소 프로브의 사양

항 목	사 양
주파수 범위	150 kHz~1 GHz
프로브 크기	30 mm × 10 mm × 0.5 mm
기판 물질	에폭시 글라스($\epsilon_r = 4.7$)
측정 커넥터	SMA 커넥터
측정 임피던스	50 Ω
전기장 차폐	- 20 dB 이상

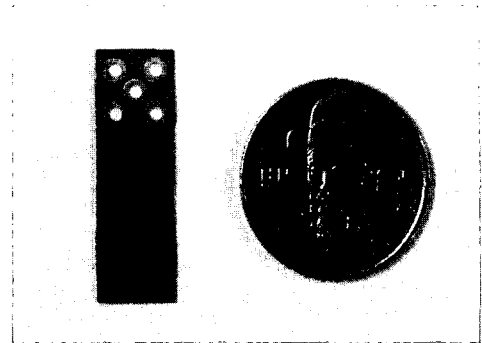


[그림 3] 다층 기판으로 구성된 미소 프로브의 설계도

를 연결하도록 되어 있다. SMA 커넥터를 위해서 1층과 3층에 4개의 비아를 뚫은 패드가 있고, 스트립 컨덕터(신호선) 패턴은 SMA 커넥터의 중심과 연결되어 2층에 위치한다. 또한 [그림 4]는 제작된 미소 프로브의 실제모습을 보여준다.

제작된 자기장 측정용 미소 프로브의 출력전압은 프로브의 루프와 측정하고자 하는 기판의 도선 사이의 거리에 민감하게 의존하며, 본 연구에서 설계한 프로브는 측정동안 거리를 정확히 1mm로 유지해야 한다.

따라서 본 연구에서는 X, Y, Z의 3축으로 정밀한 이동이 가능하며, 최대 30×24 cm 크기의 PCB 기판에서 자기장 측정이 가능한 고정장치를 설계하고 제



[그림 4] 제작된 자기장 측정용 미소 프로브

작하였다. 이때 근거리에서 측정한 미세한 자기장이 고정장치에 의해 반사되는 오류를 방지하기 위해 바닥면, 스크루 등 모든 재질은 비금속성인 아세탈을 사용하였으며, 미소 프로브의 유지보수를 위해 프로브가 고정장치에 대해 탈부착이 용이하도록 하였다.

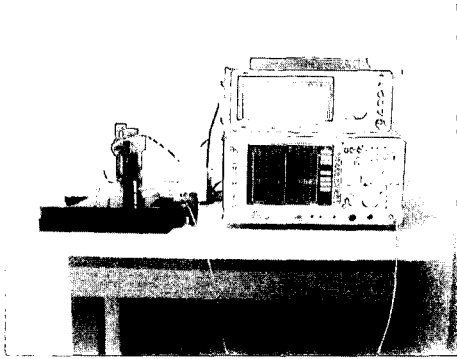
III. 측정결과 및 고찰

3-1 마이크로스트립 선로를 사용한 프로브의 교정

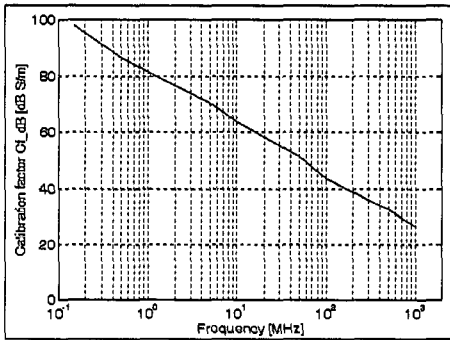
미소 프로브의 교정은 신호 발생기의 50 Ω 출력 단자에 연결된 마이크로스트립 선로에 흐르는 전류로부터 유도되는 자기장의 세기를 프로브를 이용하여 정밀하게 측정함으로써 수행된다. 선로에 의해 방출되는 자기장은 150 kHz~1 GHz의 주파수 범위에서 프로브의 루프에 충분히 감지됨을 보이고, 이때 계산된 교정인자는 주파수에 의한 함수로 표현된다. [그림 5]와 [그림 6]은 미소 프로브의 교정장면 및 결과를 보여준다.

3-2 미소 프로브를 사용한 자기장의 측정

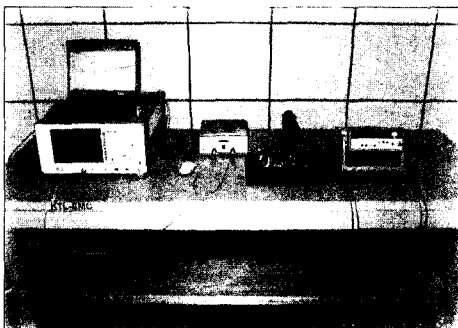
제작된 미소 프로브의 활용 가능성을 검증하기 위해 PC에 장착되는 디지털 비디오 레코더(DVR) 기판에서 발생하는 자기장을 다음 [그림 7]과 같이 측



[그림 5] 스트립 선로탑 사용한 미소 프로브의 교정



[그림 6] 자기장 측정용 미소 프로브의 교정 결과

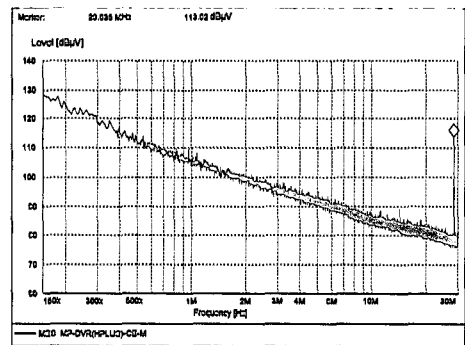


[그림 7] 프로브를 이용한 기판에서의 자기장 측정장면

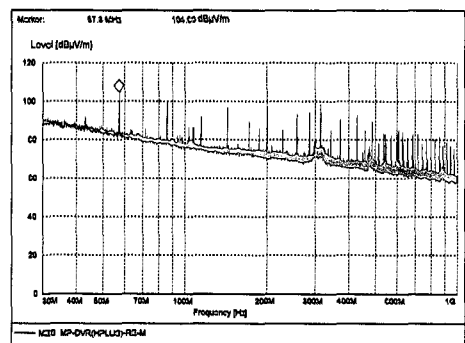
정하였다^[6].

이번 측정은 150 kHz~1 GHz 주파수 범위에서 수행되었으며, 미소 프로브를 이용하여 측정된 결과를 쉽게 구별하기 위해 기판 위의 발진소자 가까운 곳

을 측정지점으로 선정하였다. 측정결과 발진소자의 고조파가 두드러지게 관측되었으며, 발진소자로부터 방사되는 전자파를 감소시키기 위해 발진소자의 출력단자와 접지면 사이에 TDK社에서 제작한 소형 페라이트 코어를 부착하여 같은 조건으로 자기장을 측정하였다. 측정에 사용된 DVR 기판에는 주파수 28.63 MHz의 발진소자를 실장하고 있으며, 150 kHz~30 MHz와 30 MHz~1 GHz의 주파수 범위에서 측정된 결과 대부분 28.63 MHz의 고조파(harmonics)가 측정되었다. [그림 8]과 [그림 9]는 소형 페라이트 코어를 부착한 DVR 기판에서 미소 프로브를 사용하여 자기장의 세기를 측정된 결과를 나타내며,



[그림 8] 자기장 측정 결과(주파수 범위; 150 kHz~30 MHz)



[그림 9] 자기장 측정 결과(주파수 범위; 30 MHz~1 GHz)

〈표 2〉 미소 프로브의 자기장 측정결과

주파수 [MHz]	대책 전 측정값 [dBpT]	대책 후 측정값 [dBpT]	편차 [dB]
28.635	116.98	113.82	3.16
57.300	106.90	104.69	2.21

여기에는 프로브의 교정인자가 포함된다.

측정결과 전자파가 약 3 dB정도 감소됨을 알 수 있었다. 다음 〈표 2〉는 발진소자의 동작주파수와 3차 고조파에 대한 측정결과를 나타낸다.

IV. 결 론

무선 통신 기기의 발달과 함께 신호의 고속화와 제품의 경박단소화에 대한 요구에 따라 집적화된 고밀도 인쇄회로기판(PCB)이 설계되고 있다. 하지만 기판내의 전자회로 상호간의 간섭이 증가하여 회로의 오동작이 빈번히 발생하고, EMI 시험에서 부적합되고 있는 실정이다. 본 고에서는 PCB에서의 전류 측정 방정식을 유도하고, 정밀하게 자기장을 측정하기 위한 미소 프로브를 설계하는 방법에 대해 알아보고, 실제 프로브를 제작해 보았다. 또한 제작된 프로브는 마이크로스트립 선로를 활용하여 교정하고, 실제 DVR 기판을 사용하여 자기장을 측정하였다.

미소 프로브의 교정결과 교정인자가 계측기의 동적 영역(dynamic range)내에 있으며, 차이(margin)가 10 dB 이상으로 충분한 자기장 측정이 가능하며, DVR 기판에서의 자기장 측정결과 전자파 대책의 유무를 구별(3 dB의 감소효과)할 수 있었다.

본 결과를 각종 전기·전자 제품에 대한 전자파

적합성(EMC) 시험에 활용할 경우, 설계 단계에서 전자파에 대한 대책 기술을 구현할 수가 있어 제조 단가를 떨어뜨리고 상용화 단계에서 발생할 수 있는 제품에 대한 성능 저하를 미연에 방지할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 협소한 공간에서 낮은 비용으로 설치가 용이하여 중소기업체의 개발실에서 곧바로 사용이 가능할 것으로 기대된다. 관련 추후 연구과제로는 실제적인 문제로, 본 고를 통해 제작된 미소 프로브를 활용하여 각종 분야의 디지털 회로에서 전자파 장애(EMI) 문제를 추적하고, 최소화 할 수 있는 방안을 연구하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] H. W. Ott, *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems*, 2nd ed., Wiley, New York, 1988.
- [2] D. A. Weston, *Electromagnetic Compatibility Principles and Applications*, Marcel Dekker, 1991.
- [3] L. B. Gravelle, P. F. Wilson, "EMI/EMC in PCB -A literature review", *IEEE Trans. on EMC*, vol. 34, pp. 109-116, May 1992.
- [4] D. K. Cheng, *Fundamental of Engineering Electromagnetics*, Addison Wesley, 1993.
- [5] W. L. Weeks, *Electromagnetic Theory For Engineering Applications*, Equation 91, John Wiley, pp. 565, 1964.
- [6] CISPR 22, *Information Technology Equipment-Radio Disturbance Characteristics- Limits and Methods of Measurement*, 2001.

≡ 필자소개 ≡

송 태 승



1997년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)

1999년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)

1999년 2월~현재: 충남대학교 전자공학과 박사과정

2000년 5월~현재: 산업기술시험원 전

자파팀

[주 관심분야] EMI/EMC 측정 및 대책기술

조 원 서



2000년 8월: 중앙대학교 전자공학과 (공학박사)

1991년 8월~1999년 3월: 생산기술연구회 선임연구원

2000년 12월~2004년 6월: 산업기술시험원 전자파 팀장

2004년 7월~현재: 산업기술시험원 정

보통신 팀장

2001년 3월~현재: CISPR 국내전문위원회 간사

2002년 10월~현재: Asia Network Forum, EMC Group Leader

2004년 9월~현재: CISPR/B 국제위원회, Project Leader

[주 관심분야] EMI/EMC 측정 표준화, 안테나, 수치해석