

# 귀환 전류 평면의 분할에 기인하는 복사 방출 영향의 효과적인 대책 방법

## An Effective Mitigation Method on the EMI 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 위해서 이루어지지만, 각 서브 시스템 사이에 연결된 신호선이 존재하는 경우 이러한 분할은 원치 않는 효과를 발생시킨다. EMI(Electromagnetic Interference) 측면에서 전자파의 복사 방출을 증가시키는 주된 요인이 된다. 이러한 전자파 복사 방출 노이즈를 저감시키기 위한 해결 방법으로 component bridge(저항 브릿지, 커패시터 브릿지, 페라이트 비드 브릿지 등: CB)가 사용되고 있지만, 아직 정확한 CB의 사용 지침이 부족한 실정이다. 본 논문에서는 EMI 측면에서 다중-CB 사용 방법에 대한 설계 원리를 측정을 통해 전자파 복사 방출을 분석하고, 노이즈 저감 방법에 대한 설계 방법을 제시하고자 한다. 일반적으로 다중-CB 사이의 간격은  $\lambda/20$ 으로 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 저항이 EMI 측면에서 분할된 RCP의 노이즈 저감에 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 subsystem, this partition will cause unwanted effects. 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 radiated emission, still specific user's guide doesn't give sufficient principle. In a view point of EMI, design principle of multi-CB using method will be analyzed by measurement. And design principle of noise mitigation will be provided. Generally interval of multi-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. Multi-connected chip resistance( $0 \Omega$ ) is proved to be more effective design method in the point of EMI.

Key words : Return Current Plane(RCP), EMI, Component Bridge(CB), PCBs

「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)

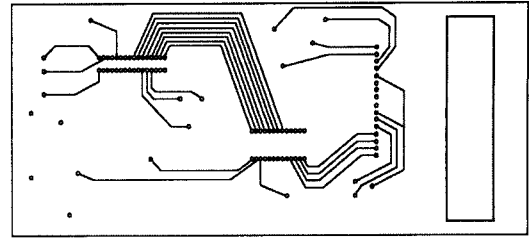
· 논문 번호 : 20080111-006

· 수정완료일자 : 2008년 2월 19일

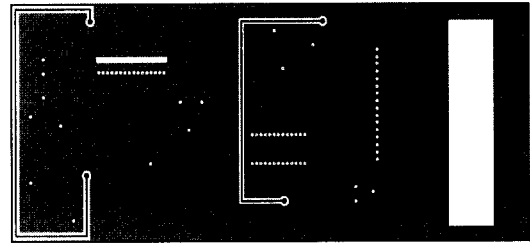
## I. 서론

고속 디지털 시스템의 등장과 함께 특정한 목적으로 PCBs(Printed Circuit Boards)의 귀환(歸還) 전류 평면(Return Current Plane: RCP)을 분할(Split)해야 할 필요성이 대두되고 있다. 반면에 RCP상에 분할, 슬롯(slot) 그리고 비아 홀(via-hole)과 같은 불연속 지점이 발생된다. 이러한 불연속 지점이 발생할 경우, 디지털 신호의 손실이나 누화(crosstalk)와 같은 원치 않는 효과에 대한 각각의 논의가 이루어져 왔다<sup>[1][2]</sup>. 하지만 RCP 및 전원면(power plane)에 대한 EMI(Electromagnetic Interference) 현상을 분석하고 해석하는 연구는 활발히 진행되지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 RCP의 분할에 의해 발생할 수 있는 전자파 복사 방출 현상에 대한 분석을 통해 EMI 노이즈를 저감시킬 수 있는 효과적인 다중-CB 설계 방법에 대해서 살펴보고 개선된 설계 방법을 제시하고자 한다. 일반적으로 RCP의 분할이나 불연속은 EMI 노이즈를 상승시키는 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 EMI 노이즈 발생 현상을 3 m 전자파 반무반사실에서 측정을 통해 확인하여 분할된 RCP가 어떤 원치 않는 효과들 야기시키는지 확인하였다. 또한, 이러한 원치 않는 효과(EMI 노이즈 증가)를 억제하기 위한 방법으로 다중-CB를 이용한 페라이트 비드, 칩 저항을 사용하여 분할 간격  $\lambda/20 \sim \lambda/50$ <sup>[3][4]</sup>에 따른 노이즈 저감 효과에 대한 영향을 살펴보고, 다중-CB 연결 시 제시된 구조에서 어떤 CB의 종류가 EMI에 가장 효과적인지에 대한 설계 방법을 제안하고자 한다.

그림 1은 일반적인 RCP의 불연속이 왜 발생할 수밖에 없는지에 대한 예를 보여주고 있다. 그림 1에서 "A"는 RCP에 손상을 주어 올바른 설계 방법이 아니며, "B"는 RCP에 최대한 불연속 지점을 축소하는 설계 방법이다. "C"는 비아 홀이 RCP에 손상을 주는 형태이며, 슬롯의 형태를 취하고 있다. "E"는 비아 홀이 비록 존재하지만 귀환 전류의 경로를 확보하고 있는 형태이다. 따라서 일반적으로 RCP상에 비아 홀이나 신호선이 존재하더라도 "B"와 "E"의 형태를 취하는 것이 가장 일반적인 설계 지침이 된다.



(a) 신호층(내층) 또는 Top층  
(a) Signal layer(inner layer) or top layer



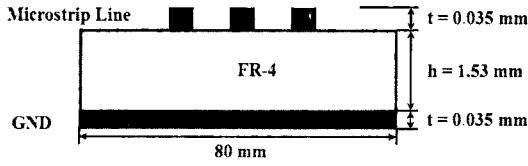
(b) RCP(내층)  
(b) RCP layer(inner layer)

그림 1. 다층 PCB의 일반적인 RCP 불연속 구조의 예  
Fig. 1. Conventional structure for discontinuity a RCP of multi-layer printed circuit board.

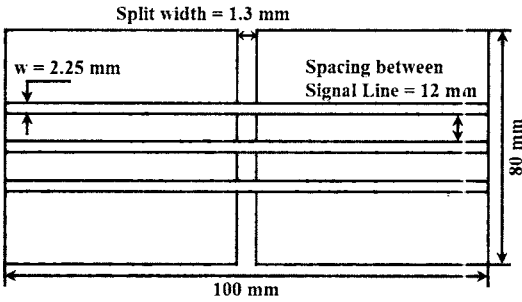
## II. RCP 분할의 실험용 PCB 제작

본 연구에서는 일반적인 PCB의 경우와 같이 아날로그와 디지털부의 RCP가 분할되고, 그 분할된 평면 위를 신호선이 가로 질러 존재하는 경우에 국한하여 연구를 하였다. 분할 구조에 따른 다중-CB 간격에 대한 정의와 제시할 설계 방법의 상관 관계를 분석하기 위해 실험용 PCB를 제작하였다. 그림 2는 본 논문에서 사용된 신호선이 3개인 마이크로스트립 구조의 PCB 구조를 보여주고 있다. 그림 2는 metal bridge(MB), 다중 CB로 실험을 할 수 있도록 제작되었다. 또한, MB와 CB의 간격에 대한 선정은 관심 주파수와 관계가 있다. 여기서 관심 주파수의 선정은 하모닉 주파수 중에서 EMI 문제를 발생시키는 주된 노이즈 주파수 성분을 의미한다.

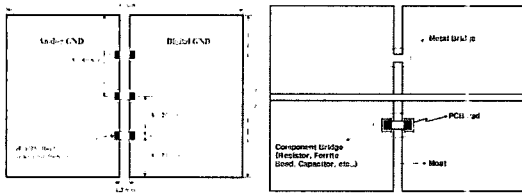
마이크로스트립에 사용된 유전체 기판은 FR-4로 유전율( $\epsilon_r$ )이 4.5이며 전체 두께가 1.6 mm이고, 동박층의 두께는 1 oz(0.035 mm)이다. 그림 3은 제작된 각 실험 모드별(without split, with split, metal bridge, component bridge)로 제작된 PCB를 보여주고 있다.



(a) 단면  
(a) A cross section



(b) 윗면  
(b) The upper side

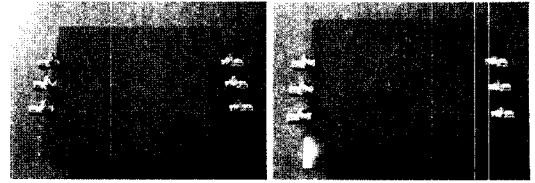


(c) 뒷면(분할된 RCP) (d) 용어 설명  
(c) The back side(splitting of the RCP) (d) Description of terminology

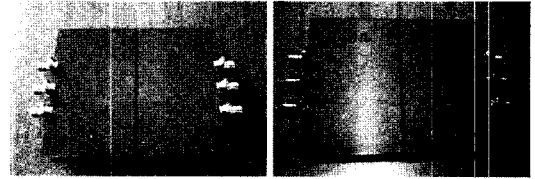
그림 2. 아날로그와 디지털부의 RCP가 분할된 마이크로스트립 구조 PCB 제작  
Fig. 2. The fabricated PCB as a microstrip structure for splitting a RCP into analog and digital parts.

### III. RCP 분할에 의한 복사 방출(Radiated Emission) 분석 및 저감 방법

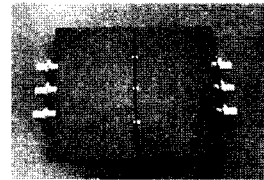
분할된 RCP는 EMI를 크게 증가시키는 요인이 된다. 분할 구조 자체가 하나의 등가 다이폴 안테나 구조가 된다. 특히 분할에 의해 형성되는 공진 주파수와 신호의 전기적 파장이 일치하는 경우, 많은 양의 전자파가 방출되어 심각한 EMI 문제를 발생시킨다. 그림 4는 분할에 의해 형성되는 EMI 효과를 관찰하기 위해 사용된 실험용 PCB 구조이다. 부하의 조건을 50 Ω과 단락, 개방으로 중단시켰을 경우, 복사 방



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



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



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

그림 3. 측정에 사용된 실험용 PCBs  
Fig. 3. Experimental setup for measurement using PCBs.

출 노이즈의 효과가 어떻게 변하고, 이러한 조건하에 다중 CB 간격과 페라이트 비드 및 칩 저항에 따른 CB의 복사 방출 노이즈 저감 효과를 분석하도록 하겠다.

그림 4에서 중앙의 신호선 이외의 나머지 모든 포트들은 개방, 중단, 단락 조건하에 측정을 하였다. 또한, 3 m 전자파 반무반사실에서 테이블을 360도 회전하고, 안테나 높이를 4 m까지 스캔하여 최대값(max-hold)을 측정하였다. 그리고 부하 조건에 따라 개방, 단락, 중단별로 측정을 하였다. 또한, 사용된 페라이트 비드 모델은 CB1608GA300이다. 시뮬레이션을 위하여 칩 페라이트 비드 모델링은 그림 5와 같이 사용하였다<sup>[5]</sup>.

그림 6과 표 1은 분할의 존재 유무에 따른 EMI 측정 결과이다. 분할에 의한 전자파 방사가 300 MHz

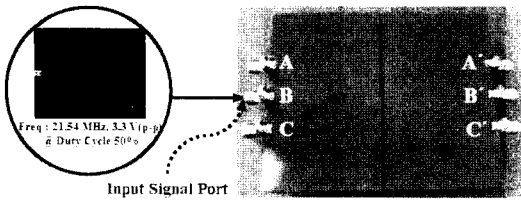
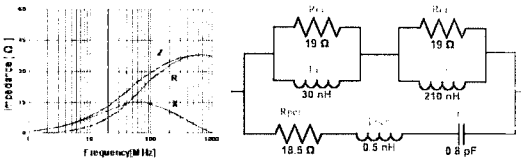
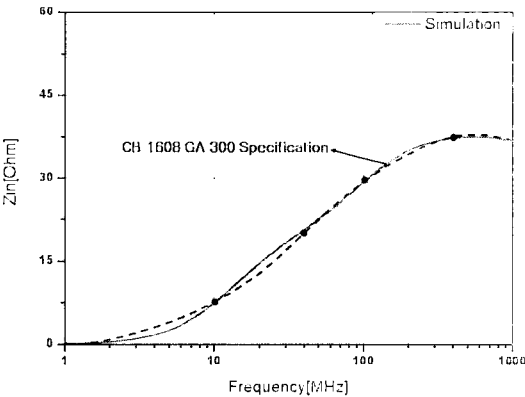


그림 4. RCP 분할에 의한 EMI 측정용 PCB와 인가 신호 파형(뒷면 및 접지면)

Fig. 4. Incident signal wave and experimental setup for PCB EMI measurement by splitting a RCP (the back-side view and ground plane).



(a) 칩 페라이트 비드 Spec. (b) 사용된 회로 모델  
(a) Specification of a chip ferrite bead (b) Used circuit model



(c) 시뮬레이션 결과  
(c) Result of the simulation

그림 5. 페라이트 비드 사양과 회로 모델  
Fig. 5. Ferrite bead specification and circuit model.

이하에서 현저하게 노이즈 방출이 많이 됨을 알 수 있다. 분할이 있는 경우, EMI 문제 또한 심각하게 야기시킨다는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 부하 조건에 따른 EMI 측정 결과이다. 여기서 부하 조건 즉, 부하가 50 Ω, 단락, 개방일 경우, 부하가 단락일 때 가장 EMI 레벨이 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 시간 영역의 누화 현상 분석에서도 동일한 결과를 얻었다.

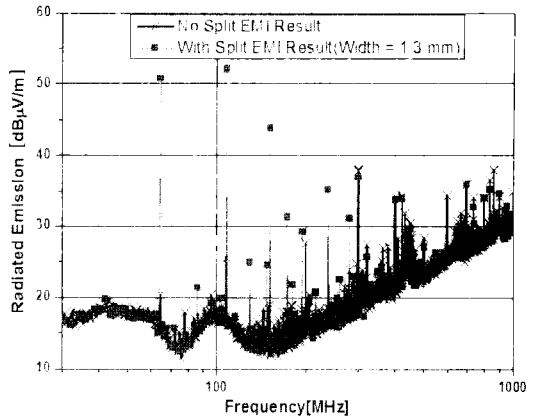


그림 6. RCP 분할 유무에 따른 EMI 측정 결과  
Fig. 6. Measurement result of EMI according to split present or not of RCP.

표 1. RCP 분할 유무에 따른 EMI 측정 결과(dB μV/m)(부하 조건: 정합)

Table 1. Measurement results of EMI according to split present or not of RCP(dB μV/m)(load: matched).

주파수[MHz]	분할이 없는 경우	분할이 있는 경우
64.56	20.3	50.7
107.76	25.6	52.1
150.96	19	43.8
194.16	18.3	29.2
237.36	16.6	35.1

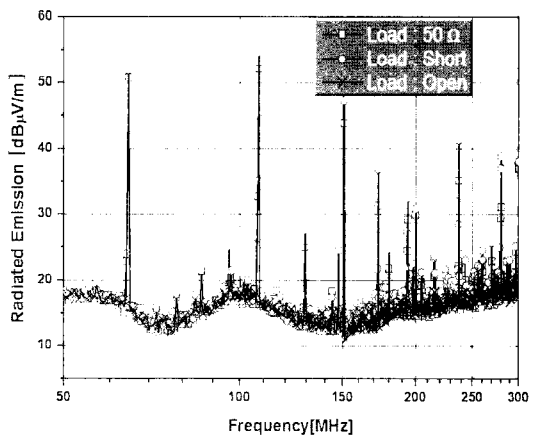


그림 7. B-B'의 부하 조건에 따른 EMI 측정 결과  
Fig. 7. EMI measurement result according to load condition of B-B' port.

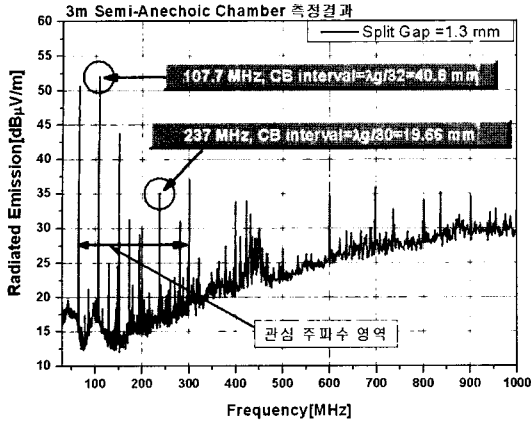
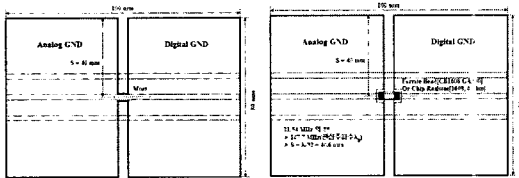
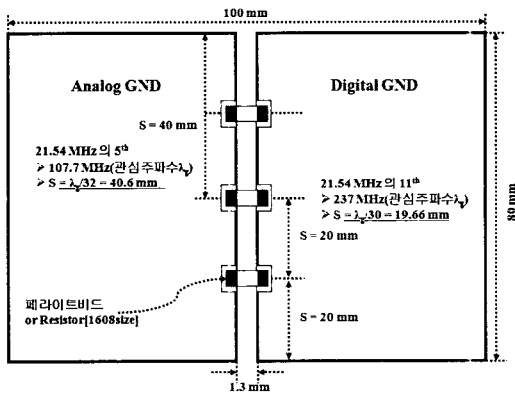


그림 8. CB 간격 설정을 위한 관심 주파수 정의  
Fig. 8. Target frequency in order to define as for CB interval.

그림 8의 결과로부터 가장 큰 크기를 가지는 노이즈 주파수는 동작 주파수(21.54 MHz)의 5차 하모닉인 107.7 MHz이고( $\epsilon_r=4.57$ ,  $\lambda_g=1.3$  m),  $\lambda_g$ (guided



(a) 단일 MB 구조 (b) 단일 CB 구조  
(a) With a MB structure (b) With a CB structure



(c) 다중-CB 구조(뒷면 및 접지면)  
(c) With three multi-CBs structure(the back-side view and ground plane)

그림 9. MB, CB, 다중 CB에 대한 정의 및 측정 모드  
Fig. 9. Measurement mode and define for MB, CB, and multi-CB.

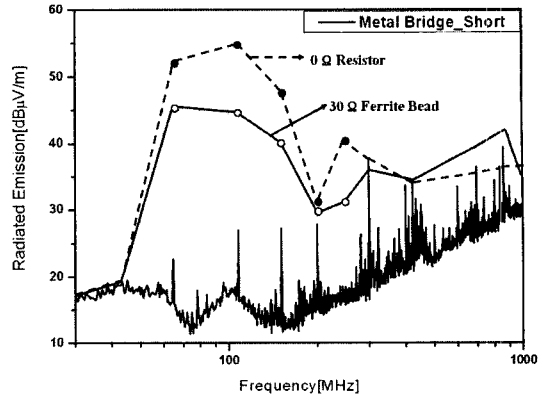


그림 10. MB 및 단일 CB에 따른 복사성 방출 측정 결과(부하 조건: 단락)

Fig. 10. Measurement result of radiated emission according to a MB and a CB(load condition: short).

표 2. 부하 조건별 MB 및 단일 CB에 따른 복사 방출 측정 결과(dB μV/m)

Table 2. Radiated emission measurement result of MB and a CB according to each load condition (dB μV/m).

Load Condition: Matched			
주파수[MHz]	Metal Bridge	Bead	0 Ω 저항
64.56	21.6	38.1	50.8
107.76	21.1	42.4	52.3
150.96	18.5	37.9	44.1
194.16	18.8	27.2	29.4
237.36	18.6	28.0	34.5
Load Condition: Open			
64.56	24.2	24.4	42.6
107.76	27.1	35.4	44.8
150.96	20.4	32.8	38.3
194.16	15.9	25.9	27.7
237.36	20.7	28.9	31.9
Load Condition: Short			
64.56	22.7	45.4	52
107.76	27	44.6	54.9
150.96	27.3	40.4	47.6
194.16	19.4	27.9	32.5
237.36	17.7	31.5	40.6

wavelength)의 정수배의 크기를 가지는 주파수가 236.94 MHz( $\lambda_g=0.59$  m)이다. 여기서 주의해야 할 것

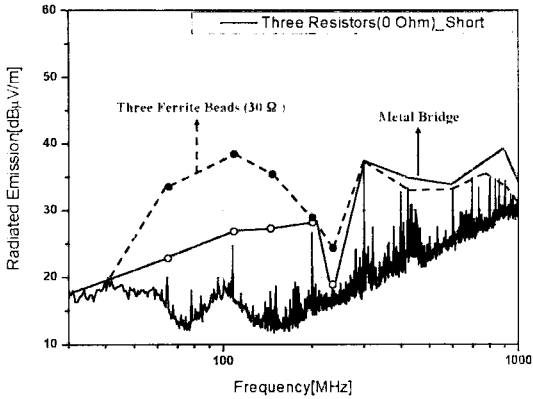


그림 11. 다중-CB에 따른 복사 방출 측정 결과(부하 조건: 단락)

Fig. 11. Measurement result of radiated emission according to multi-CB(load: short).

은 관심 주파수의 선정이 끝나면 반드시 그 관심 주파수의 하모닉 성분 즉, 관심 주파수의 파장에 대한  $\lambda_g$ 의 정수배가 되는 파장을 함께 고려를 해야 한다. 그림 9는 단일 MB와 단일 CB 그리고 다중-CB 간격에 대한 설명과 EMI 측정 모드의 설명이다.

그림 10과 표 2의 결과를 비교해 보면 분할이 있을 때와 저항 0 Ω을 달았을 경우, 복사 방출량이 비슷한 것으로 보아 0 Ω 저항을 다는 것은 복사 방출의 억제에 효과가 상대적으로 없음을 알 수 있다. 그러나 MB와 페라이트 비드 한 개(CB)를 달았을 경우, 복사 방출량이 현저하게 감소하는 것을 확인할 수 있다.

그림 11은 다중-CB 구조하에서 저항과 페라이트 비드를 3개 연결한 구조의 복사 방출량을 측정한 결과이다. 다중-CB의 경우, 저항(0 ohm)을 연결한 결과가 실제 분할이 없는 것과 유사한 결과를 얻을 수 있다. 표 3은 이러한 결과를 부하 조건별로 측정한 결과이다.

그림 11과 같이 관심 주파수를 정확히 예측하여 다중-CB로 연결 시에는 표 4에서 알 수 있듯이 분할이 없는 경우보다 더 우수한 복사 방출 저감 효과를 보여주고 있다.

결론적으로 관심 주파수 영역(50 ~ 237 MHz)에서 복사 방출 노이즈를 저감시키기 위해서 일반적으로 알려진 페라이트 비드를 다중으로 연결하는 것보다 저항을 다중으로 연결하는 것이 더 효과적이라는 사

표 3. 부하 조건별 다중-CB에 따른 복사 방출 측정 결과(dB  $\mu$ V/m)

Table 3. Radiated emission measurement results of multi-CB according to each load condition(dB  $\mu$ V/m).

주파수 [MHz]	Bead 3개			0 Ω 저항 3개		
	Match	Open	Short	Match	Open	Short
64.56	29.7	17.8	34.4	20.9	24	20
107.76	34.1	26.2	38.5	24.9	26.5	24.7
150.96	30.3	22.8	35.4	15.9	19.9	18.7
194.16	21.7	20.3	23	17.6	16.3	18
237.36	22.6	25.8	24.8	16.6	18.4	15.7

표 4. 최종 EMI 측정 결과(부하 조건: 정합)(dBuV/m)

Table 4. Finally EMI measurement results(load: Matched)(dBuV/m).

주파수[MHz]	분할이 없는 경우	0 Ω 저항 3개
64.56	20.3	20.9
107.76	25.6	24.9
150.96	19	15.9
194.16	18.3	17.6
237.36	16.6	16.6

실은 매우 주지할 만한 결과이다. 그림 12는 부하가 정합된 조건하에 측정 결과와 시뮬레이션(HFSS, v-10) 결과를 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과는 3 m 거리의 최대 필드값을 검출한 결과이다. 시뮬레이션과의 편차가 6 dB 이내로 근사적으로 측정 결과와

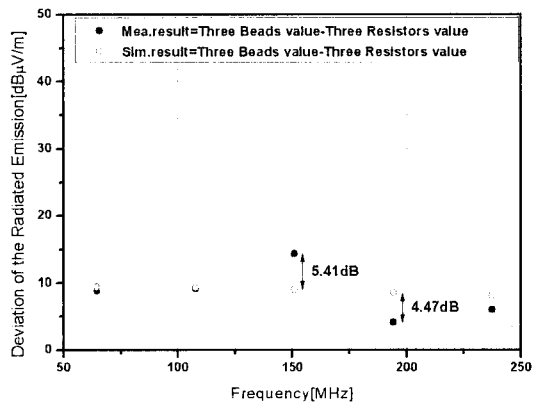


그림 12. 복사 방출의 시뮬레이션 결과 및 측정 결과 비교

Fig. 12. Compare simulation with measurement result of the radiated emission.

유사한 경향성을 보이고 있다.

따라서 본 연구에서 제시한 구조에서 20 mm 간격 ( $\lambda_g/30$ )으로 다중으로 저항을 이용하여 부착하면 하나의 RCP를 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 EMI 복사 방출에 있어서 의도하지 않는 안테나로 동작하여 심각한 EMI 문제를 야기시킨다는 것을 확인하였다. 이러한 RCP에 의한 원치 않는 효과는 제안된 구조에서 분할된 RCP상에 CB를 주어 0 [Ω] 저항을  $\lambda_g/30$  간격 (19.66 mm)으로 달아주었을 경우, 상당한 효과를 발휘한다는 것을 확인하였다. 그러나 다중 연결시 일반적으로 알려진 페라이트 비드보다는 다중 저항 CB가 EMI 노이즈 저감에 더 효과적이다. 그러나 여기서 한 가지 주의해야 할 점은 일반적으로 분할을 사용하는 경우는 신호의 노이즈를 격리할 목적으로 사용한다는 점을 간과해서는 안 된다. 신호를 위한 노이즈 격리 목적에 부합하도록 다중 연결시 주의해야 한다. 결론적으로 EMC를 고려한 PCB 설계에 있어서 특정한 목적으로 전력면이나 RCP를 분할해야 하고, 그 위로 신호선이 지나가야 할 경우, 설계 단계에서 MB를 만들어 주거나, 페라이트 비드 또는 저항을 추가할 수 있도록 패드(pad)와 같은 CB를 추가하여 전자파 장애 문제에 대응할 수 있도록 해야 한다. 또한, 일반적으로 페라이트 비드가 좋은 효과를 발휘한다고 알고 있으나, 실제 EMI 측정을 통해

알아본 결과, 0 Ω 저항을 여러 개 연결할 경우, 장애 전자파 복사 방출에 더욱 효과적임을 알 수 있었다. 따라서 설계자는 설계 초기에 RCP에 되도록 불연속 지점이 생기는 것을 피하고, 반드시 다중 저항 연결이 가능하도록 CB를 위한 패드(pad)를 설계에 반영하여야 한다. 부가적으로 분할된 RCP에 존재하는 ESL과 ESR 그리고 ESC에 대한 노이즈 상관 관계는 참고문헌 [1]을 참고하기 바란다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Jinkook Kim, Heeseok Lee, and Jounggho 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] Tae Hong Kim, Junho Lee, Hyungsoo Kim, and Jounggho 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

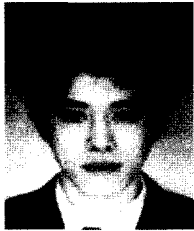
정 연 춘



1984년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학사)  
1986년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학석사)  
1999년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)  
1985년 12월~2001년 5월: 한국표준과학연구원 전자기환경그룹 책임연구원, 그룹장

2000년 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

전 창 한



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