

저전력 스위칭 전원회로에서의 EMI 분석 및 대책

鄭 龍 采

EMI Analysis and Solution for Low Power Switching Power Supply

Yong-Chae Jung

요 약

스위칭 전원회로에서의 EMI 대책에는 여러 가지 것들이 있다. 이는 크게 노이즈 원에서의 대책, 경로 대책 그리고 필터 대책으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 쉽게 필터 대책을 할 수 있는 방법을 간단히 설명하고 경로 대책에 관해서 집중적으로 검토한다. 특히 요즘에 폭넓게 사용되어지는 각종 SMPS에 대하여 샴시 유무에 따른 EMI 감쇠 방법을 제시하고 10W급 플라이백 SMPS를 이용하여 이러한 방법들을 시험을 통해서 확인했다.

ABSTRACT

There are several ways for reducing EMI(Electromagnetic Interference) in the switching power supply, which can be largely divided into suppression methods in the noise source, noise path solution, and attenuation techniques using the filter. In this paper, the method will be discussed to simplify the design process of the filter along with the noise path solution. In particular, some practical EMI suppression methods are suggested for SMPS, which is widely used recently, with or without a chassis, respectively and also verified through the experimental results of a 10W flyback converter.

Key Words : EMI, SMPS, Suppression Methods, Solution

1. 서 론

전자파에 대한 관심이 높아지고 있는 요즘에 우리 주위에는 전자파 노이즈를 많이 발생시키는 SMPS라는 스위칭 전원회로를 많이 사용하고 있다. 특히 최근에는 휴대성을 강조하다보니 어댑터도 SMPS로 구성하는 것이 추세이다. 뿐만 아니라 충전기, 컴퓨터 등 전원회로를 사용하는 제품이 가정에서도 많이 사용되고 있다.

이러한 SMPS를 설계하는데 있어서 항상 겪게되는 것이 EMI(Electromagnetic Interference) 문제이다. 그래서 EMI를 줄이기 위한 많은 연구가 이뤄지고 있다.^[1-6] 그 중 노이즈를 차동모드와 공통모드로 분리하여 노이즈의 유형을 분석하고 이에 적합한 필터를 디자인하는 방법에 대한 연구는 매우 획기적인 일이다.^[2,5]

다.^[2,5]

하지만 가장 근본적인 방법은 노이즈 소스와 경로에 대한 대책이다. 이것이 시간과 비용을 줄일 수 있는 방법인데도 이에 대한 그 동안의 연구는 주로 비현실적인 제안이 많았고 또한 체계적이지 못해서 제품 설계자들에게는 EMI에 대한 대책이 여전히 어려운 숙제로 남아있어 기존의 경험에 의한 trial and error 방식을 취하고 있다.

따라서 본 논문에서는 저전력 전원회로로 가장 많이 사용되는 플라이백 방식의 SMPS를 선택하여 EMI 노이즈를 분석하고 대책방법을 제시하고자 한다.

특히, 노이즈 전류를 빼줄 수 있는 샴시의 유무에 따라서 현실적으로 사용할 수 있는 대책방법을 제시하고, 전용 IC를 사용한 10[W] SMPS에 대한 실험결과를 통해서 제안된 방법의 타당성을 입증하였다.

2. EMI 노이즈의 이해

국제적으로 규제를 하고 있는 전자파 적합성(EMC : Electromagnetic Compatibility)은 그림 1과 같이 분류할 수 있는데 이 중 emission이라 불리는 EMI는 전원선을 타고 나가는 전도성분 (CE ; 150kHz~30MHz)과 공중으로 나가는 방사성분 (RE ; 30MHz~1GHz)으로 나뉜다. 주로 shielding이나 grounding으로 대책을 세우는 방사성분은 제외하고 본 논문에서는 전도 EMI인 CE에 대한 분석과 대책 안을 제시하고자 한다.

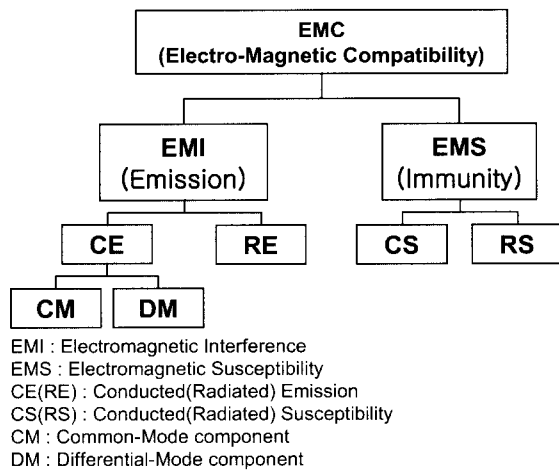


그림 1 EMC의 분류
Fig. 1 Classification of EMC

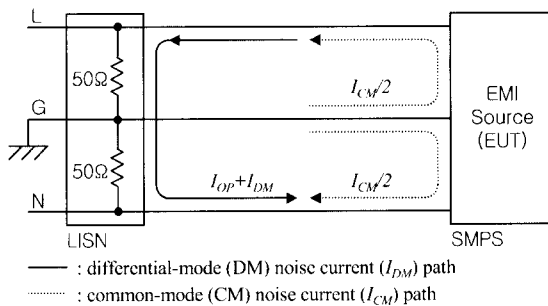


그림 2 각 EMI 노이즈 전류의 경로
Fig. 2 Path of each EMI noise current

그림 2에서 보는바와 같이 접지선을 포함한 입력 3 단자에 흐르는 전류를 분석해보면 동작전류 I_{OP} 에 두 가지 노이즈 전류가 중첩되어 흐른다. 이러한 두 가지 종류의 노이즈 전류를 각각 공통모드 (common-mode : CM) 노이즈 전류 I_{CM} 과 차동모드

(differential-mode : DM) 노이즈 전류 I_{DM} 이라고 한다. 이러한 두 전류가 결합되어 전체 노이즈 전류가 되는데 이는 LISN(Line Impedance Stabilization Network)을 통해서 전압으로 검출되고 각 규제에서 제시하는 한계선(limit line)을 넘으면 안 된다.

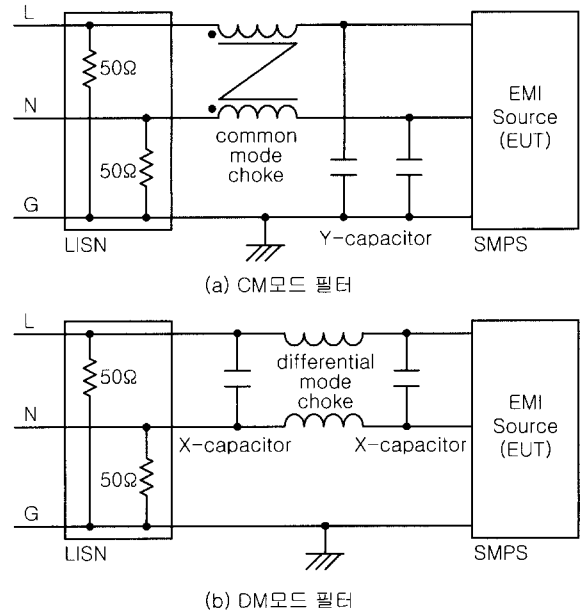


그림 3 각 모드별 대책필터의 예
Fig. 3 Example of solution filter of each mode

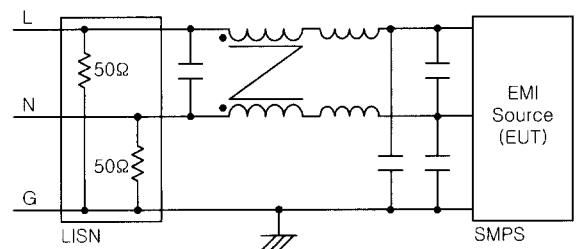


그림 4 전체 EMI 대책필터의 구성 예
Fig. 4 Configuration example of total EMI solution filter

그림 3은 각 모드별 대책방법으로 각 모드별 필터를 결합하면 그림 4와 같은 전체 필터가 된다. 그림 3(a)는 CM대책으로 여기에 사용되는 캐패시터는 Y-캐패시터라 부르며 하나의 캐패시터가 단락 되었을 때 누설전류에 의한 감전을 방지하기 위해서 보통 6,800[pF] 이하의 캐패시터를 사용하는데 이는 제품마다 약간씩

차이가 있다. 또, CM대책으로 사용되어지는 트랜스포머를 CM초크라고 하며 DM에 대해서는 자속이 서로 상쇄되어 누설 인덕턴스 성분만이 DM으로서 동작한다. 그림 3(b)는 DM대책으로 여기에 사용되는 캐패시터를 X-캐패시터라고 하며 용량에는 제한이 없다. 여기에 사용되는 인덕터는 주로 CM초크의 누설 인덕턴스로 대치하지만 부족할 때는 추가로 DM초크를 삽입한다. DM초크에는 전체 시스템의 동작전류가 흐르기 때문에 포화를 고려하여 설계해야 한다.

각 필터의 형태는 캐패시터만 단독으로 있는 C-필터, 인덕터만 단독으로 있는 L-필터, LC-필터, CL-필터, π -필터 등 기본적으로 저주파 통과 필터이다.

만일 EMI 노이즈 전류를 각 모드별로 분리할 수 있다면 각 모드의 특성을 보고 필터 대책을 하는 시간은 최소화할 수 있을 것이다.^{12, 51}

3. EMI 노이즈 측정 방법

EMI는 CISPR 규제를 따르는데 제품군에 따라서 각각 다음과 같은 규격을 따른다.

- CISPR 14-1: Household Appliance, Electric Tools and Similar Apparatus

- CISPR 11 : ISM(Industrial Scientific and Medical) 기기
- CISPR 13 : 방송수신용 기기
- CISPR 22 : 정보기기

이 중 가정에서 사용되는 SMPS는 CISPR 14-1의 규제를 따르며 한계선은 그림 5와 같이 150kHz에서 30MHz의 주파수 범위에서 정해진 값을 갖는다.

여기서 윗 선은 quasi peak선이고 아래 선은 average선이다. 참고적으로 위의 다른 규제들은 150kHz에서의 시작점이 quasi peak 값은 66[dBuV]이고 average 값은 56[dBuV]이다.

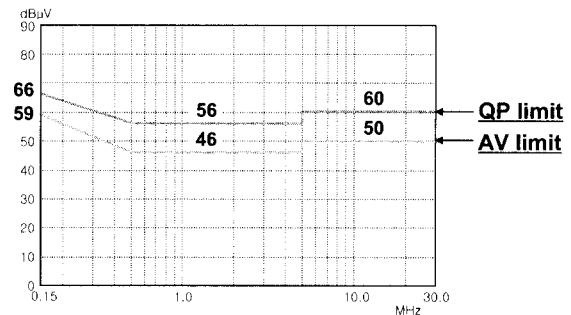


그림 5 CISPR 14-1의 한계선
Fig. 5 Limit lines of CISPR 14-1

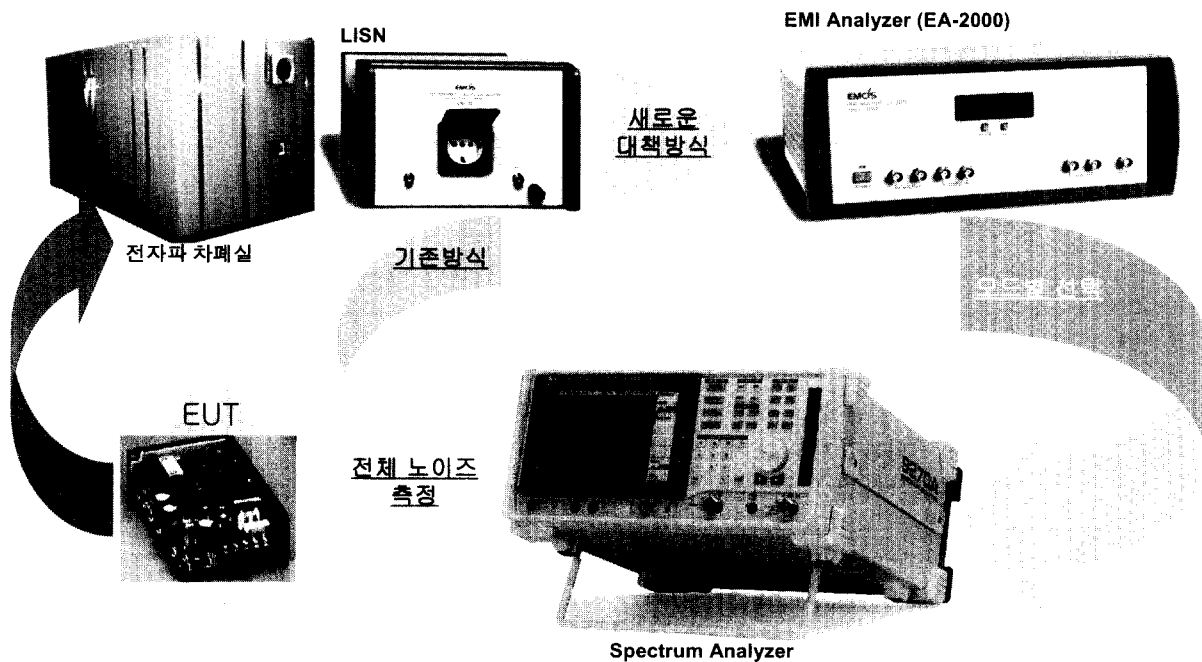


그림 6 측정 시스템의 구성
Fig. 6 Configuration of measuring systems

Spectrum analyzer 내부의 detector에서 검출하는 것은 peak, quasi peak 그리고 average 세 가지 값이다. peak 값은 detector의 충전 시간(charging time)이 100[ns]와 100[s]이다. 반면에 quasi peak 값은 1[ms]와 160[ms]이다. 따라서 항상 식 (1)과 같은 관계를 갖고 있다.

$$\text{peak 값} > \text{quasi peak 값} > \text{average 값} \quad (1)$$

quasi peak 값 측정에는 peak 값 측정 시 보다 많은 시간이 걸린다. 그래서 일반적으로 주로 peak 값을 측정하여 문제되는 부분만 quasi peak 값을 측정한다. 따라서 본 논문에서도 peak 값만을 측정하였다.

기존의 측정 시스템은 그림 6과 같이 시험할 제품(EUT)을 전자파 차폐실에 넣고 LISN을 통해서 나오는 신호를 spectrum analyzer로 측정을 하였다. 이 측정값은 앞에서 언급했듯이 CM과 DM이 모두 포함된 신호이기 때문에 대책을 세우는데 상당히 많은 시간을 소비한다. 하지만 본 논문에서는 LISN에서 나오는 신호를 (주)이엠시스의 EA-2000을 사용하여 각 line의 전체 노이즈 뿐만 아니라 CM과 DM을 각각 분리하여 측정하였고 따라서 각 노이즈 성분을 분석하고 대책을 세우는데 매우 용이했다.^[7]

4. SMPS의 EMI 대책안

EMI 대책에는 표 1과 같이 노이즈 발생원 대책, 경로 대책 그리고 필터 대책이 있다.

노이즈 발생원 대책에는 스위칭 회로에 스너버의 사용이나 게이트 드라이버 개선 등의 방법이 있는데 이러한 방법에 의해서는 주로 전도성분 중 10MHz 이상의 고주파 영역과 방사성분을 줄이는 효과를 얻을 수 있다.

경로 대책은 PCB 및 각 부품의 배치에 관련된 사항과 기생 캐패시터를 줄이고 경로를 바꿔주는 것이다.

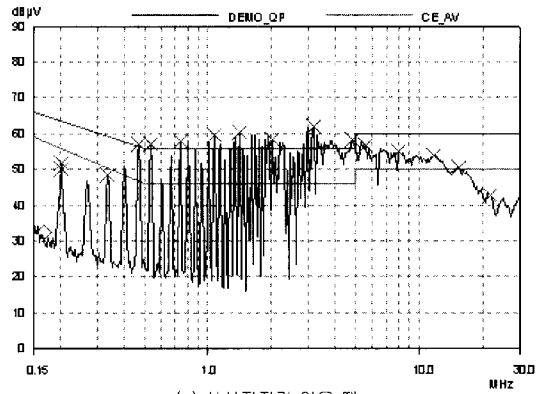
참고문헌 [1]과 [6]에서는 방열판과 트랜스포머의 Faraday Shield, 스위치의 재배치, 트랜스포머의 권선 방법 개선 등 많은 것들을 제시하였지만 이 중 가장 중요한 것이 접지방법이다. 충분히 노이즈 전류를 빼줄 수 있는 샤시접지를 확보하고 노이즈 전류가 잘 빠지도록 접지를 시키는 것이 가장 바람직하다.

그림 7은 샤시접지의 효과를 보여주는데 약 15~20[dBμV] 정도의 감쇠를 얻을 수 있고, 이 효과가 너무 커서 참고문헌 [1]과 [6]에서 제시한 여러 가지 방법들의 효과는 미비하게 나타난다.

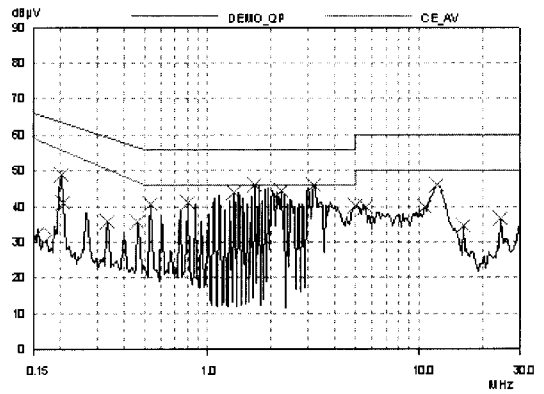
표 1 EMI 대책의 분류

Table 1 Classification of EMI solutions

EMI 대책	대책의 종류
노이즈 발생원 대책	<ul style="list-style-type: none"> ▶ snubber circuit ▶ gate driver 개선 ▶ 스위칭 주파수의 개선 ▶ soft switching 적용
경로 대책	<ul style="list-style-type: none"> ▶ stray inductance의 최소화 ▶ stray capacitance의 최소화 <ul style="list-style-type: none"> - Faraday shield - 스위치의 재배치 - 트랜스포머의 권선방법 개선 ▶ 충분한 접지의 확보
필터 대책	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 모드별 분석 ▶ 각 모드별 대책필터 설계 ▶ 적절한 부품의 선택



(a) 샤시접지가 없을 때



(b) 샤시접지가 있을 때

그림 7 샤시에 따른 EMI 특성

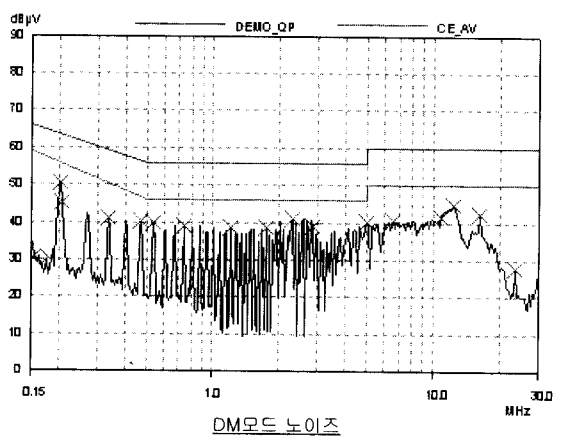
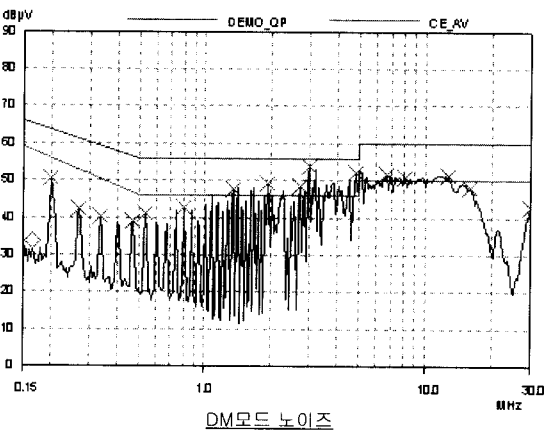
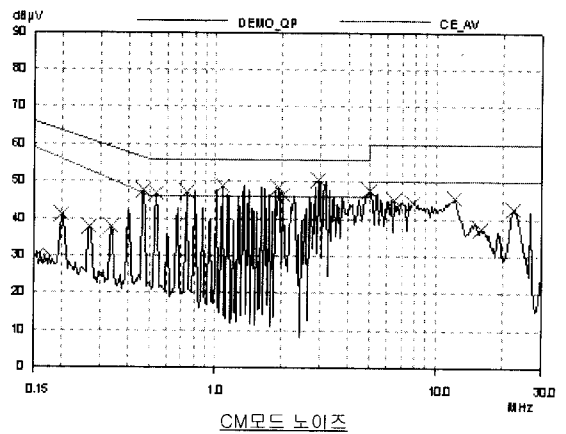
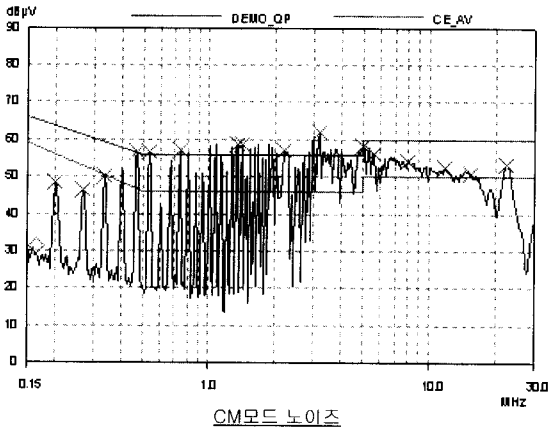
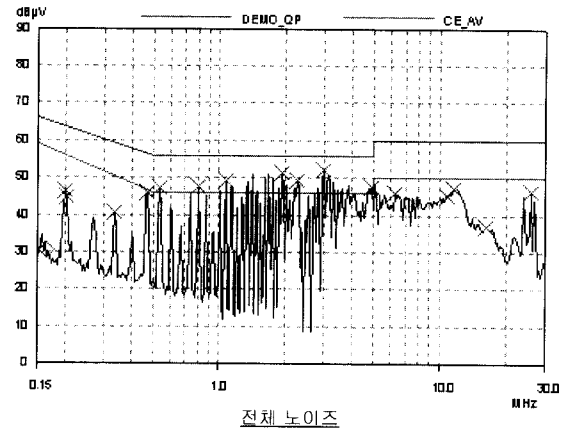
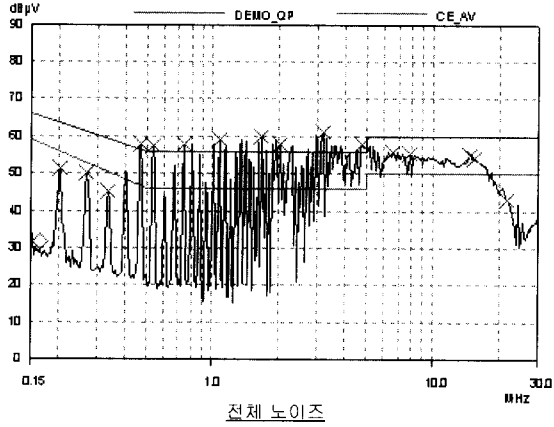
Fig. 7 EMI characteristics according to chassis

필터 대책은 앞 절에서 언급했듯이 모드별 분석을 통해서 공통모드 필터를 먼저 결정한 후에 차동모드 필터를 설계하면 쉽게 할 수 있다.^[5]

우리 주위에는 다양한 형태의 SMPS가 사용되고 있

는데 EMI 대책의 관점에서 보면 노이즈 전류를 빼줄 수 있는 샤시가 있느냐 또는 없느냐에 따라서 두 가지로 나눌 수 있다.

최근에 많이 사용되는 SMPS 어댑터는 보통 입력에



(a) 방열판이 floating된 경우

(b) Faraday Shield 한 경우

그림 8 Faraday shield에 따른 EMI 특성

Fig. 8 EMI characteristics according to Faraday shield

접지선도 없고 접지를 할 수 있는 샴시도 없는 최악의 조건을 갖고 있다. 따라서 위에서 언급한 두 가지 유형의 SMPS에 대해서 적절한 대책방법은 다음과 같다.

4.1 샴시가 없는 SMPS의 대책

SMPS 어댑터가 여기에 속하며 주로 전원선 접지가 없는 코드를 많이 사용한다. 따라서, Y-캐패시터를 사용할 수도 없다.

따라서 여러 가지 노이즈 감쇠대책을 해 주어야 하는데 스너버의 효과는 미비하고, Faraday Shield는 그림 8과 같이 방열판이 floating된 경우와 비교해서 전 대역에서 약 10[dB μ V]의 감쇠효과를 얻을 수 있지만 방열효과가 떨어지고 재료비가 상승하는 단점이 있어 실제로 적용하기는 어렵다.

트랜스포머의 기생캐패시터 효과를 줄이기 위해서 그림 9와 같이 바이패스 캐패시터를 일, 이차 측 그라운드에 접속해 주면 노이즈 전류의 경로를 바꿔줄 수 있어서 약 5[dB μ V] 정도의 감쇠효과를 얻을 수 있다.

또한 가장 큰 노이즈를 발생시키는 부분은 그림 9의 접선 경로에서 스위치의 방열을 위한 방열판인데 방열판의 전위가 스위칭 주파수에 동기해서 심한 변화를 하기 때문에 적절한 처리를 해 주어야 한다.

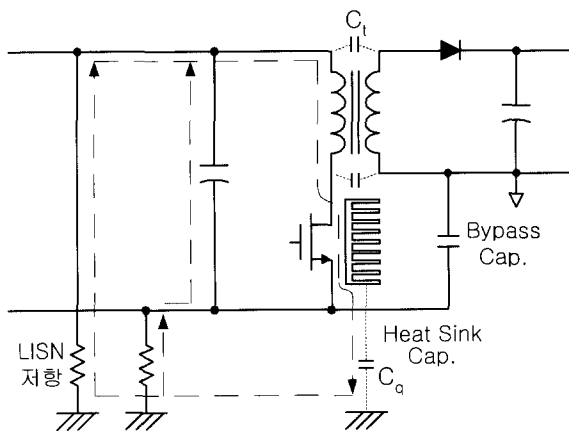


그림 9 SMPS에서 노이즈 전류의 경로
Fig. 9 Paths of noise currents in SMPS

그림 10은 방열판에 아무 대책을 하지 않은 것과 방열판을 스위치의 소스단자에 연결한 것을 전체 노이즈와 각 모드별 노이즈를 각각 비교한 것으로 방열판을 스위치의 소스단자에 연결한 것이 전 대역에서 20[dB μ V] 가까운 감쇠효과를 보이고 있고 CM모드뿐만 아니라 DM모드도 동시에 감쇠됨을 알 수 있다.

4.2 샴시가 있는 SMPS의 대책

샴시가 있는 SMPS의 경우는 Y-캐패시터를 사용하여 노이즈 전류를 샴시로 잘 빼줄 수 있도록 짧고 굵은 선으로 연결하든지 아니면 바로 나사에 의해서 연결될 수 있도록 구성을 해 주어야 한다.

이 경우 스너버를 삽입하는 등 이외의 조치를 취해 주지 않아도 그림 7과 같은 노이즈의 감쇠효과를 얻는 것이 가능하다. 남은 노이즈는 모드분석을 통해서 적절한 필터를 구성해 주면 해결할 수 있다. 이 경우에는 방열판을 샴시접지에 연결해도 되고 샴시가 없는 SMPS와 같이 스위치의 소스단자에 연결해도 좋은 효과를 볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 EMI 노이즈의 이해를 돕기 위해서 서두에 필터 대책방법 및 측정방법에 대해서 언급을 하였다. 특히 최근에 전체 노이즈를 CM과 DM 성분으로 분리할 수 있는 제품의 등장으로 좀 더 쉽게 EMI를 분석하고 대책을 할 수 있게 되었다. 따라서 본 논문에서는 이 제품을 이용하여 SMPS에서의 EMI 대책 방법에 대하여 아래와 같이 정리하였다.

(1) 샴시가 있는 SMPS

- Y-캐패시터를 사용하여 단거리로 샴시에 접지
- 스너버나 Faraday shield 등은 불필요
- 나머지는 필터대책

(2) 샴시가 없는 SMPS

- 방열판을 스위치의 소스단에 연결
- Y-캐패시터에 의한 접지 불필요
- 나머지는 필터대책

이러한 접근방법은 SMPS를 설계할 때 하나의 가이드로 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 본 논문에서 제시한 방법들은 저전력 SMPS에 대해서만 언급했지만 이 보다 큰 전력의 SMPS에도 적용이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Laszlo Tihanyi, *Electromagnetic Compatibility in Power Electronics*, The IEEE Press, 1995.
[2] T. Guo, D. Y. Chen and F. C. Lee, "Separation of the Common-Mode and the Differential-Mode Conducted EMI Noise," *Proceedings of the 11th Annual VPEC*

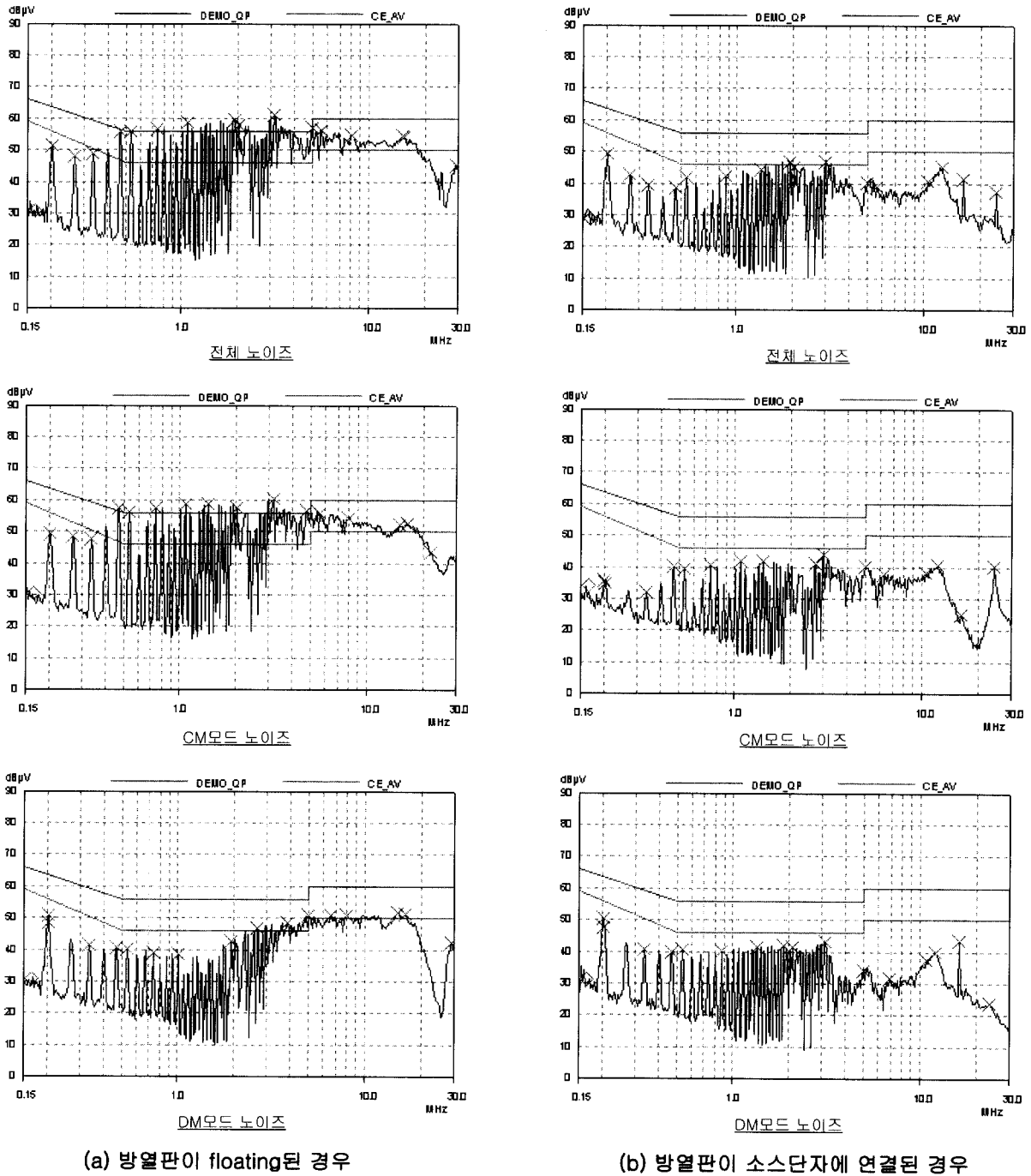


그림 10 방열판에 따른 EMI 특성
 Fig. 10 EMI characteristics according to heat sink

Power Electronics Seminar, Vol. 11, pp. 293~301, 1993.
 [3] Clayton R. Paul and Keith B. Hardin, "Diagnosis and Reduction of Conducted Noise Emissions," *IEEE*

Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 30, No. 4, pp. 553~560, 1988. Nov.
 [4] T. Guo, D. Y. Chen and F. C. Lee, "Diagnosis of Power Supply Conducted EMI Using a Noise

- Separator," *IEEE Applied Power Electronics Conf. and Exposition (APEC)*, pp. 259~266, 1995.
- [5] F. Y. Shih, D. Y. Chen, Y. P. Wu and Y. T. Chen, "A Procedure for Designing EMI Filters for AC Line Applications," *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 11, No. 1, pp. 170~181, 1996. Jan.
- [6] Dennis F. Knurek, "Reducing EMI in Switch Mode Power Supplies," *IEEE 10th International Telecommunications Energy Conference (INTELEC '88)*, pp. 411~420, 1988.
- [7] <http://www.emcis.co.kr/>

저 자 소 개



정용채(鄭龍采)

1966년 2월 28일생. 1989년 한양대 전자공학과 졸업. 1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1995년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(박사). 1995년~1999년 LG 전자 홈어플라이언스 연구소 선임연구원. 1999년~현재 남서울대학교 전자정보통신공학부 전임강사.