

# 나사를 이용한 기구물과 인쇄회로기판 연결이 전원단 잡음 감소에 미치는 영향 분석

## Investigation of Power Bus Decoupling by the Screw Connection of the PCB to Chassis

권덕규 · 이신영 · 이해영 · 이재욱\* · 배승민\*

Duk-Kyu Kwon · Shin-Young Lee · Hai-Young Lee · Jae-Wook Lee\* · Seung-Min Bae\*

### 요 약

본 논문에서는 인쇄회로기판을 기구물에 기계적으로 고정시키고, 전기적으로 접지시키기 위해 사용되는 스크류 연결이 파워버스 잡음에 미치는 영향을 분석하였다. 스크류는 인쇄회로기판과 기구물을 연결하기 위하여 파워버스를 관통하게 되며, 이는 파워버스 잡음에 영향을 미치게 된다. 이러한 스크류 연결의 효과를 확인하기 위하여 스크류가 없는 기판과 5개의 스크류를 사용하여 인쇄회로기판과 기구물의 간격을 0.5 mm로 설정한 경우를 비교하였다. 비교 결과 제안된 방법은 스크류가 없는 경우에 비해 0.1 GHz~1 GHz의 주파수 대역에서 5 dB 이상 잡음 특성이 개선되는 것을 확인하였다. 또한 신호선이 존재하는 4층 인쇄회로기판에 스크류를 사용한 경우 600 MHz까지 신호의 특성이 개선되는 것을 확인하였다. 본 연구는 고속 회로 및 기구물 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### Abstract

In this paper, we investigated noise decoupling on the power bus by the screw connection, used to the mechanical join and grounding of the PCB ground to chassis. The screw connection penetrates the power bus and then it affects noise propagation on the power bus. To verify effect of the screw connection, we compare bare board with board having screws connection with 0.5 mm separation between power bus and chassis. From these results, we observed that the power bus noise was decreased about 5 dB at the frequency range from 0.1 GHz to 1 GHz. Also, we verified that a 4-layer PCB with signal trace had the better signal quality up to 600 MHz by the screw connection. Therefore, these results will be useful in designing to the high speed circuit and chassis.

Key words : Grounding, Screw, Power Bus, Decoupling, Chassis

### I. 서 론

최근 고속 디지털 회로에 사용되는 칩의 구동 전압이 점차 낮아지고, 신호의 상승시간(rise time)이 짧아짐에 따라 전원단(power bus) 잡음에 의한 회로

의 오동작 및 전자파 장애(EMI) 문제가 심각해지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 적절한 접지(grounding) 방법의 선택 및 구현, 디커플링 캐패시터(decoupling capacitor)의 값 및 위치 선정, 구동 칩의 적절한 위치 설정 등 다양한 부분에 대한 연구가

아주대학교 전자공학부(Department of Electronics Engineering, Ajou University)

\*삼성전자 컴퓨터사업부(Computer & Internet System Division, Samsung Electronics Co., Ltd.)

· 논문 번호 : 20020805-092

· 수정완료일자 : 2002년 10월 25일

이루어지고 있다<sup>[1]~[7]</sup>. 이러한 방법 가운데 나사(screw)를 이용한 인쇄회로기판(PCB)과 기구물(chassis)의 연결은 기계적으로 고정시키기 위한 목적과 회로의 접지 평면(ground plane)을 기구물과 연결하여 잡음의 발생을 줄이기 위한 목적으로 사용된다. 이러한 나사를 이용한 연결은 회로를 ESD(Electrostatic Discharge) 문제로부터 보호하기 위해 입출력 회로(I/O port) 부분에 설치되어 전기적으로 낮은 임피던스 경로를 제공한다. 클럭 회로부(clock circuitry)에서는 과도전류(transient current)에 의한 잡음을 억제하기 위해 국부 접지 평면(localized ground plane)이 사용되는데, 나사는 이러한 국부 접지 평면과 인쇄회로기판의 접지 평면을 연결하여 그 효과를 강화한다. 또한 접지 루프(ground loop)로 인한 회로부(circuit block) 간에 혼신(crosstalk) 및 방사 잡음(radiation noise)을 제어하기 위해 나사가 사용된다<sup>[8]~[10]</sup>. 이러한 나사는 인쇄회로기판을 기구물에 연결하기 위해 전원단을 관통하게 되는데, 이로 인해 전원단에서 전파되는 잡음에 영향을 미치게 된다. 그러나 나사가 전원단 잡음에 미치는 영향에 대한 분석은 미흡한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 나사가 전원단 잡음의 전달 특성에 미치는 효과 및 이로 인한 SI(Signal Integrity), 방사 잡음에 미치는 효과를 분석하였다.

본 논문에서는 이러한 효과를 확인하기 위해서 실제 데스크탑 컴퓨터의 크기와 유사한 30 cm×20 cm의 인쇄회로기판에 5개의 나사를 사용하여 잡음 전달 특성을 측정하였다. 해석 및 측정 결과 공진 주파수에서 잡음 특성이 개선되는 것을 확인하였다. 본 논문에서는 이러한 효과를 증가시키기 위해 전원단과 기구물 사이의 간격을 줄인 구조에 대해 해석하였다. 이는 나사의 길이가 짧아지므로 인덕턴스가 감소하고 기구물과 전원단 사이의 캐패시턴스는 증가시키는 효과가 있다. 측정 결과 이러한 방법은 적용이 간단하고, 0.1 GHz~1 GHz의 주파수 대역에서 평균 5 dB 이상의 잡음 전달 특성 개선 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 또한 인쇄회로기판에 의한 방사 잡음을 예측할 수 있는 입력 임피던스가 14 Ω 이하로 유지되는 것을 확인하였다. 다음으로 나사가 신호 전달 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 인쇄회로기판의 모서리와 층간의 신호선 연결을

위한 비아(via) 주위에 나사를 위치시키고 측정하였다<sup>[11]</sup>. 측정 결과 나사를 사용한 경우 600 MHz 대역까지 신호의 특성이 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 나사로 인해 전원단의 잡음이 기구물로 전달되어 감소하고, 비아 부근에서 그라운드 역할을 하기 때문이다.

이러한 해석은 유한 요소법(FEM : Finite Element Method)을 사용하는 상용 해석 도구인 HFSS™(High Frequency Structure Simulator)<sup>[12]</sup>를 이용하였으며, 벡터 회로망 측정기(VNA)를 사용하여 측정하였다. 또한 결과로부터 유한 요소법을 이용한 해석과 측정 결과가 잘 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 연구 결과는 고속 인쇄회로기판에서 나사를 사용하여 전원단과 기구물을 접지할 때 전원단의 잡음을 감소시키고, 전자파 장애 문제를 개선하는데 유용하리라 기대된다.

## II. 해석 및 제작 구조

그림 1은 나사를 이용하여 인쇄회로기판의 전원단과 기구물을 연결한 구조이다. 그림 1(a)에서 인쇄회로기판의 비유전율( $\epsilon_r$ )은 4.2이고, 기판의 두께는 0.16 cm, 인쇄회로기판과 기구물 사이의 간격은 0.6 cm이다. 전원단과 기구물을 연결하기 위한 나

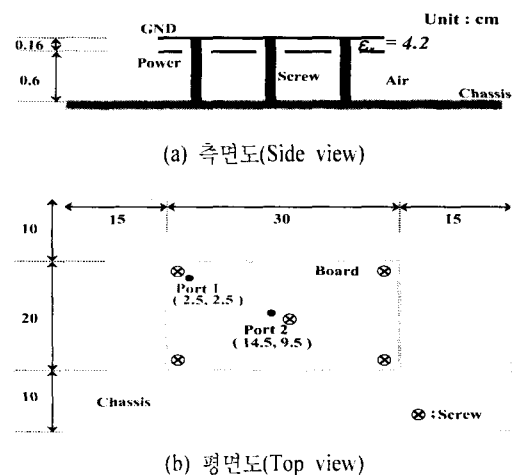


그림 1. 나사를 이용한 파워 버스와 기구물의 연결 개략도

Fig. 1. Schematic of connection power bus to chassis using screw.

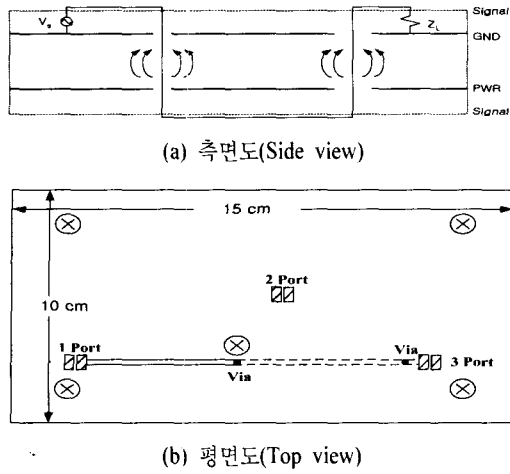


그림 2. 신호선을 갖는 4층 인쇄회로기판의 개략도  
Fig. 2. Structure of 4 layer PCB with signal trace.

사의 직경은 0.4 cm이고, 나사가 인쇄회로기판의 파워 평면을 통과하기 위한 개구(anti-pad)의 크기는 0.6 cm×0.6 cm 이다. 그림 1(b)는 나사의 위치가 인쇄회로기판의 각 모서리에서 2 cm×2 cm 지점과 중앙에 위치하고 있음을 나타내고 있다. 이때 인쇄회로기판의 크기는 30 cm×20 cm이고, 기구물을 가정한 도체평판의 크기는 60 cm×40 cm의 구리 평판을 사용하였다. 그림 1(b)에서 포트의 위치는 인쇄회로기판의 모서리에 포트 1, 중앙에 포트 2를 위치시켰다.

그림 2는 나사가 SI(Signal Integrity)에 미치는 영향을 알아보기 위한 제작 구조이다. 그림에서 4층 인쇄회로기판의 크기는 15 cm×10 cm이고, 각 층의 두께는 0.2, 1.2, 0.2 mm이다. 나사는 그림에서 보는 바와 같이 각 모서리에서 2 cm×2 cm 지점과 신호선이 비아로 연결되는 부분에 위치한다. 층간의 신호선 연결을 위한 비아와 나사의 간격은 1 mm이며, 비아의 직경은 0.8 mm이다. 기구물과 나사는 그림 1에서 사용한 조건과 동일한 것을 사용하였다. 그림에서 포트 1, 3는 신호선에 연결되어 신호의 특성을 측정하고, 포트 2는 파워 평면과 그라운드 평면 사이에 연결되어 비아에 의해 발생하는 전원단 잡음을 측정하였다. 이러한 측정을 위해 semi-rigid cable을 사용하였다. 그림 2(a)에서 보는 바와 같이 전원단에 잡음을 유발하는 원인은 층간의 신호선 연결을 위한 비아이다. 비아는 전원단을 관통하는 동안 그라운드가 없는 상태가 되며 이로 인해 전원단 사

이에 잡음이 전파하게 된다.

### III. 해석 및 측정 결과

그림 3은 나사가 없는 인쇄회로기판에 대한 해석 및 측정 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 특정 주파수에서 잡음의 전달 특성이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 전원단에 의한 공진이 발생하기 때문이다. 즉 30 cm×20 cm의 전원단 크기에 대한 공진 주파수를 식 (1)을 이용하여 계산하면 그림 3의 공진 주파수와 일치하는 것을 알 수 있다. 또한 결과에서 470 MHz, 710 MHz, 850 MHz 등의 주파수에서 잡음이 크게 전달되는 이유는 공진 모드의 필드 분포가 포트 2 위치에서 크게 유기되기 때문이다. 그림 3(b)는 이러한 특성을 전달 임피던스(transfer impedance)를 사용하여 나타낸 그래프이다. 전달 임피던스는 전원단에서 발생한 전류 잡음원(noise source)으로부터 회로의 다른 부분에 유기되는 전압의 크기를 쉽게 볼 수 있는 장점이 있다. 결과에서 보는 바와 같이 산란 계수와 동일하게 470 MHz에서 가장 큰 18 Ω의 임피던스를 갖는 것을 볼 수 있다. 그림 3(c)는 인쇄회로기판의 입력 임피던스(input impedance) 특성을 나타낸다. 입력 임피던스는 방사 특성을 나타내는 것으로 결과에서 보는 바와 같이 나사가 없는 인쇄회로기판의 경우 최대 35 Ω의 크기를 갖는 것을 볼 수 있다. 이러한 방사 특성은 산란계수 결과에서 440 MHz 부근의 파워 손실이 큰 것으로부터 예상할 수도 있다. 이상의 결과로부터 나사가 없는 인쇄회로기판이 공진 주파수에서 큰 잡음 전달 특성을 갖는 것을 확인하였다. 해석 결과와 측정 결과가 잘 일치하는 것을 볼 수 있으며, 주파수 차이는 해석 기판과 측정 기판의 비유전을 차에 의한 것으로 생각된다.

$$f_{mn} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\mu_r \times \epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

그림 4는 5개의 나사를 사용하여 파워 버스와 기구물을 연결한 경우에 산란 계수 해석 및 측정 결과를 나타낸다. 결과 그림에서 보는 바와 같이 나사를 사용한 경우에 공진 주파수가 상향으로 이동하고, 잡음 전달 특성이 개선된 것을 알 수 있다. 이는 나

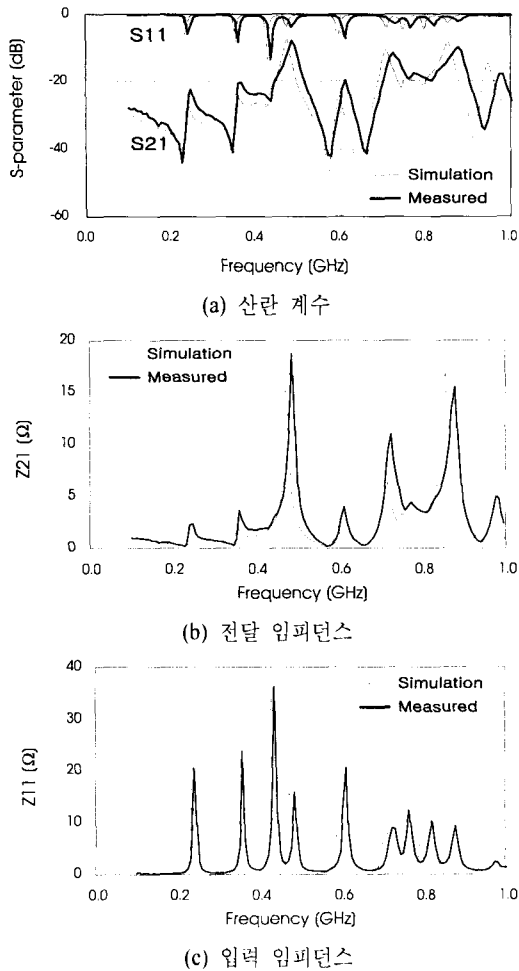


그림 3. 인쇄회로기판의 해석 및 측정 결과  
Fig. 3. Simulated and measured results of bare board. (a) Scattering parameter, (b) Transfer impedance, (c) Input impedance

사가 기구물과 연결되어 그라운드 평면의 경계 조건을 바꾸었기 때문이다. 즉 기구물과 연결된 나사가 접촉지점에서 그라운드 평면의 임피던스를 낮추어 공진 주파수가 상향 이동하기 때문이다. 또한 잡음 특성이 개선되는 것은 잡음이 나사에 유기되어 기구물로 전달되기 때문이다. 이러한 결과를 임피던스 계수를 사용하여 비교한 결과가 그림 5와 같다. 그림 5(a)에서 보는 바와 같이 1 GHz 전 대역에서 전달 임피던스가 약 10 Ω 이하로 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서, 나사를 사용하여 인쇄회로기판의 전원단 잡음을 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 또

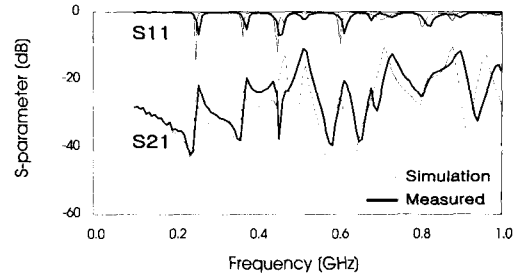


그림 4. 나사를 사용한 경우의 산란 계수 해석 및 측정 결과  
Fig. 4. Simulated and measured results of the screw connection.

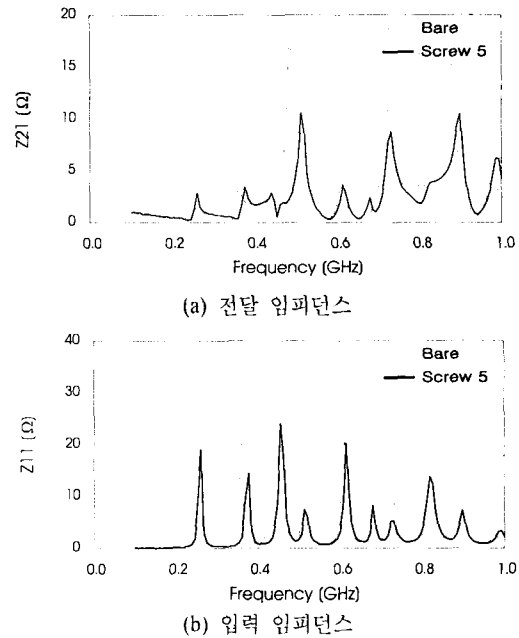


그림 5. Bare 보드와 나사 접지의 측정 결과 비교  
Fig. 5. Measured results of bare board and screw connection. (a) Transfer impedance, (b) Input impedance

한 그림 5(c)는 나사를 사용한 경우의 입력 임피던스를 나타낸다. 결과에서 보는 바와 같이 입력 임피던스가 25 Ω 이하로 유지되며, 나사가 없는 경우에 비해 10 Ω 정도 특성이 개선되는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 나사를 사용하여 전원단의 잡음을 개선할 수 있음을 확인하였다. 또한 나사를 사용한 경우에도 해석 결과와 측정 결과가 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

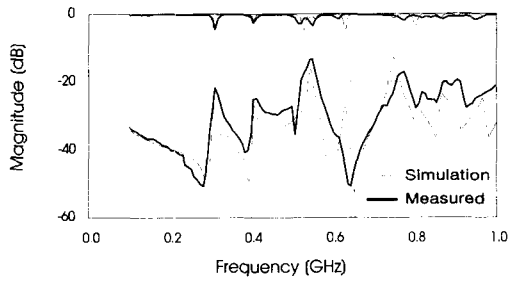


그림 6. 전원단과 기구물의 간격을 0.5 mm로 설정한 경우의 산란 계수 해석 및 측정 결과  
 Fig. 6. Simulated and measured results of 0.5 mm gap between power bus and chassis.

그림 6은 나사를 이용한 접지의 효과를 증가시키기 위하여 전원단과 기구물 사이의 간격을 줄인 경우에 대한 산란 계수의 해석 및 측정 결과이다. 전원단과 기구물 사이의 간격은 0.5 mm로 설정하였다. 결과에서 보는 바와 같이 간격을 줄인 구조에 대해서도 해석 결과와 측정 결과가 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 이러한 특성을 앞의 나사가 없는 기판의 결과와 비교하여 그림 7에 나타내었다. 결과에서 보는 것처럼 전 주파수 대역에서 잡음의 전달 특성이 5 dB 이상 향상되는 것을 확인할 수 있다. 이는 전원단과 기구물의 간격을 줄임으로서 나사의 길이가 짧아지고 이로 인해 나사의 인덕턴스가 감소하기 때문이다. 앞의 스크류가 6 mm인 경우에는 1.63 nH의 인덕턴스를 갖지만 0.5 mm인 경우에는 0.23 nH의 인덕턴스를 갖는다<sup>[13]</sup>. 따라서 나사는 6 mm일 때보다 낮은 임피던스 경로를 형성하게 된다. 또한 전원단과 기구물 사이에 캐패시턴스가 증가하므로 인쇄회로기판의 끝단에서 필드 방사 및 기구물 사이를 전파하는 잡음이 감소하게 된다. 공진 주파수는 50 MHz 정도 고주파로 이동하고, 이는 나사의 인덕턴스가 감소함으로 인해 접지 효과가 증가하여 공진 구조체가 작아졌기 때문이다. 그림 7(b)에서 보는 바와 같이 전달 임피던스는 전 주파수 대역에서 7 Ω 이하로 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 나사가 없는 경우에 비해 10 Ω 이상 개선되는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 7(c) 결과에서 입력 임피던스가 전체 주파수 대역에서 15 Ω 이하로 유지되며, 나사가 없는 경우에 비해 20 Ω 이상 개선되는 것

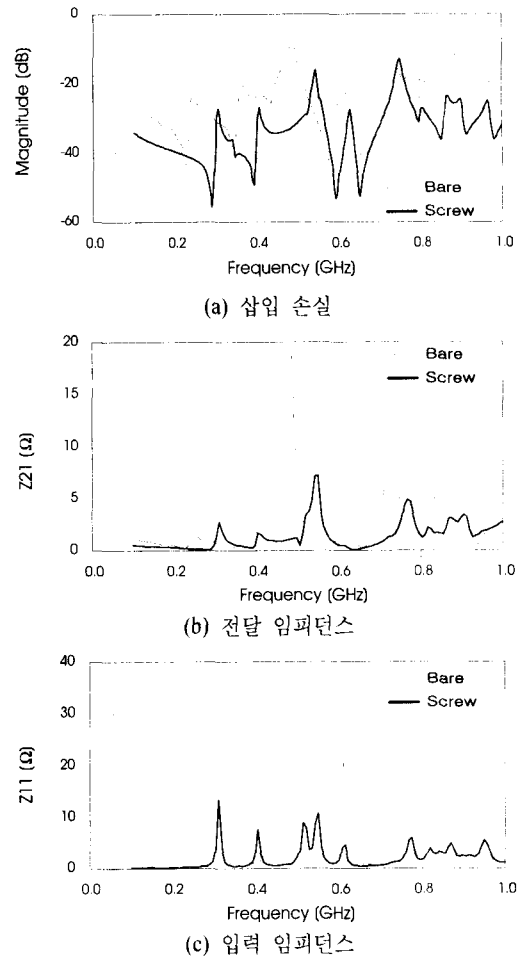


그림 7. Bare 보드와 0.5 mm 간격인 경우의 측정 결과 비교  
 Fig. 7. Comparison of bare board and 0.5 mm. (a) Insertion loss, (b) Transfer impedance, (c) Input impedance

을 확인할 수 있다. 그림 8은 전원단과 기구물 사이의 간격에 따른 잡음의 전달 크기를 간격이 1 mm인 경우에 대해 정규화하여 도시한 것이다. 결과에서 보는 바와 같이 간격이 증가함에 따라 전달되는 잡음의 크기가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과로부터 본 논문에서 제안한 구조가 1 GHz 주파수 대역까지 전원단의 잡음을 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 따라서, 이러한 결과는 500 MHz 이하의 주파수 대역에서 성능이 제한된 디커플링 캐패시터와 함께 사용되어 1 GHz까지 효과적으로 전원단 잡음을 감소시키는데 유용할 것으로 기대된다.

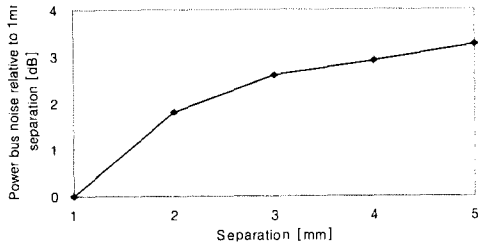


그림 8. 간격이 1 mm인 경우에 대해 정규화된 간격에 따른 잡음 전달 특성

Fig. 8. Power bus noise relative to 1 mm separation.

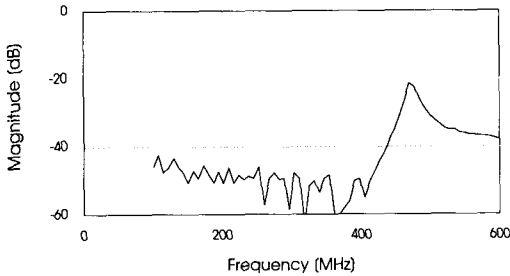


그림 9. 전원단 잡음 측정 결과

Fig. 9. Measured result of power bus noise.

다음으로 신호선을 갖는 4층 인쇄회로기판에서 나사를 이용한 접지가 SI 특성에 미치는 영향을 알아보도록 한다. SI 특성을 알아보기 위해 나사가 없는 경우, 층간 신호선이 비아에 의해 연결되는 부분에 1개의 나사를 사용한 경우, 인쇄회로기판의 각 모서리에 4개의 나사를 사용한 경우, 인쇄회로기판의 각 모서리와 비아 부분에 5개의 나사를 사용한 경우 4가지에 대해 해석과 측정을 하였다. 그림 9는 이 가운데 나사가 없는 경우의 전원단 잡음 특성을 나타낸다. 결과에서 보는 바와 같이 비아에 의해 전원단에 유기되는 잡음이 최고 20 dB 정도임을 확인할 수 있다. 이는 신호선이 비아를 통해 다른 층으로 연결될 때 전원단 사이에는 신호를 가이딩(guiding) 할 수 있는 그라운드 평면이 없기 때문이다. 또한 결과에서 470 MHz 부근에서 큰 잡음 특성을 갖는 것은 전원단 사이를 전파한 잡음이 공진을 유발했기 때문이다. 따라서 실제 인쇄회로기판에서는 비아를 통해 신호가 전달되는 경우가 많기 때문에 비아가 심각한 잡음원이 될 수 있음을 알 수 있다.

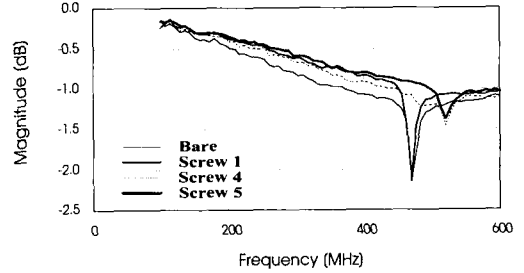


그림 10. 나사의 위치에 따른 신호 특성 측정 결과 비교

Fig. 10. Comparison of insertion loss to screw location.

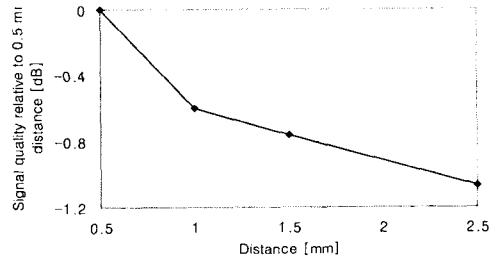


그림 11. 비아와 나사 거리가 0.5 mm인 경우에 대해 정규화된 신호 특성

Fig. 11. Signal quality relative to 0.5 mm distance between via and screw.

이러한 특성을 개선하기 위하여 나사를 사용한 경우에 대한 측정 결과가 그림 10과 같다. 결과에서 보는 바와 같이 나사를 사용한 경우에 신호 특성이 우수한 것을 알 수 있다. 각각을 비교해 보면, 나사를 각 모서리에 4개 사용한 경우보다 비아 부근에 1개를 사용한 경우가 공진 주파수 부근을 제외하고 우수한 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이는 나사가 전원단 잡음을 감소시킬 뿐만 아니라 비아 근처에서 신호의 그라운드 역할을 하기 때문이다. 이러한 나사의 특성을 알아보기 위해 비아와 나사의 간격을 변화시키면 해석한 결과를 그림 11에 나타내었다. 결과에서 보는 바와 같이 스크류가 일정거리 이상 떨어짐에 따라 신호의 그라운드로서의 역할을 하지 못하는 것을 알 수 있다. 마지막으로 모서리와 비아 부근에 나사 5개를 사용한 경우에 가장 우수한 특성을 갖는 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 나사의 사용이 인쇄회로기판의 신호 특성을 개

선할 수 있음을 확인하였다. 그러나 실제 회로에서 나사를 무조건 많이 설치하는 것은 나사를 통해 회로간에 간섭이 발생할 수 있으며, 비아 주위에 나사는 고집적을 방해하는 요인이 될 수 있으므로 주의해서 사용해야만 한다. 위 결과에서 신호 특성이 주파수가 증가함에 따라 급격하게 열화되는 것은 측정 시에 semi-rigid cable의 사용으로 인해 기판과 반사 손실이 증가했기 때문이다.

#### IV. 결 론

인쇄회로기판을 기구물에 연결시키기 위해 전원단을 관통하는 나사는 전원단에서 전파하는 잡음에 영향을 미치게 된다. 따라서 본 논문에서는 나사가 전원단 잡음에 미치는 영향을 분석하였다. 나사의 효과를 검증하기 위해 나사가 없는 인쇄회로기판과 5개의 나사를 사용한 경우에 대해 해석 및 측정 결과를 비교하였다. 측정 결과 0.1 GHz ~ 1 GHz 대역에서 평균 5 dB 이상의 전원단 잡음 개선 효과를 확인하였으며, 전달 임피던스는 7  $\Omega$ , 입력 임피던스는 15  $\Omega$  이하로 유지되는 것을 확인하였다. 따라서 나사가 전원단의 잡음을 감소시키는 효과가 있으며, 기구물과 파워 버스 사이의 간격을 줄임으로서 그 효과를 증가시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 인쇄회로기판에서 전원단 잡음의 원인인 비아 주위에 나사를 설치하여 잡음을 감소시킬 수 있으며, 여러 개의 나사를 사용하여 신호 특성을 더욱 개선할 수 있음을 확인하였다. 본 연구의 결과는 고속 회로 및 기구물 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

[1] G.-T. Lei, R. W. Techentin and B. K. Gilbert, "High-frequency characterization of power/ground-plane structures", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, pp. 562-569, May 1999.  
 [2] J. Fan, J. L. Knighten, A. Orlandi, N. W. Smith and J. L. Drewniak, "Quantifying decoupling capacitor location", in *Proc. IEEE Int. Symp. EMC*, Washington, DC, Aug. 2000.  
 [3] L. Davidson, A. M. Fallah, R. Nelson and D. A. Rogers, "Evaluating and Choosing Decoupling

Capacitors", in *Proc. IEEE Int. Symp. EMC*, Montreal, Canada, pp. 448-452, Aug. 2001.  
 [4] J. Chen, M. Xu, T. H. Hubing, J. L. Drewniak, T. P. Van Doren and R. E. DuBroff, "Experimental evaluation of power-bus decoupling on a 4-layer printed circuit board", in *Proc. IEEE Int. Symp. EMC*, Washington, DC, Aug. 2000.  
 [5] J. Fan, J. L. Drewniak, J. L. Knighten, N. W. Smith, A. Orlandi, T. P. Van Doren, T. H. Hubing and R. E. DuBroff, "Quantifying SMT de-coupling capacitor placement in DC power-bus design for multilayer PCBs", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 43, pp. 588-599, Nov. 2001.  
 [6] Henry W. Ott, *Noise Reduction Technique in Electronic System*, John Wiley & Sons, 1998.  
 [7] S. Radu, D. Hockanson, "An Investigation of PCB Radiated Emissions from Simultaneous Switching Noise", in *Proc. IEEE Int. Symp. EMC*, Seattle, WA, vol. 2, pp. 893-898, Aug. 1999.  
 [8] D. Moongilan, "Grounding Optimization Techniques for Controlling Radiation and Crosstalk in Mixed Signal PCBs", in *Proc. IEEE Int. Symp. EMC*, Denver, CO, pp. 495-500, Aug. 1998.  
 [9] M. I. Montrose, *Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance*, New York: IEEE Press, 1996.  
 [10] D. Moongilan, T. S. Palaniswamy, "Backplane Grounding Models for Controlling Common-mode Noise and Radiation", in *Proc. IEEE Int. Symp. EMC*, Seattle, WA, pp. 212- 217, Aug. 1999.  
 [11] W. Cui, X. Ye, B. Archambeault, D. White, M. Li and J. L. Drewniak, "EMI Resulting from Signal Via Transitions through the DC Power Bus", in *Proc. IEEE Int. Symp. EMC*, Washington, DC, vol. 2, pp. 821-826, Aug. 2000.  
 [12] HFSS(High Frequency Simulator Structure), ver 8.0, Ansoft.  
 [13] Brian C. Wadell, *Transmission Line Design Handbook*, Artech House, 1991.

권택규



1999년 2월: 아주대학교 전파공학과 (공학사)  
2001년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학석사)  
2001년 3월~현재: 아주대학교 전자공학부 박사과정  
[주 관심분야] EMI/EMC 및 초고주파 수동 소자

이재욱



1981년 2월: 건국대학교 전기공학과 (공학사)  
1983년 2월: 건국대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)  
1984년~현재: 삼성전자 디지털 미디어 총괄 컴퓨터사업부 개발팀 수석연구원  
[주 관심분야] 전력제어 및 초고속 디지털 회로설계

이신영



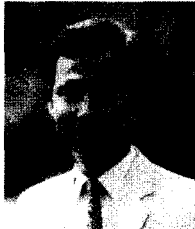
2002년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)  
2002년 2월~현재: 아주대학교 전자공학부 석사과정  
[주 관심분야] EMI/EMC, 초고주파 수동소자

배승민



1997년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학사)  
1997년 5월~현재: 삼성전자 디지털 미디어총괄 컴퓨터사업부 개발팀 선임연구원  
[주 관심분야] 초고속 디지털 회로설계

이해영



1980년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)  
1982년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
1982년~1986년: 국방부 연구사무관

1989년 12월: The University of Texas at Austin (공학박사)  
1990년~1992년: 금성 중앙연구소 기초1실장 (책임연구원)  
1992년~현재: 아주대학교 전자공학부 정교수  
[주 관심분야] 초고속/고밀도 반도체 Package의 설계/측정, 초고주파소 및 광전자소자의 설계/측정, 초소형 안테나 해석/설계, 초전도체의 고속 전송 특성 모델링