

귀환 전류 평면의 분할에 기인하는 신호 무결성의 효과적인 대책 방법

An Effective Mitigation Method on the Signal-Integrity Effects by Splitting of a Return Current Plane

정 기 범 · 전 창 한 · 정 연 춘*

Ki-Bum Jung · Chang-Han Jun · Yeon-Choon Chung*

요 약

일반적으로 고속의 디지털부와 아날로그부의 귀환 전류 평면(Return Current Plane: RCP)은 분할된다. 이것은 PCBs(Printed Circuit Boards)에서 각 서브 시스템 사이의 노이즈가 서로 간섭을 일으키지 않도록 하기 위해 이루어지지만, 각 서브 시스템 사이에 연결된 신호선이 존재하는 경우, 이러한 분할은 원치 않는 효과를 발생시킨다. RCP의 분할은 회로적인 측면에서 신호 무결성(Signal Integrity)에 악영향을 미치고, EMI(Electromagnetic Interference) 측면에서 전자파의 복사 방출을 증가시키는 주된 요인이 된다. 이러한 신호 무결성을 유지하기 위한 방법으로 component bridge(저항 브릿지, 커패시터 브릿지, 페라이트 브릿지 등: CB)가 사용되고 있지만 아직 정확한 CB의 사용 지침이 부족한 실정이다. 본 논문에서는 신호 무결성 측면에서 다중-CB 사용 방법에 대한 설계 원리를 측정과 시뮬레이션을 통해 분석하고 노이즈 저감 방법에 대한 설계 방법을 제시하고자 한다. 일반적으로 CB 사이의 간격은 $\lambda/20$ 로 페라이트 비드(ferrite bead)를 사용하도록 권장하고 있다. 본 논문은 CB의 다중 연결시 페라이트 비드와 칩 저항에 대한 설계 방법을 측정과 시뮬레이션을 통하여 증명하였고, 다중 연결된 칩 저항(0Ω)이 신호 무결성 측면에서 더욱 더 효과적인 설계 방법임을 증명하였다.

Abstract

Generally a return current plane(RCP) of high speed digital and analog part is partitioned. This is achieved in order to decrease the noise interference between subsystem in PCBs(Printed Circuit Boards). However, when the connected signal line exists between each sub system, this partition will cause unwanted effects. In a circuitual point of view, RCP partition has a bad influence upon signal integrity. In a EMI(Electromagnetic Interference) point of view, the partition of the return current plane becomes a primary factor to increase the radiated emission. Component bridge(CB) is used for the way of maintaining signal integrity, still specific user's guide doesn't give sufficient principle. In a view point of signal integrity, design principle of multi-CB using method will be analyzed by measurement and simulation. And design principle of noise mitigation will be provided. Generally interval of CB is $\lambda/20$ ferrite bead. In this study, When multi-CB connection is applied, design principle of ferrite bead and chip resistor is proved by measurement and simulation. Multi-connected chip resistance(0Ω) is proved to be more effective design method in the point of signal integrity.

Key words : Return Current Plane(RCP), Signal Integrity, EMI, Component Bridge(CB), PCB

*이 연구는 2007년 정보통신부(MIC) EMC기술지원사업의 연구결과로 수행되었음(7300-1000-449호).」

한국전파진흥협회 EMC기술지원센터(Korea Radio Promotion Association, EMC Center)

*서경대학교 정보통신공학과(Department of Information & Communication Engineering, Seokyeong University)

· 논문 번호 : 20080111-005

· 수정완료일자 : 2008년 2월 27일

I. 서론

고속 디지털 시스템의 등장과 함께 특정한 목적으로 PCBs(Printed Circuit Boards)의 귀환(歸還) 전류 평면(Return Current Plane: RCP)을 분할해야 할 필요성이 대두되고 있다. 반면에 RCP 상의 분할(split), 슬롯(slot) 그리고 비아 홀(via-hole)과 같은 불연속 지점이 발생된다. 이러한 불연속 지점 위로 전송 선로가 지나갈 경우, 디지털 신호의 손실이나 누화(crosstalk)와 같은 원치 않는 효과에 대한 각각의 논의가 이루어져 왔다^{[1],[2]}. 따라서 본 연구에서는 총체적으로 RCP의 분할에 의해 발생할 수 있는 신호 무결성(signal integrity)에 대한 분석을 통해 RCP 분할이 야기시킬 수 있는 원치 않는 효과에 대해 이해하고, 그러한 원치 않는 효과를 저감시킬 수 있는 CB(Component Bridge)의 다중 연결 방법에 대해서 살펴보고 설계 방법을 제시하고자 한다. 일반적으로 RCP의 분할이나 신호의 RCP의 불연속은 EMI 노이즈 상승과 신호 무결성 저하를 일으키는 주된 원인이 된다. 고속 신호의 다층 PCB 경우, 이러한 RCP의 불연속이 필연적으로 발생할 수밖에 없는 취약한 구조를 가지고 있다. 이를 위해서 RCP가 분할되어 있는 경우에 전송 선로 내의 신호 무결성 영향을 삽입 손실과 누화 현상을 통해 확인하고, 이러한 원치 않는 효과를 저감시키기 위하여 다중-CB 연결 시 간격($\lambda/20 \sim \lambda/50$)에 따른 노이즈 저감 효과에 대한 영향을 살펴보고^{[3],[4]}, 다중-CB 연결 시 제시된 구조에서 어떤 CB의 종류가 가장 효과적인지에 대한 설계 방법을 제안하고자 한다.

II. RCP 분할의 목적 및 실험용 PCB의 제작

2-1 RCP 분할의 목적

일반적인 고속 디지털 회로의 PCB는 양면이나 4층, 6층, 8층 등의 다층 구조로 이루어져 있고, 이러한 다층 구조에서 일부 층은 RCP와 전력면(power plane)으로 구성되어 있다. 따라서 신호선의 구조는 마이크로스트립(microstrip)이나 스트립(strip) 구조가 된다.

이러한 다층 PCB 기판에서 RCP는 다음의 주된

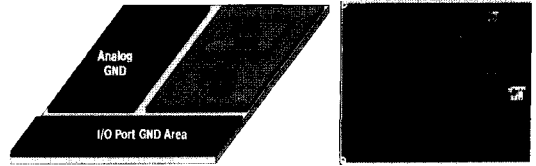


그림 1. PCB에서의 분할된 RCP 구조의 예
Fig. 1. Conventional structure for splitting a RCP of printed circuit board.

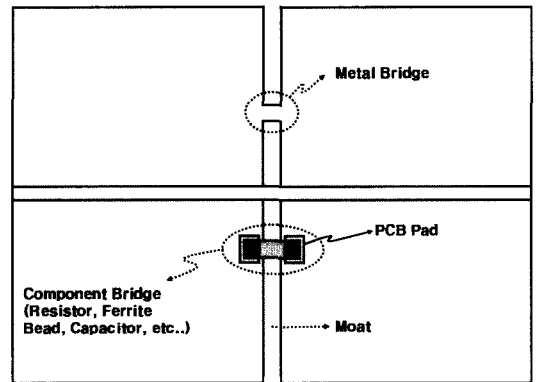


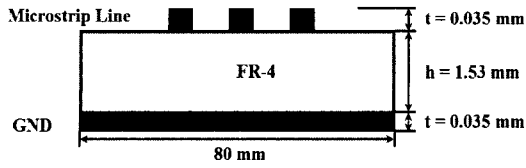
그림 2. 본 논문의 용어 설명
Fig. 2. Description of terminology in this paper.

이유로 분할하게 된다. 첫째, 잡음이 많은 디지털 회로와 장해 전자파에 민감한 PLL(Phase Locked Loop), 오디오, 비디오와 같은 아날로그 회로 사이에 노이즈 커플링을 예방하기 위하여 RCP를 분할하고, 둘째, I/O 케이블로부터의 전자파 방출을 억제하기 위해 I/O 포트 앞의 RCP를 분할한다.

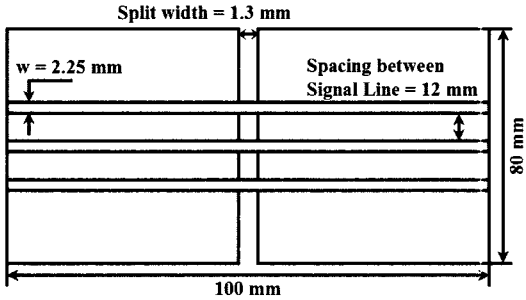
그림 1은 이러한 RCP 분할의 예를 보여주고 있다. 본 논문에서 실험용으로 제작한 PCB의 각 부위별 용어에 대한 정의는 그림 2에서 보여주고 있다.

2-2 실험용 PCB의 제작

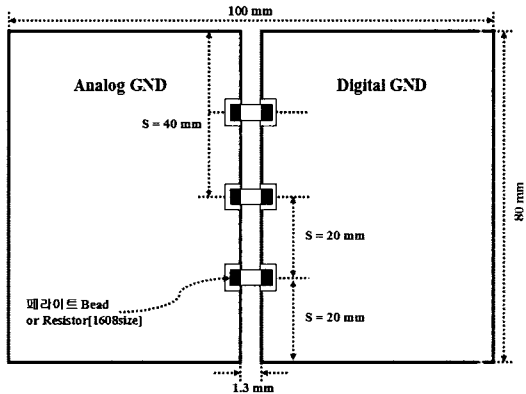
본 연구에서는 일반적인 PCB의 경우, 위에서 설명한 분할의 목적과 같이 아날로그와 디지털의 RCP를 분할하게 되고, 그 분할된 평면을 가로 질러 신호선이 존재하는 경우에 국한하여 연구를 하였다. 분할 구조에 따른 다중-CB 간격과 제시할 설계 방법의 상관관계를 분석하기 위해 실험용 PCB를 제작하였다. 그림 3은 본 논문에서 사용된 신호선이 3개인 마이크로스트립 구조의 PCB 구조를 보여주고 있다. 그



(a) 단면
(a) A cross section



(b) 윗면
(b) The upper side



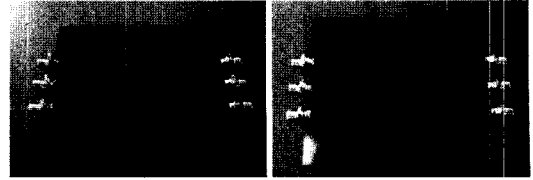
(c) 뒷면(분할된 RCP)
(c) The back side(splitting of the RCP)

그림 3. 아날로그와 디지털부의 RCP가 분할된 마이크로스트립 구조 PCB 제작

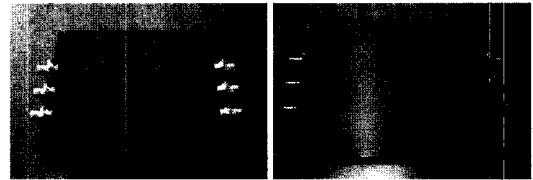
Fig. 3. The fabricated PCB as a microstrip structure for splitting a RCP into analog and digital parts.

림 3은 metal bridge(MB), 다중-CB로 실험을 할 수 있도록 제작되었다. 또한, 그림 3에서 MB와 CB의 간격에 대한 선정은 관심 주파수와 관계가 있으므로 다음 절에서 상세하게 다루도록 하겠다. 여기서 관심 주파수의 선정은 하모닉 주파수 중에서 EMI 문제를 발생시키는 주된 노이즈 주파수 성분을 의미한다.

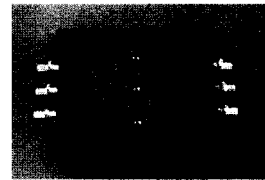
마이크로스트립에 사용된 유전체 기판은 FR-4로



(a) 분할이 없는 경우
(a) Without a splitting
(b) Split=1.3 mm,
(b) With a split width of 1.3 mm



(c) MB를 단 경우
(c) With metal bridge
(d) 페라이트 비드 또는 0 저항 1개를 단 경우
(d) With a ferrite bead or a resistor bridge



(e) 페라이트 비드 또는 0 저항 3개를 단 경우
(e) With three ferrite bead bridges or three resistor bridges

그림 4. 측정에 사용된 실험용 PCBs
Fig. 4. Experimental setup for measurement using PCBs.

유전율(ϵ_r)이 4.5이며, 전체 두께가 1.6 mm이고, 동박층의 두께는 1 oz(0.035 mm)이다. 그림 4는 제작된 각 실험 모드별(without split, with split, metal bridge, component bridge)로 제작된 PCB를 보여주고 있다.

Ⅲ. RCP 분할에 의한 신호 무결성 분석 및 저감 방법

정보 및 신호 전달을 위해서 신호선이 분할된 RCP 위를 지나가게 될 경우, 다음과 같은 신호 무결성 현상이 발생한다^{[1],[2]}.

- 첫째, 분할된 RCP 위를 지나가는 신호선의 반사
- 둘째, 분할된 RCP 위를 지나가는 신호 선간 간섭
- 셋째, 분할된 RCP에서 발생하는 전자파 복사 방출
- 넷째, 분할된 RCP 위를 지나가는 신호선에서의 부정합

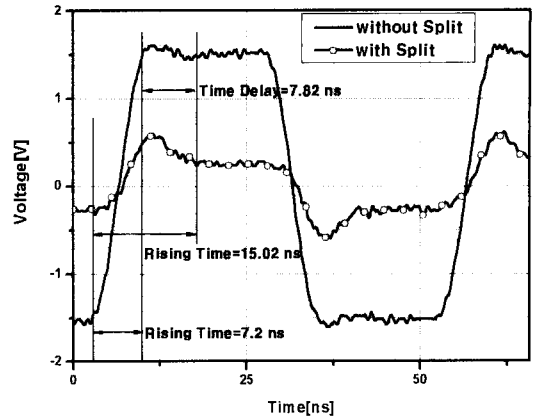
3-1 RCP 분할에 의한 신호 왜곡

PCB에서는 신호선과 RCP가 항상 존재하게 된다. 전자파는 신호선과 RCP 사이에 집중되어 전송되어 지는데, RCP가 연속적이고 불연속점이 없는 이상적인 경우에 신호의 무결성을 높일 수 있다. 그러나 RCP에 분할과 같은 불연속점이 생길 경우, 전류가 그 가장자리를 따라 흐르게 됨으로써 실질적인 접지면의 임피던스가 증가 즉, 귀환 전류 경로가 길어져 임피던스 부정합이 일어나게 되고, 신호의 품질을 현격하게 저하시키게 된다^[5]. 그림 5는 그림 4(a)와 (b)의 B-B' 신호선에서의 시간 영역과 주파수 영역을 측정한 결과로 RCP에 분할이 없는 경우에 비해 분할이 있는 경우 신호 왜곡에 얼마나 큰 영향을 미치는지를 보여준다.

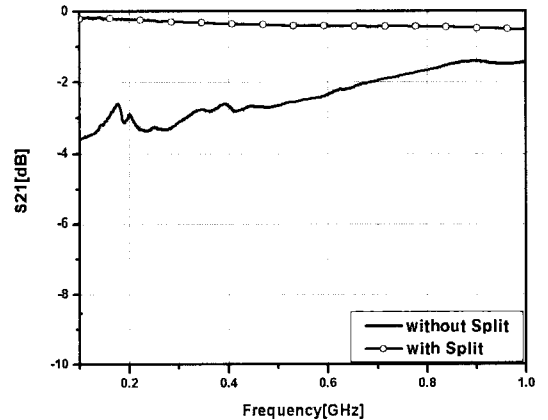
그림 5에서와 같이 신호선의 RCP에 분할 공간이 존재할 경우, 신호의 상승 시간(rising time)이 7.82 ps 지연되어 전송되고, 다른 신호 라인의 모든 포트가 선로의 특성 임피던스로 정합되어 있을 경우 100 MHz에서 3.4 dB까지 감소되는 것을 확인할 수 있다. 결론적으로 EMI 복사성 방출 측정 결과도 최고값이 100 MHz 근방에서 존재하게 된다. 따라서 신호 왜곡의 성분들이 EMI 복사성 방출에 영향을 미치게 된다.

3-2 RCP 분할에 따른 누화 현상

RCP에 분할이 있는 경우, 신호 왜곡 현상과 같은 신호 무결성을 악화시키는 또 다른 현상은 인접한 신호선 간의 누화이다. 분할된 RCP 위로 여러 개의 신호선이 지나가게 되는 경우, 전류가 분할된 RCP의 가장자리를 따라 흐르게 되어 인접 신호 라인으로 커플링 된다. 인접한 신호선 측면에서 보면 분할로 인해 커플링된 신호는 일종의 노이즈가 되어 신호의 품질을 저하시키는 결과가 된다. 분할이 없는 경우, 신호선 사이의 거리가 충분히 떨어져 있어 누화 현상이 거의 일어나지 않는 반면, 분할이 있을 경우에는 누화 현상이 매우 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 여기서 종단 즉, 부하 임피던스가 개방(open)된 경우보다 50 Ω, 단락(short) 부하를 달수록 전류는 임피던스가 낮은 쪽으로 흐르려는 경향이 있기 때문



(a) 상승 시간의 지연 및 크기의 감소
(a) Decrease of a rising time and amplitude



(b) 전송 신호의 감소
(b) Attenuation of transmission signal

그림 5. RCP 분할에 의한 신호 왜곡 현상
Fig. 5. Phenomenon due to a signal distortion caused by a splitting of a RCP.

에 누화 현상이 크게 일어나게 된다. 그림 6은 RCP 분할과 종단 부하의 종류에 의한 누화 영향을 측정하기 위한 것이다. 누화 측정을 위해 오실로스코프(TDS5104B)를 사용하였고, 소스로는 함수 발생기(Agilent 33250A)를 사용하여 주파수 21.54 MHz, 진폭 $3.3 V_{p-p}$, 50 % duty cycle를 인가하였다.

실험 및 분석에 앞서 관심 주파수가 계산되어야 한다. 그림 7은 관심 주파수를 계산하고, 선정하며 설계에 반영을 위해 꼭 필요한 사항을 설명하고 있다.

기본적으로 DUT(Device Under Test)의 동작 주파수의 고조파 성분과 시스템 클럭의 고조파 성분들을

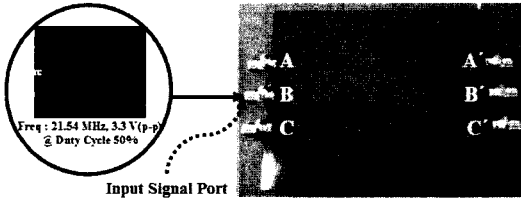


그림 6. RCP 분할에 의한 누화 측정용 PCB와 인가 신호 파형(뒷면 및 접지면)

Fig. 6. Incident signal wave and experimental setup for PCB crosstalk measurement by splitting a RCP(the back-side view and ground plane).

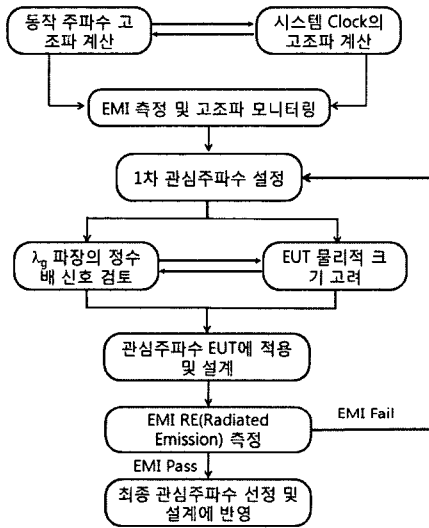


그림 7. CB 간격과 관심 주파수 정의의 순서도
Fig. 7. The flow chart for the choice of target frequency and CB interval.

계산 및 선정하고, EMI 규격 인증을 반드시 받아야 하기 때문에 사전에 EMI 측정을 통하여 관심 주파수를 정의하는 것이 필요하다. 그림 8은 이러한 관심 주파수를 선정하기 위한 EMI 측정 결과이다. 이렇게 관심 주파수를 정의하고 나서 관심 주파수의 파장 및 λ_g 의(Guide wavelength, $\lambda/\sqrt{\epsilon_e}$) 정의⁽⁶⁾와 물리적인 DUT의 크기를 고려하여 $\lambda_g/20 \sim \lambda_g/50$ 간격으로 CB를 DUT에 설계 적용한다.

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_e + 1}{2} + \frac{\epsilon_e - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12d/W}} \quad (1)$$

여기서, d 는 유전체 높이($d=1.6$ mm), W 는 마이크로 스트립 라인의 폭, ϵ_e 는 유효 유전율이다.

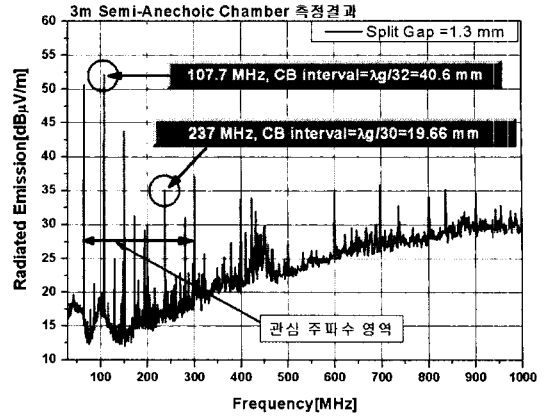
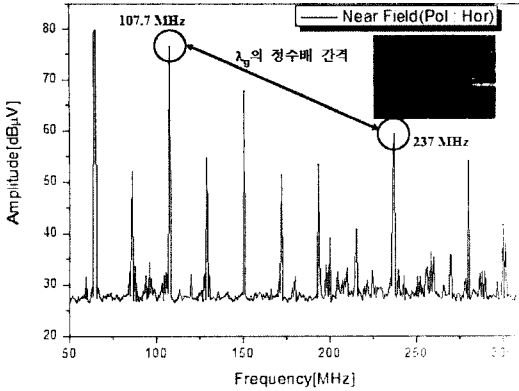


그림 8. CB 간격 설정을 위한 관심 주파수의 정의
Fig. 8. Target frequency in order to define as for CB interval.

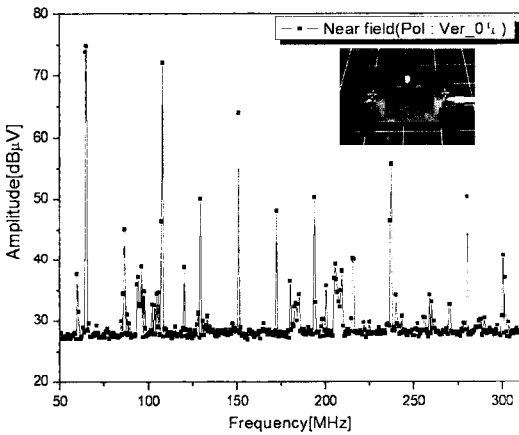
적용후 반드시 시뮬레이션 및 수치 해석을 통해 검증은 해야 한다. 이렇게 검증된 관심 주파수를 최종 확인하기 위해서 2차로 EMI 측정을 수행해야 한다. 여기서 노이즈 문제가 해결이 되면 최종적으로 설계에 반영한다. 여기서 가장 중요한 것은 관심 주파수는 DUT의 물리적 크기를 고려하여 정의하는 것이 매우 중요하다. 즉, 분할된 구조의 크기 및 영역에 따라 CB 간격이 결정되기 때문이다. 그림 7은 관심 주파수를 정의하기 위하여 3 m 전자파 반무반실에서 그림 4의 (b)실험 보드를 이용하여 측정한 결과이다. 가장 큰 크기를 가지는 노이즈 주파수는 동작 주파수(21.54 MHz)의 5차 하모닉인 107.7 MHz이고 ($\epsilon_e=4.57$, $\lambda_g=1.3$ m), λ_g 의 정수배의 크기를 가지는 주파수가 236.94 MHz($\lambda_g=0.59$ m)이다.

그림 9는 그림 8의 조건에서 근접 자계 분포를 측정된 것이다. 프로브는 독일 LANGER사의 수직 자계 프로브(PH-R40)와 수평 자계 프로브(RFSE10)를 사용하였으며, 스펙트럼은 E4407B를 이용하여 프로브로 근접계를 스캔한 것이다. 그림 8의 결과에서 유추된 관심 주파수가 근방계에서도 동일한 결과를 얻을 수 있는지 검증은 해야 한다. 왜냐하면 실제 설계 단계에서는 EMI 측정을 위한 전자파 반무반실을 자주 이용할 수 없기 때문이다. 따라서 설계 단계에 이러한 분석 방법을 적용하여 관심 주파수를 조사하고, 그에 대한 대책을 세워야 한다.

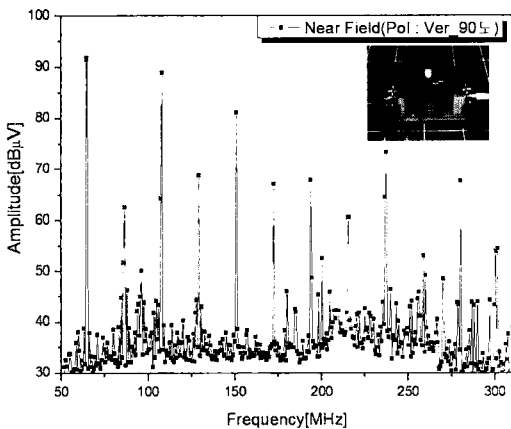
그림 10은 근접 자계 센서를 이용하여 실험용 보드를 스캔한 필드 분포 결과이다. 그림 10의 (a)를 보



(a) 수평 편파 측정 결과
(a) Measurement result of using a horizontal probe



(b) 수직 편파 0° 측정 결과
(b) Measurement result of using a vertical probe(0 degree)



(c) 수직 편파 90° 측정 결과
(c) Measurement result of using a vertical probe(90 degree)

그림 9. 근접 자기 센서를 이용한 측정 결과
Fig. 9. Measurement result using near magnetic field probe.



(a) 분할된 RCP (a) RCP with a split
(b) 저항 3개 연결된 RCP (b) RCP with three resistors

그림 10. 주파수 107.7 MHz에 대한 근접 자기 필드 분포 측정 결과

Fig. 10. Measurement result of near magnetic field distributions at 107.7 MHz.

면 근사적인 다이폴 안테나의 필드 분포와 유사하다. 결국 이 결과로부터 분할된 RCP는 비의도적인 안테나 구조가 된다는 것을 알 수 있다. 이러한 비의도적인 안테나 구조가 EMI와 신호 무결성에 악영향을 미치게 된다. 결국 다중 CB를 이용하여 비의도적인 안테나 구조를 인위적으로 제어하여 EMI 및 신호 무결성 특성을 향상시켜야 한다.

그림 9의 결과에서 알 수 있듯이 64.62 MHz는 21.54 MHz의 3차 하모닉 주파수이다. 그러나 파장을 계산하면 대략 4.64 m가 되므로 DUT의 물리적 크기에 비해 크게 된다. 이것은 적용이 불가능하다. 따라서 관심 주파수는 107.7 MHz가 적당하다. 또한, EMI 측정 결과 그 크기가 가장 크다. 그림 11은 본 연구에서 사용한 실험용 PCB의 분할된 RCP의 CB 간격

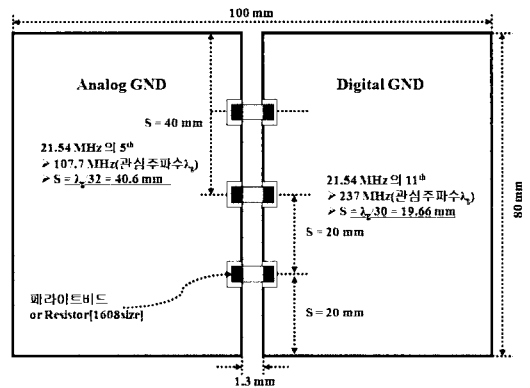


그림 11. 관심 주파수 설정을 통한 다중-CB 설계 적용

Fig. 11. Application of multi-CB design using the defined target frequency.

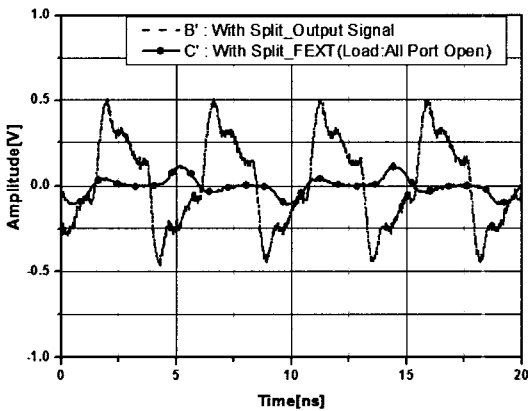
설정 조건으로 페라이트 비드 및 저항의 간격을 정의하고, 그림 8과 그림 9의 결과를 설계에 적용한 것이다.

종합적으로 위의 결과에서 알 수 있듯이 그림 8에서 정의된 관심 주파수 107.7 MHz와 237 MHz는 EMI와 근접계 측정 결과, 노이즈를 저감시켜야 할 주파수들이다. 관심 주파수 선정과 다중-CB 처리에 따른 노이즈 저감 방법에 대한 설계 지침을 확립하기 위하여 시간 영역과 주파수 영역에 대한 시뮬레이션 및 측정을 하였다. 그림 12(a)는 그림 6의 AA'과 CC'를 개방한 상태에서의 출력 신호(B-B')와 A, A', B', C 단자를 개방한 상태에서의 B-C'간의 FEXT(Far-

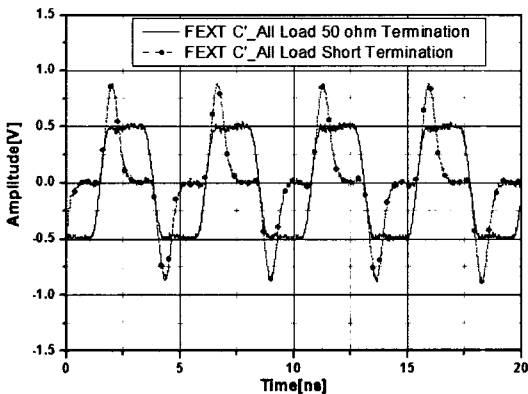
End Crosstalk)를 측정된 결과이다. 그리고 그림 12(b)는 A, A', B', C 단자를 50 Ω 및 단락 부하로 종단시키고 FEXT를 측정된 결과이다.

인접한 신호선의 측면에서 보면 분할로 인해 유기된 신호는 일종의 노이즈가 되어 신호의 품질을 저하시키는 결과가 된다. 표 1과 2는 각각의 실험용 PCB별로 FEXT와 NEXT(Near-End Crosstalk)를 측정 한 결과를 나타낸 것이다.

표 1과 2에서 보는 바와 같이 PCB 분할에서의 CB 조건, 전송 선로 부하의 종단 처리 방법에 따라 원치 않는 FEXT 및 NEXT가 각기 다른 형태로 나타남을 알 수 있다. 이러한 신호의 누화 현상을 억제하기 위해 분할 면에 패드를 이용하여 저항(0 Ω) 및 페라이트 비드(CB1608GA300, 30 ohm@100 MHz)를 연결하



(a) 다른 모든 단자를 개방한 경우
(a) With all ports open



(b) 다른 모든 단자를 50 Ω 및 단락 부하로 종단시켰을 경우
(b) With all ports shortened and 50 ohms terminated

그림 12. 분할된 구조의 C' 단자에서의 FEXT 측정 결과

Fig. 12. FEXT measurement result of C' port to splitted structure.

표 1. 각각의 실험 조건별 C'의 FEXT 측정 결과
Table 1. FEXT measurement result of C' port according to each experimental condition.

	Signal (V_{p-p})	Load: 50 Ω (V_{p-p})	Load: open (V_{p-p})	Load: short (V_{p-p})
Without split	3.291	0.007	0.005	0.024
With split	0.967	1.087	0.229	1.768
Metal bridge	3.187	0.022	0.004	0.079
CB(Bead)	2.982	0.532	0.038	1.13
CB(Resistor)	1.192	1.038	0.208	1.809
CB(3-Beads)	3.280	0.207	0.016	0.603
CB(3-Resistors)	3.309	0.011	0.005	0.041

표 2. 각각의 실험 조건별 C'의 NEXT 측정 결과
Table 2. NEXT measurement result of C' port according to each experimental condition.

	Signal (V_{p-p})	Load: 50 Ω (V_{p-p})	Load: open (V_{p-p})	Load: short (V_{p-p})
Without split	3.291	0.007	0.005	0.024
With split	0.967	1.064	0.207	1.626
Metal bridge	3.187	0.023	0.003	0.079
CB(Bead)	2.982	0.531	0.037	1.067
CB(Resistor)	1.192	1.065	0.194	1.814
CB(3-Beads)	3.280	0.208	0.016	0.592
CB(3-Resistors)	3.309	0.012	0.003	0.041

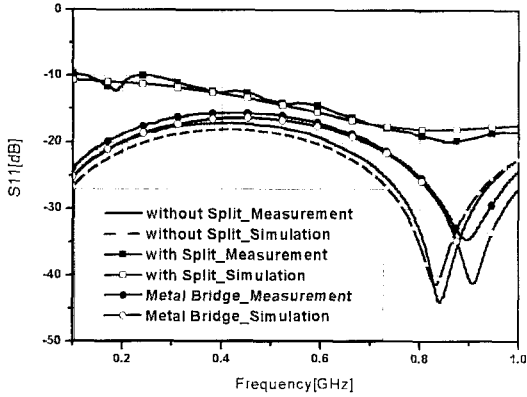


그림 13. 각 분할 조건별(분할이 없는 경우, 분할이 있는 경우, MB가 있는 경우) S_{11} 파라미터 측정 결과 I.

Fig. 13. Measured result for return losses(S_{11}) according to splitting conditions(without a split, with a split, and with a MB).

여 CB를 형성함으로써 누화의 레벨을 현저하게 줄일 수 있다. 일반적으로 분할된 RCP의 CB 간격은 관심 주파수의 $\lambda/20 \sim \lambda/50$ 사이의 값을 선택하도록 권고하고 있다.

그림 13과 14, 15는 분할 구조에서 각 CB 간격에 대한 S-파라미터를 HFSS(v.10) 시뮬레이션과 측정(ZVA 10 MHz~24 GHz)을 통해 주파수 영역으로 분석한 결과이다. 시뮬레이션을 위한 페라이트 등가

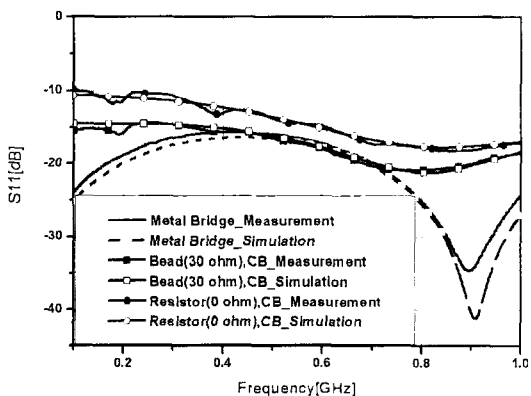


그림 14. 각 분할 조건별(metal bridge가 있는 경우, 페라이트 비드가 있는 경우, 저항이 있는 경우) S_{11} 파라미터 측정 결과 II.

Fig. 14. Measured result for return losses(S_{11}) according to splitting conditions(with a metal bridge, with a ferrite bead, and with a resistor).

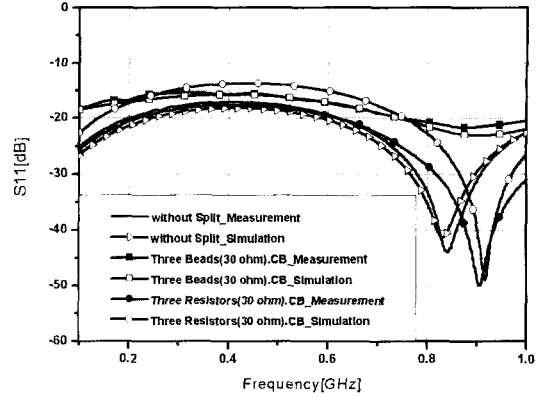


그림 15. 각 분할 조건별(분할이 없는 경우, 페라이트 비드가 3개 있는 경우, 저항이 3개 있는 경우) S_{11} 파라미터 측정 결과 III.

Fig. 15. Measured result for return losses(S_{11}) according to splitting conditions(without a split, with three ferrite-beads, and with three resistors).

모델은 참고문헌 [7]을 참고하였다.

그림 13과 14, 15에서 보는 바와 같이 칩 저항 3개를 20 mm 간격으로 부착했을 경우, 분할 구조가 없는 경우와 거의 유사한 특성을 보인다. 따라서 20 mm 간격으로 저항을 이용하여 부착하면 하나의 RCP을 가지는 효과를 얻을 수 있다. 그리고 부가적으로 영상판(image plane) 이론이 적용되어 상호 인덕턴스 성분이 증가하고, 자체 인덕턴스 값이 감소하므로 EMI 노이즈를 저감시킬 수 있는 저역 통과 필터 구조를 가지게 된다.

IV. 결 론

본 연구를 통하여 분할된 RCP가 신호 무결성에 다음과 같은 상당한 악영향을 미친다는 것을 측정과 시뮬레이션을 통해 분석하고 확인하였다. :

첫째로 RCP의 분할이 전송 신호의 상승 시간 지연과 신호 감쇄를 일으킨다는 것을 확인하였다.

둘째로 RCP의 분할이 인접 신호선에 심각한 누화 현상을 일으킴을 확인하였다.

셋째로 근접 영역에서 RCP상의 분할이 심각한 노이즈 문제를 야기시킨다는 것을 확인하였다.

이러한 RCP 분할에 의한 원치 않는 효과는 분할된 RCP에 metal bridge을 만들어 주거나, 페라이트

비드 또는 0 [Ω] 저항을 이용하여 CB를 다중 연결할 경우 저항이 더욱 더 큰 효과를 발휘하고, 그림 11과 같이 관심 주파수를 정확히 선정하였을 경우, 위의 세 가지 경우 모두에서 상당한 효과를 발휘한다는 것을 확인하였다.

결론적으로 EMC를 고려한 PCB 설계에 있어서 특정한 목적으로 전력면이나 RCP를 분할해야 하고, 그 위로 신호선이 지나가야 할 경우, 신호의 RCP 확보 측면에서 설계 단계에 MB를 주거나, 페라이트 비드 또는 저항을 추가할 수 있도록 PCB 패드(pad)와 같은 CB를 추가하여 전자파 장애 문제에 대응할 수 있도록 해야 한다. 또한, 일반적으로 페라이트 비드가 좋은 효과를 발휘한다고 알고 있으나, 실제 측정과 시뮬레이션을 통해 알아본 결과, 0 [Ω] 칩 저항을 다중으로 연결할 경우, 신호 무결성 측면에서 더욱 효과적임을 알 수 있었다. 이것은 높은 주파수 대역까지 다중 저항이 저역 통과 필터로서 동작한다는 것을 의미한다. 부가적으로 이러한 저항 사이의 간격에 의한 ESL과 ESR 그리고 ESC의 상관관계는 참고문헌 [1]을 참고하기 바란다.

참 고 문 헌

[1] Jinkook Kim, Heeseok Lee, and Joungho Kim, "Effect on signal integrity and radiated emission by

split reference plane on high-speed multilayer printed circuit boards", *IEEE Trans. on Advanced Packaging*, vol. 28, no. 4, Nov. 2005.

[2] Y. Ko, K. Ito, J. Kudo, and T. Sudo, "Electromagnetic radiation properties of a printed circuit board with a slot in the ground plane", *IEEE Int'l. Symp. Electromagnetic Comp.*, 1999.

[3] K. Armstrong, "Advanced PCB design and layout for EMC-Part 2: Segregation and interface suppression", *EMC&Compliance Journal*, pp. 32-42, May 2004.

[4] T. Hubing, "PCB EMC design guidelines: A brief annotated list", *Proc. of the 2003 IEEE Int'l. Symp. EMC*, Boston, MA, pp. 34-37, Aug. 2003.

[5] H. Jhonson, Martin Graham, *High-Speed Digital Design: A Handbook of Black Magic*, PH PTR, 1993.

[6] Kenneth L. Kaiser, *Electromagnetic Compatibility Handbook*, CRC Press, 2004.

[7] Tae Hong Kim, Junho Lee, Hyungsoo Kim, and Joungho Kim, "3 GHz wide frequency model of ferrite bead for power/ground noise simulation of high-speed PCB", *Electrical Performance of Electronic Packaging*, pp. 21-23, Oct. 2002.

정 기 범



1999년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학사)
 2001년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년~현재: 한양대학교 전파공학과 박사수료
 2004년~현재: EMC기술지원센터 팀장

[주 관심분야] EMI/EMC 측정 및 설계·대책, EMC를 고려한 PCB 설계, EMC Management Plan

전 창 한



2006년 2월: 서경대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2006년 2월~현재: EMC기술지원센터
 [주 관심분야] EMC

정 연 춘



1984년 2월: 경북대학교 물리학과 (이
학사)

1986년 2월: 경북대학교 물리학과 (이
학석사)

1999년 8월: 충남대학교 전자공학
과 (공학박사)

1985년 12월~2001년 5월: 한국표

준과학연구원 전자기환경그룹 책임연구원, 그룹장

200년 3월~2001년 2월: Univ. of York, Visiting Academics

2001년 6월~2002년 2월: (주)AMIC 중앙연구소장, 부사장

2002년 3월~현재: 서경대학교 정보통신공학과 교수

[주 관심분야] EMI/EMC 측정 및 대책기술, 전자파재료