

# 모드 분리 기법을 이용한 스위칭 컨버터의 전도잡음 분석 및 대책에 관한 연구

## (Study on the Analysis and Suppression of Conducted Noise from Switching Converter by the Mode Separation Technique)

金鎮成\*, 權俊赫\*, 金良模\*\*

(Jin Sung Kim, Joon Hyuk Kwon, and Yang Mo Kim)

### 요 약

본 논문에서는 전도잡음을 차상 및 동상 성분으로 분리할 수 있는 전도잡음 분리기의 원리를 설명하고 설계, 제작된 분리기의 특성을 제시하였다. 전도잡음 분리기를 이용하여 스위칭 컨버터에서 발생된 전도잡음을 차상 및 동상성분으로 분리하였으며, 컨버터에서의 전도잡음 발생원과 전달경로 분석에 활용하였다. 또한, 분리된 차상 및 동상 전도잡음의 특성을 손쉽게 파악하므로써 전도잡음의 경감 대책을 효과적으로 수행할 수 있었으며, 전도잡음 경감을 위한 저역필터 설계를 체계적으로 할 수 있는 바탕을 만들 수 있었다.

### Abstract

This paper describes a principle of the conducted noise separator which can separate the conducted noise to the common mode and differential mode(normal mode), and presents the transfer characteristics of the separator designed and manufactured.

We separated the conducted noise generated from switched mode converter to the CM and DM conducted noise, and also analyzed the source and path of conducted noise in the converter by the conducted noise separator. Since we could easily get the characteristics of the CM and DM conducted noise by the separator, we could efficiently determine the countermeasures for the reduction of the conducted noise and establish the foundation of the systematic procedure for the design of low pass filter.

### I. 서 론

각종 전기 및 전자장비의 용도가 확대되고 기능이 정교해지면서, 장비로부터 발생하는 전자파 잡음이 다른 장비에 악영향을 미치는 사례가 빈번해지고 있다.

이러한 전자파 공해를 감소, 억제하기 위하여 세계 각국은 CISPR, FCC, VDE와 같은 상용규격 및 군사규격(MIL-STD-461) 등을 제정하여 전기 및 전자장비의 전자파 발생 및 내성에 대한 규제를 강화시키고 있다.<sup>[1]</sup>

한편, 최근 들어 수요가 급증하고 있는 스위칭 방식의 전원장치에서는 고속 스위칭 동작시 급격한 전압/전류 변화와 회로상에 존재하는 기생성분으로 인하여 고주파수로 진동하는 전자파 잡음이 발생되는데, 이 전자파 잡음은 타장비의 전자파 장애를 초래한다. 이

\* 正會員, 國防科學研究所

(Agency for Defense Development)

\*\* 正會員, 忠南大學校 電氣工學科

(Dept. of Elec. Eng., Chungnam Nat'l Univ.)

接受日字: 1998年2月19日, 수정완료일: 1998年3月26日

러한 문제를 해결하기 위하여 잡음발생 억제, 잡음의 전달경로 차단 및 감쇠를 위한 방안이 필요한데, 이것에는 소프트 스위칭(Soft Switching), 스너버 회로(Snubber Circuit) 사용, 전자파 차폐, 전원선을 통하여 방사되는 전도 잡음(Conducted Noise)의 필터링, 적절한 접지 및 부품 배치 등의 기법 등이 적용되고 있다. 특히 전도잡음의 경우 외부로 방출되는 전도잡음을 감소시키기 위해서는 잡음원(Noise Source)을 억제하고 전달경로를 차단함과 동시에 발생하는 잡음을 적절하게 저감시키기 위한 필터(Filter)의 사용은 필수적이다. [2] [3] [4]

전도잡음은 잡음 특성에 따라 차상(差相; Differential Mode 또는 Normal Mode)과 동상(同相; Common Mode)으로 구분된다. [3] [4] [5] 또한, 차상 및 동상 전도잡음은 각각 잡음 발생원과 전달경로가 다르기 때문에 전도잡음에 따라 발생원의 억제책, 차단 방법 및 필터 설계 등이 달라져야 한다. [6] [7] 따라서, 전도잡음에 대한 적절한 대책을 수립하기 위해서는 먼저 발생하는 전도잡음을 차상 및 동상성분으로 구분, 정량화하여 예측할 수 있도록 하여야 한다. 또한, 전도잡음의 구분에는 적용 EMI 규격에 맞는 측정장비와 운용기법이 필요하며 각 모드에 대한 대응책을 체계적으로 수립하여야 한다. [6] [7]

본 연구에서는 피시험체에서 발생하는 전도잡음의 억제 및 감쇠 대책을 손쉽게 마련하고 그 결과를 효과적으로 평가하기 위하여, 전도잡음 종류를 판별할 수 있는 전도잡음 분리기를 MIL-STD-461D 규격에 맞춰 설계, 제작하였다. 제작된 전도잡음 분리기를 이용하여 고속 스위칭으로 동작하는 절연형 스위칭 컨버터에서 발생하는 전도잡음을 분석하고자 하며, 차상 및 동상 전도잡음 각각의 발생원을 억제하고 전달경로를 차단하는 일련의 과정과 그 효과를 전도잡음 분리기를 이용하여 확인함으로써 전도잡음과 관련된 EMI 대책 수립에 효과적으로 대처하고자 한다. 또한, 차상 및 동상 전도잡음 각각에 대한 필터의 설계에 있어 체계적으로 수행할 수 있는 근거를 마련하고자 한다.

## II. 스위칭 컨버터의 전도잡음

절연형 스위칭 컨버터인 포워드컨버터(Forward Converter)의 경우 발생하는 전도잡음은 그림 1과 같다. 그림 1에서 실선은 동상, 점선은 차상의 전도잡음

을 나타내며 각 성분은 서로 상이한 전달경로를 갖고 있다. [4] [8]

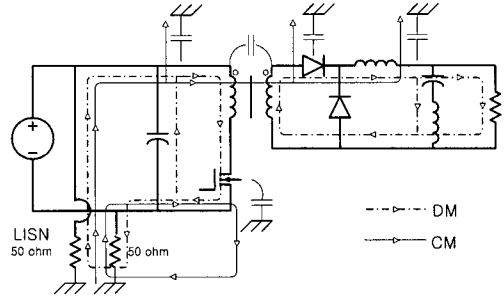


그림 1. 전도잡음의 발생 및 전달경로

Fig. 1. The generation and path of conducted noises.

차상전도잡음은 스위칭 전류의 급격한 변화 또는 맥동전류에 의한 인덕턴스의 영향과 다이오드의 턴-오프(Turn-off)시 P-N접합 커패시턴스에 의한 충전전하에 의해 발생된다. 1차측에서 발생된 차상전도잡음은 핫선(Hot Line)→트랜스포머 1차권선→스위치→리턴선(Return Line)→LISN(Line Impedance Stabilization Network) 저항(100Ω)/커패시터→핫선을 통한 폐회로를 형성하면서 순환되며, 2차측에서는 트랜스포머 2차권선→다이오드→인덕터→커패시터/부하를 통하여 순환되면서 1차측에 전도잡음을 유기한다. 차상전도잡음은 핫선과 리턴선을 폐회로로 하여 순환된다. 차상전도잡음은 누설 및 기생 인덕턴스에 의해 발생되므로, 이를 감소시키기 위해서는 컨버터 구성품 및 선로의 기생, 누설 인덕턴스를 감소시켜야 한다. [3] [6] [7] [8]

동상전도잡음은 급격한 전압변동과 스위칭간에 발생하는 링잉(Ringing) 현상에 의해 발생되며 스위치/다이오드의 방열판 및 선로와 접지 사이의 기생 커패시턴스, 트랜스포머의 기생 커패시턴스가 동상전도잡음의 전달경로가 된다. 동상전도잡음은 차상전도잡음과 달리 컨버터를 구성하는 구성품의 배치 및 형상에 크게 영향을 받는다. 핫선과 리턴선에서의 동상전도잡음은 위상이 동상으로서 컨버터 회로와 접지 사이로 순환된다. 동상전도잡음의 전달경로인 기생 커패시턴스는 약 10~3,000 [pF]로서 스위칭 주파수가 증가함에 따라 그 영향이 증대된다. 이러한 동상전도잡음을 감소시키기 위해서는 기생 커패시턴스를 감소시키면서 방열판과 접지간의 적절한 차폐와 접지 처리, 링잉 감소, 트

랜스포머의 차폐 등이 필요하다.

일반적으로 차상전도잡음은 광대역 특성을 가지며, 동상전도잡음의 경우 차상전도잡음에 비하여 협대역 특성을 갖는다.<sup>[3] [5]</sup>

### III. 전도잡음 분리기 구성 및 원리

본 연구에서 설계, 제작한 전도잡음 분리기는 그림 2와 같이 동상전도잡음 제거회로(CMRN; Common Mode Rejection Network), 차상전도잡음 제거회로(DMRN; Differential Mode Rejection Network), 제어부 및 전원부로 구성되어 있으며 제어부에서 차상전도잡음 제거회로와 동상전도잡음 제거회로 중 한 가지를 선택하여 사용하게 된다. 전도잡음 분리기는 필터 또는 피시험체에 직접 연결되지 않으며 계측조건을 동일하게 하기 위하여 LISN을 통하여 전도잡음을 계측한다. 여기서 LISN은 전원측의 임피던스를 일정하게 유지하여 전원과 필터/피시험체와의 상호 영향을 배제시킨다.

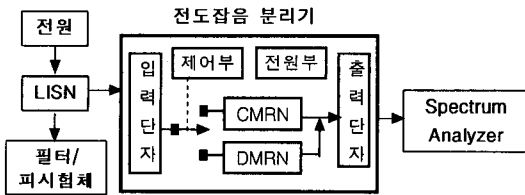
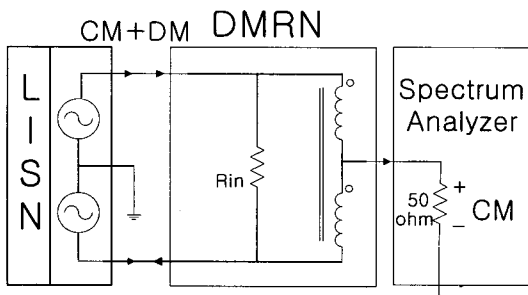
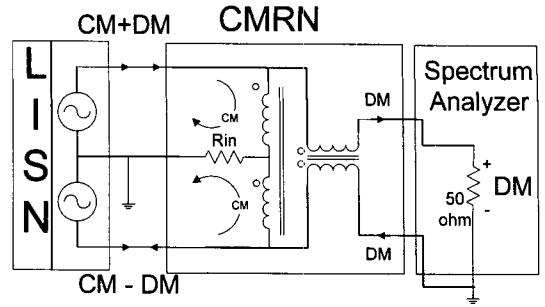


그림 2. 전도잡음 분리기의 구성 및 장비 배치도  
Fig. 2. The construction of conducted noise separator and its layout with other equipments.

차상전도잡음 제거회로의 원리는 그림 3(a)와 같이 입력단자( 핫/리턴선)를 통하여 인가되는 위상차가 180°



(a) 차상전도잡음 제거회로(DMRN)  
(a) differential mode rejection network



(b) 동상전도잡음 제거회로(CMRN)  
(b) common mode rejection network

그림 3. 전도잡음 분리 회로도  
Fig. 3. The separation networks of the conducted noise.

인 차상전도잡음을 상쇄시키고 위상차가 0°인 동상전도잡음만을 출력단자로 통과시킨다. 반대로 동상전도잡음 제거회로의 원리는 그림 3(b)와 같이 입력단자( 핫/리턴선)를 통하여 인가되는 위상차가 0°인 동상전도잡음을 상쇄 또는 내부저항으로 순환시키면서 위상차가 180°인 차상전도잡음만을 출력단자로 통과시킨다.

### IV. 필터 설계

#### 1. 필터 구성 및 등가회로

필터설계시 전도잡음을 최소로 감소시키기 위해서는 발생 전도잡음 주파수 영역에서 필터의 임피던스 크기와 필터와 마주하는 회로의 임피던스 정합을 피하여 임피던스차를 가능한한 크게 하여야 한다. 즉, 그림 4와 같이 전도잡음원(스위칭 컨버터)의 임피던스  $Z_N$ 이 저임피던스인 경우 필터측 임피던스  $Z_F$ 의 크기는  $Z_F \gg Z_N$ 가 되어야 하고 반대로 임피던스  $Z_N$ 이 고임피던스인 경우  $Z_F \ll Z_N$  되도록 필터가 설계되어야 한다.<sup>[3] [4] [9] [10]</sup>

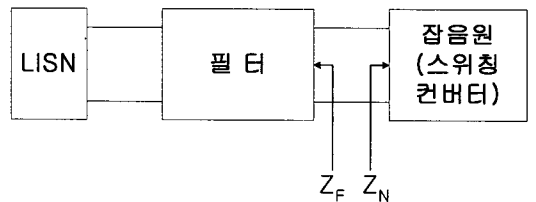
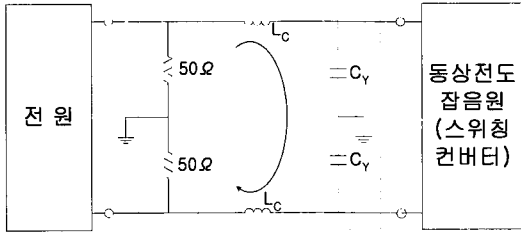


그림 4. LISN/필터-전도잡음원의 임피던스  
Fig. 4. The impedance between LISN/filter and conducted noise source.

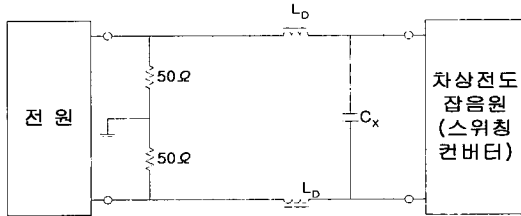
임피던스 관계와 전도잡음의 전달경로를 고려할 때 동상 및 차상전도잡음용 필터는 각각 그림 5(a),(b)와 같은 회로가 되며 이들 필터가 합쳐진 전체 필터는 그림 6과 같이 된다. 이때 동상전도잡음 필터용 인덕터의 누설인덕턴스를 이용하는 경우 차상전도잡음용 필터를 2단으로도 설계할 수 있다.



LISN 동상전도잡음용 필터

$L_C, C_Y$  : 동상전도잡음용 인덕턴스 및 커패시터

(a) 동상전도잡음용 필터 회로  
(a) The Circuit of Filter for CM Conducted Noise

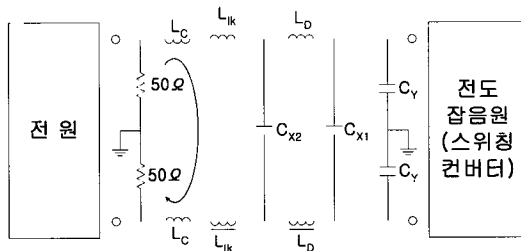


LISN 차상전도잡음용 필터

$L_D, C_X$  : 차상전도잡음용 인덕턴스 및 커패시터

(b) 차상전도잡음용 필터 회로  
(b) The Circuit of Filter for DM Conducted Noise

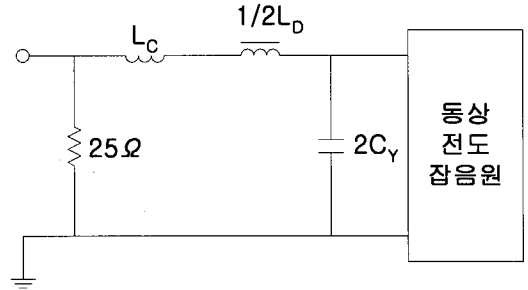
그림 5. 동상 및 차상전도잡음용 필터 회로  
Fig. 5. The circuit of filters for CM and DM conducted noises.



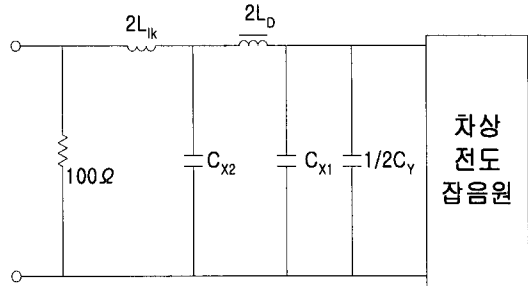
\*  $L_{lk}$  : LC의 누설 인덕턴스

그림 6. 전도잡음용 필터 회로  
Fig. 6. The circuit of the total filter for conducted noises.

그림 5에서 제시된 동상전도잡음용 필터는 차상전도잡음에 또한 차상용 필터는 동상전도잡음에 영향을 미친다. 따라서 그림 6에서 제시된 필터를 동상 및 차상전도잡음에 대하여 등가회로로 나타내면 그림 7과 같이 된다. [6] [8] [11]



(a) 동상전도잡음 대한 필터의 등가회로  
(a) The equivalent circuit of the filter for CM conducted noise



(b) 차상전도잡음 대한 필터의 등가회로  
(b) The equivalent circuit of the filter for DM conducted noise

그림 7. 전도잡음원에 따른 필터의 등가회로  
Fig. 7. The filter equivalent circuits according to conducted noises.

2. 필터 설계 순서

본 연구에서는 전도잡음 분리를 이용하여 발생 전도잡음을 분석하면서 그림 5, 6, 7에서 제시된 필터의 구성 소자 값을 다음과 같은 과정을 거쳐 체계적으로 결정하였다.

- (1) 1단계 : 전도잡음 발생 억제 및 전달경로의 차단  
필터없이 발생하는 전체 전도잡음을 계측하고 전도잡음 분리를 이용하여 동상 및 차상전도잡음으로 분리한다. 이 계측결과를 이용하여 피시험체인 스위칭 컨버터에서 발생하는 전도잡음의 발생 및 전달경로를 최대한 억제 및 차단하는 대책을 수립한다. 대책으로는 소프트 스위칭 기법 적용, 기생/누설 인덕턴스 및

기생 커패시턴스 최소화, 방열판 및 부품의 배치, 선로 길이의 최소화, 적절한 부품의 선정 및 접지처리 등을 통하여 컨버터에서 전원측으로 방출되는 전도잡음을 최소화 한다. 이 과정에서 분리를 활용하므로써 전도잡음 대책에 대한 동상 및 차상전도잡음 각각의 감소 효과를 수시로 확인한다.

(2) 2단계 : 전도잡음 성분 분리

발생 전도잡음을 최소화한 후, 최종 발생하는 전체 전도잡음을 측정하고, 또한 전도잡음 분리를 이용하여 동상 및 차상전도잡음을 각각 분리한다. 이 결과를 이용하여 다음 단계부터 분리된 동상 및 차상전도잡음 각각에 대한 필터를 설계한다.

(3) 3단계 : 동상전도잡음의 감쇠량 결정

발생된 동상전도잡음과 규격에서 제시된 전도잡음 제한치를 비교하여 제한치를 초과하는 전도잡음의 크기를 필터에 의한 최소 감쇠량으로 결정한다. 본 연구에서는 그림 8과 같이 이산분포되어 있는 전도잡음에서 제한치를 초과하는 초기 전도잡음을 기준으로 감쇠량  $A_{dB,min}$ 과 주파수  $f_{EMI}$ 를 결정하였다.

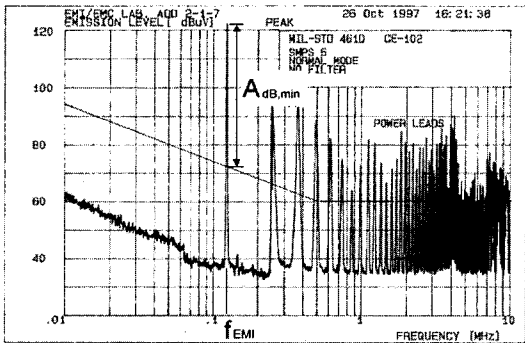


그림 8. 전도잡음 감쇠량 결정  
Fig. 8. The determination of the attenuation of the conducted noise.

(4) 4단계 : 동상전도잡음용 필터의 설계

그림 9와 같이 주파수  $f_{EMI}$ 에서 동상잡음용 필터의 감쇠량  $A_{dB}$ 가 이전 단계에서 결정한 최소감쇠량  $A_{dB,min}$  이상이 되도록 필터를 설계한다.

식(1)에 결정된  $A_{dB}$ ,  $f_{EMI}$ 를 대입하여  $f_c$ 를 구하고 식(2)를 이용하여 필터의 커패시터  $C_Y$ 와 인덕터  $L_c$ 를 결정한다. 여기서  $C_Y$ 는 누설전류를 제한하기 위하여 5,500pF를 초과하지 않도록 결정한다. 이어서  $L_c$ 값을 구한다. 이때 그림 7(a)에서 제시된 바와 같이 다음 단계에서 결정될 차상전도잡음용 필터 인덕터  $L_D$ 의

동상전도잡음에 대한 효과  $\frac{1}{2}L_D$ 를 고려한다. 필요시 필터의 단수(段數)를 증가시킨다.<sup>[8] [10]</sup>

$$A_{dB} = m \times 40 \log_{10} \frac{f_{EMI}}{f_c} \tag{1}$$

여기서,  $m$  : 필터의 단수(段數),  
 $f_c$  : 필터의 cutoff 주파수

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_c \cdot 2C_Y}} \tag{2}$$

이어서, 설계된 동상전도잡음용 필터를 설치한 후 전도잡음 분리를 이용하여 동상전도잡음 감쇠효과를 확인한다.

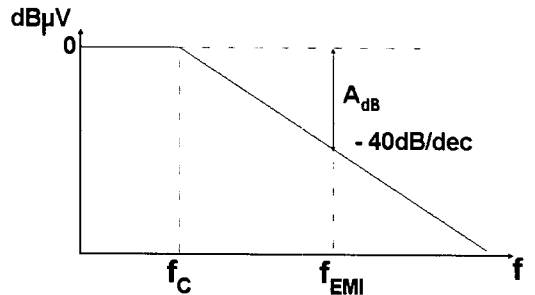


그림 9. 결정된 감쇠량에 대한 동상전도잡음용 필터의 보데선도  
Fig. 9. The bode diagram of the CM noise filter for the given attenuation.

(5) 5단계 : 차상전도잡음의 감쇠량 결정

3단계와 동일한 방법으로 필터에 의한 차상전도잡음의 감쇠량을 결정한다.

(6) 6단계 : 차상전도잡음용 필터의 설계

4단계와 동일한 과정으로 그림 10과 식(3), (4), (5)로부터 차상전도잡음용 필터의 구성 소자값을 결정한다. 이 경우 그림 6, 7(b)에서 제시된 바와 같이 동상전도잡음용 필터 인덕터의 누설인덕턴스  $L_{lk}$  (약  $L_c$ 의 1%)를 고려하여 2단 필터로 설계할 수 있다. 여기서  $L_D$ 와  $C_X$ 는 임피던스 정합을 피할 수 있도록 하면서 부피와 중량이 최소가 되도록 선택한다.

$$A_{dB} = 80 \log_{10} \frac{f_{EMI}}{f_{C2}} + 40 \log_{10} \frac{f_{C2}}{f_{C1}} \tag{3}$$

$$f_{C2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{2L_D \cdot C_{X1}}} \tag{4}$$

$$f_{C1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{2L_{lk} \cdot C_{X2}}} \tag{5}$$

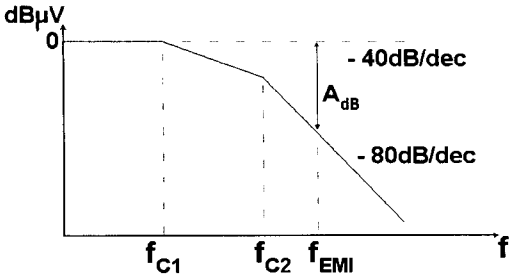


그림 10. 결정된 감쇠량에 대한 차상전도잡음용 필터의 보대선도  
 Fig. 10. The bode diagram of the DM noise filter for the given attenuation.

(7) 7단계 : 설계된 필터 확인 단계

1단계~6단계를 거쳐 설계된 필터를 설치한 후 전 원측으로 방출되는 전도잡음을 평가한다. 필요시 2단계~7단계 과정을 재반복 수행한다.

V. 실험 및 고찰

1. 전도잡음 분리기의 특성시험

본 연구에서의 전도잡음 분리는 MIL-STD-461D 규격을 기준으로 10k~10MHz 대역의 전도잡음 분리를 위하여 전달특성과 LISN 및 주파수분석기와의 임피던스 매칭 등이 고려되어 그림 11과 같이 제작되었다.

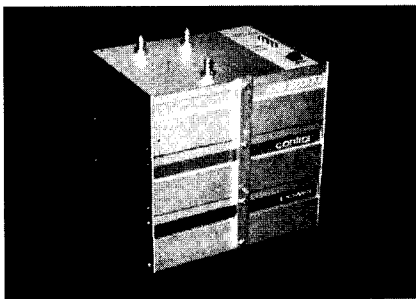
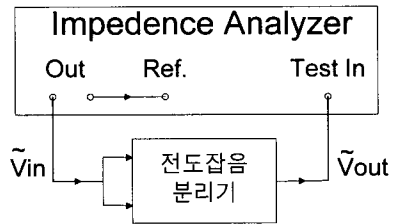


그림 11. 전도잡음 분리기  
 Fig. 11. The Conducted Noise Separator.

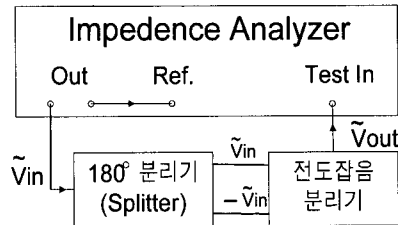
제작된 전도잡음 분리기의 전달특성은 임피던스 분석기(Impedance Analyzer)를 이용하여 그림 12와 같은 방법으로 측정되었다. 그림 12(a)는 동상전도잡음, 그림 12(b)는 차상전도잡음에 대한 전달특성을 구하기 위한 것이다.

그림 12(a)에서와 같이 동상의 신호(동상전도잡음)를 동상전도잡음 제거회로(CMRN) 및 차상전도잡음

제거회로(DMRN)에 각각 입력하므로써 동상전도잡음 제거회로의 동상전도잡음 제거 특성 및 차상전도잡음 제거회로의 동상전도잡음 통과 특성을 그림 13과 같이 얻을 수 있었다. 또한, 그림 12(b)에서와 같이 180° 신호분리기를 이용하여 180° 위상차가 있는 신호(차상전도잡음)를 동상전도잡음 제거회로 및 차상전도잡음 제거회로에 각각 입력하므로써 동상전도잡음 제거회로의 차상전도잡음 통과 특성 및 차상전도잡음 제거회로의 차상전도잡음 제거 특성을 그림 14와 같이 얻을 수 있었다. 분석된 주파수 영역은 10kHz ~100MHz로서 규격 10kHz ~10MHz 보다 넓게 하였다.



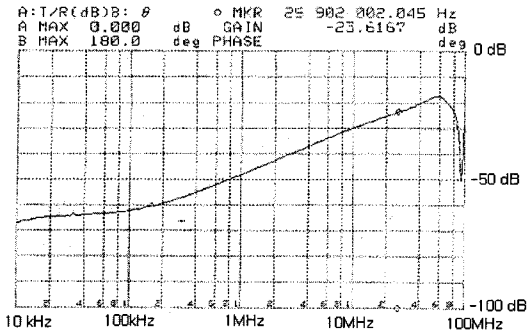
(a) 동상전도잡음 전달특성 분석을 위한 장비 구성  
 (a) The layout of equipments for the transfer characteristics analysis of the CM conducted noise



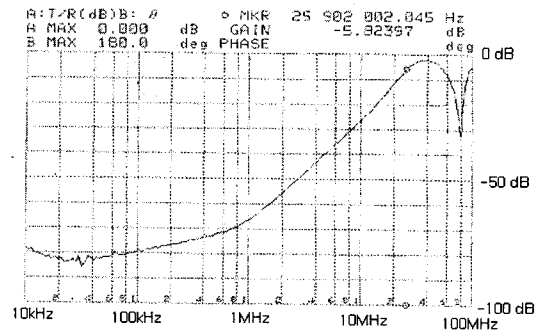
(b) 차상전도잡음 전달특성 분석을 위한 장비 구성  
 (b) The layout of equipments for the transfer characteristics analysis of the DM conducted noise

그림 12. 전도잡음 분리기의 전달특성 분석을 위한 장비 구성  
 Fig. 12. The layout of equipments for the transfer characteristics analysis of conducted noise separator.

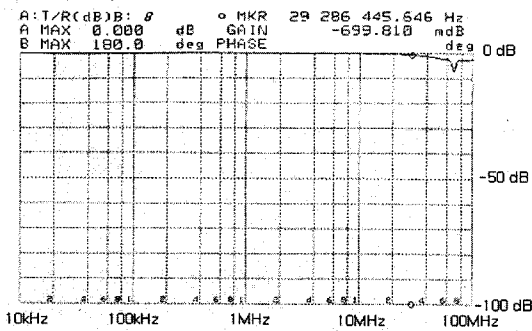
그림 13, 14로 부터 전도잡음분리기의 전달특성을 분석할 때 10kHz ~10MHz 영역에서 동상전도잡음 제거회로의 경우 동상전도잡음의 감쇠비는 30~70dB, 차상전도잡음 감쇠비는 0dB이므로 동상전도잡음은 거의 완전하게 제거하면서 차상전도잡음을 변화없이 통과시킴을 알 수 있다. 또한, 차상전도잡음 제거회로의



(a) 동상전도잡음 제거기의 동상전도잡음 제거 특성  
 (a) The rejection characteristics of the CMRN for CM conducted noise



(b) 차상전도잡음 제거기의 차상전도잡음 제거 특성  
 (b) The rejection characteristics of the DMRN for DM conducted noise



(b) 차상전도잡음 제거기의 동상전도잡음 통과 특성  
 (b) The pass characteristics of the DMRN for CM conducted noise

그림 13. 동상전도잡음에 대한 전도잡음 분리기 전달 특성

Fig. 13. The transfer characteristics of the conducted noise separator for CM conducted noise.

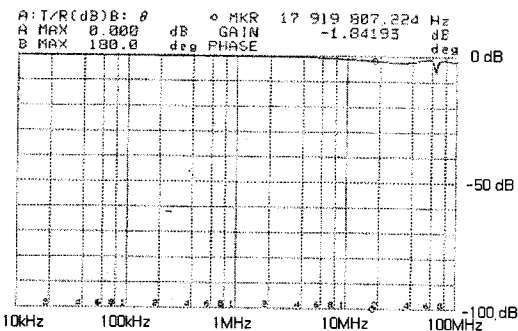
그림 14. 차상전도잡음에 대한 전도잡음 분리기 전달 특성

Fig. 14. The transfer characteristics of the conducted noise separator for DM conducted noise.

경우 차상전도잡음의 감쇠비는 30~80dB, 동상전도잡음 감쇠비는 0dB이므로 차상전도잡음은 거의 완전하게 제거하면서 동상전도잡음을 변화없이 통과시킴을 알 수 있다.

2. 스위칭 컨버터의 전도잡음 실험

본 연구에서는 그림 1과 같은 RCD 리셋 권선이 있는 파워드컨버터를 제작하여 고주파 스위칭으로 동작 시 발생하는 전도잡음의 분석 및 감소방안, 그리고 필터설계를 수행하였다. 본 실험을 위하여 그림 2와 같이 구성된 실험장치 및 계측장비를 그림 15와 같이 EMI 시험용 차폐실내에 설치하여 실험을 수행하였다.



(a) 동상전도잡음 제거기의 차상전도잡음 통과 특성  
 (a) The pass characteristics of the CMRN for DM conducted noise

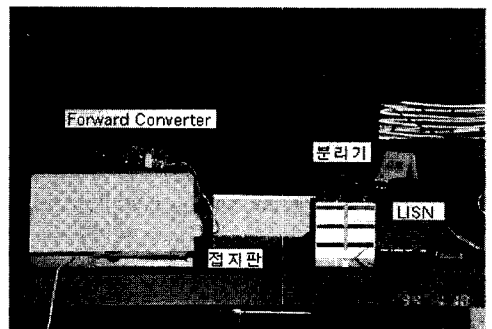


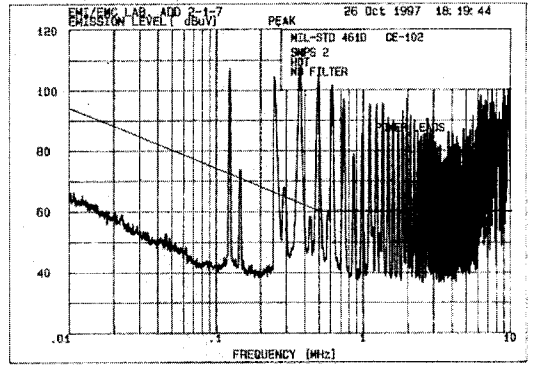
그림 15. 실험장치  
 Fig. 15. Experimental Equipment.

EMI 규격은 MIL-STD-461D 전도방사 기준을 적용하였으며, 입력전압은 28VDC, 출력전압/전류는

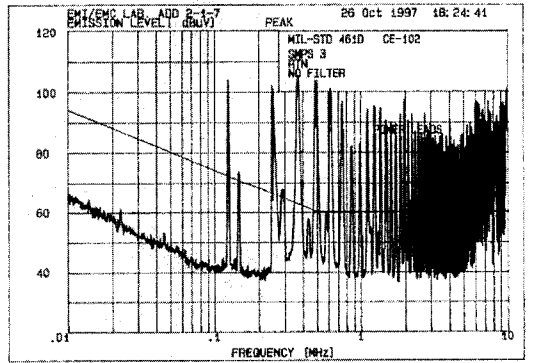
15VDC/2.8A, 스위칭 주파수는 125kHz이다. 트랜스포머의 권선비는 2:2이며, 권선은 실험목적상 1/2차사이의 기생 커패시턴스를 증가시키기 위하여 동판을 사용하였으며, 1/2차 권선 사이에 차폐용 동판을 설치하여 필요시 플로팅(Floating) 또는 접지할 수 있도록 제작하였다. 또한, 접지판과 컨버터 도선/방열판 사이의 누설 커패시턴스 효과를 확인하기 위하여 방열판과 접지면과의 간격을 변화시킬 수 있도록 설치하였다.

전원필터가 없는 피시험체인 파워컨버터에서 발생하는 전도잡음을 측정하였다. 이때 방열판 및 도선은 접지판과 약 8mm 이격되어 있으며 트랜스포머의 차폐권선은 플로팅(Floating)되어 있다. 전체 전도잡음은 그림 16(a),(b)와 같이 측정되었으며 핫선(Hot Line)과 리턴선(Return Line)에서 측정된 전도잡음은 유사하였으며, 이것은 10kHz~10MHz에서의 잡음파장은 30m~30km 이상이며 실험장치의 전체 길이는 수m이기 때문이다. 이어서, 전도잡음 분리를 이용하여 전체 전도잡음을 그림 16(c), 16(d)와 같이 차상전도잡음과 동상전도잡음으로 분리하였다. 차상 및 동상 전도잡음은 전체 전도잡음과 달리 그림 3과 같이 핫선과 리턴선을 동시에 사용하여 측정된다.

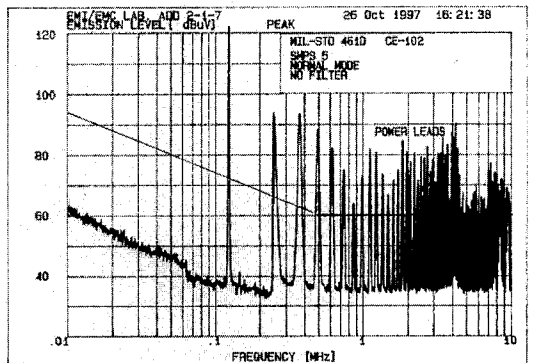
그림 16으로 부터 전도잡음은 이산적, 주기적으로 집중 분산되어 있음을 알 수 있다. 차상전도잡음의 경우, 첫 번째 침두 잡음 주파수는 스위칭 주파수와 동일한 125kHz이며 이후 침두 잡음 주파수는 125kHz의 배수이다. 동상전도잡음의 경우, 첫 번째 침두 잡음 주파수는 스위칭 주파수와 동일한 125kHz로서 차상전도잡음의 경우와 같으나, 두 번째 침두 주파수는 약 150kHz로서 차상전도잡음의 경우와 다르다. 즉, 차상 및 동상 전도잡음은 발생원이 동일하지 않음을 알 수 있다. 이후 동상전도잡음의 경우 침두주파수는 125kHz와 150kHz의 배수로 나타남을 알 수 있다. 이로부터 스위칭 컨버터의 발생 전도잡음은 스위칭 주파수와 직접적인 관계가 있음을 알 수 있다.<sup>[11] [12]</sup> 전체 전도잡음은 차상과 동상전도잡음의 침두 주파수는 모두 포함하고 있으나, 그 크기는 차상과 동상 성분이 단순하게 합쳐져 나타나지 않는다. 이는 차상 및 동상 전도잡음이 서로 다른 위상차를 갖고 합쳐지기 때문이다. 따라서 전체전도잡음이 차상 및 동상 각각보다 더 작은 경우도 있다. 또한, 이 결과로부터도 동상 및 차상전도잡음원이 동일하지 않음을 알 수 있다.



(a) 피시험체의 핫(Hot)선 전도잡음(필터 없음)  
(a) The total conducted noise from hot line of EUT without filter.

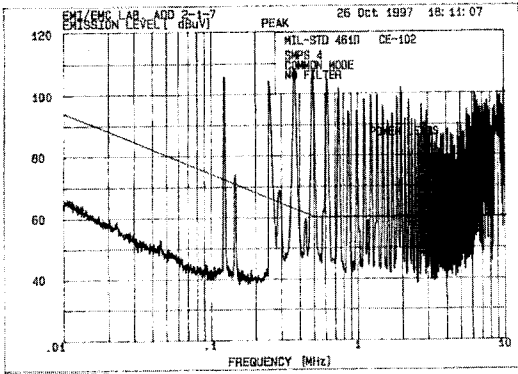


(b) 피시험체의 리턴(Return)선 전도잡음(필터 없음)  
(b) The total conducted noise from return line of EUT without filter.



(c) 피시험체의 발생 차상전도잡음(필터 없음)  
(c) The DM conducted noise from EUT without filter





(d) 피시험체의 발생 동상전도잡음(필터 없음)  
 (d) The CM conducted noise from EUT without filter

그림 16. 피시험체의 발생 전도잡음(필터 없음)  
 Fig. 16. The conducted noises from EUT without filter.

먼저 그림 16과 같이 발생하는 포워드 컨버터의 발생 전도잡음을 최대한 억제하였다. 컨버터의 조건 및 회로를 아래와 같이 변화시키면서 매년 발생하는 전도잡음을 전도잡음 분리를 이용하여 차상 및 동상전도잡음으로 분리하므로써 각각에 미치는 영향을 직접 체계적으로 확인할 수 있었다. 전도잡음을 최소화하기 위하여 다음과 같이 컨버터를 변화시켰다.

- (i) 평활용 커패시터와 병렬로 세라믹 커패시터 설치
- (ii) 트랜스포머 차폐권선의 접지 및 플로팅 효과
- (iii) 접지면과 컨버터(방열판, 도선)와의 이격거리 변화

LISN과 병렬로 설치된 평활용 전해 커패시터에 고주파용 세라믹 커패시터를 병렬로 추가한 경우 동상전도잡음의 경우는 변화가 거의 없었으나 차상전도잡음의 경우 6~9MHz 영역에서 5~15dB $\mu$ V 감소되는 효과가 있었다.

플로팅 상태에 있는 트랜스포머의 차폐권선을 접지 시킴에 따라 LISN에서 측정되는 차상전도잡음은 거의 변화가 없었으나, 동상전도잡음은 더욱 증가하였다. 이것은 트랜스포머 1차측 접지판(차폐권선 접지상태) 사이의 기생 커패시턴스는 1차측 2차측 접지판(차폐권선 플로팅 상태)를 통하여 형성되는 기생 커패시턴스에 비하여 크기 때문에 1차측에서 발생한 동상전도잡음이 LISN측에 더욱 쉽게 전달되기 때문으로 판단된다. 그러나, 차폐권선이 접지되어 있는 경우는 1차측에

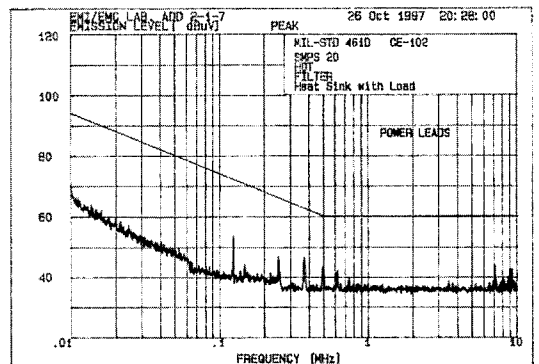
서 발생한 동상전도잡음이 2차측으로 전달되지 않고 접지판으로 직접 전달되기 때문에 2차측에 위치한 부하측으로 전달되는 전도잡음은 감소할 것으로 판단된다. 따라서 부하가 잡음에 민감한 경우 차폐권선을 접지시킬 필요가 있다.

접지판과 방열판/컨버터 도선과의 기생 커패시턴스에 의해 형성되는 동상전도잡음의 전달경로를 차단하기 위하여 컨버터를 접지면과의 이격거리를 8mm에서 315mm로 증가시켜 기생 커패시턴스를 감소시켰다. 이 경우 차상전도잡음은 변화가 없었으나 동상 전도잡음의 경우 전주파수 영역에서 10~30dB $\mu$ V 감소하는 효과가 있었다. 현실적으로 컨버터를 지표면/접지면과의 이격거리를 크게 하는 것이 불가능한 경우도 많으므로 방열판의 크기와 컨버터의 선로 길이를 가능한 적게, 짧게 하는 것이 중요하며, 또한 기생 커패시턴스가 감소할 수 있도록 부품의 배치도 고려하여야 한다.

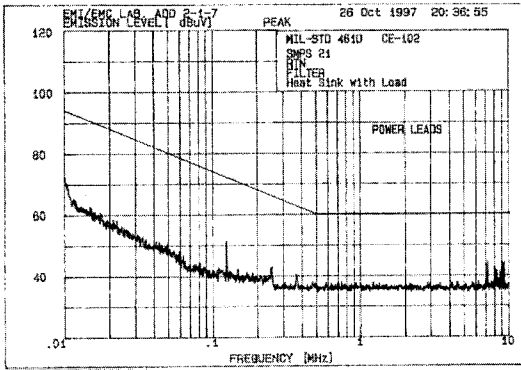
위와 같은 과정을 거쳐 발생하는 차상 및 동상전도잡음을 최소화한 후, 필터설계 2~6단계를 통하여 그림 5, 6과 같은 필터의 사양을 표 1과 같이 결정하였다.

표 1. 필터 사양  
 Table 1. The Specification of the Filter.

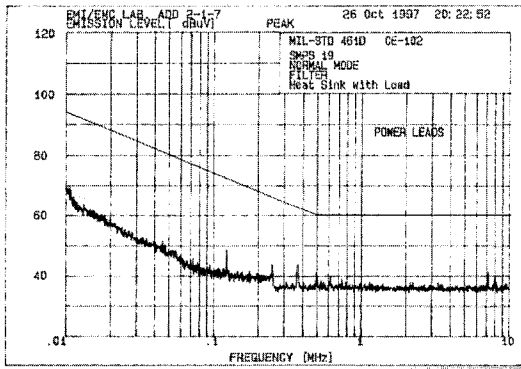
소자	값	비고
$L_C$	137mH	- 코아 : Fine Met Core - 누설인덕턴스 : 1%
$C_Y$	3,300pF	Ceramic 커패시터
$L_D$	86 $\mu$ H	코아 : Amorphous
$L_{Leakage}$	1.4mH	$L_C$ 의 누설인덕턴스
$C_{X1}, C_{X2}$	20 $\mu$ F	PP 커패시터



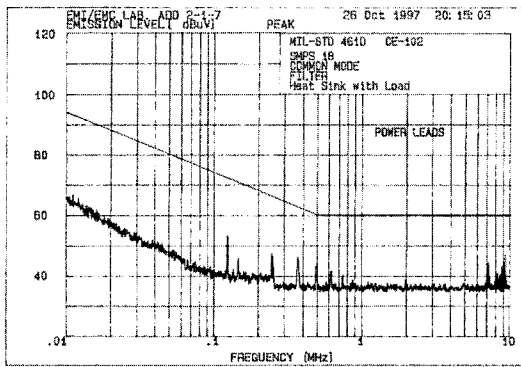
(a) 피시험체의 핫(Hot)선 전도잡음(필터 설치)  
 (a) The total conducted noise from hot line of EUT with filter



(b) 피시험체의 리턴(Return)선 전도잡음(필터 설치)  
 (b) The total conducted noise from return line of EUT with filter



(c) 피시험체의 발생 차상전도잡음(필터 설치)  
 (c) The DM conducted noise from EUT with filter



(d) 피시험체의 발생 동상전도잡음(필터 설치)  
 (d) The CM conducted noise from EUT with filter

그림 17. 피시험체의 발생 전도잡음(필터 설치)  
 Fig. 17. The conducted noises from EUT with filter.

표 1과 같이 설계된 필터를 컨버터 입력단에 설치

한 경우 예측된 전도잡음은 그림 17과 같다. 그림 16의 결과와 비교시 동상, 차상 및 전체 전도잡음 모두 동일한 수준으로 효과적으로 감소되었음을 확인할 수 있다.

## VI. 결론

본 연구에서는 전도잡음을 동상 및 차상성분으로 분리할 수 있는 전도잡음 분리기의 원리를 고찰하고 시제품을 제작하여 스위칭 컨버터의 전도잡음 분석 및 대책수립에 활용하므로써 그 타당성과 효용성을 제시하였다. 그리고, 전도잡음 분리를 활용하여 발생하는 전도잡음을 차상 및 동상 성분으로 분리하는 것이 가능하게 됨에 따라, 체계적인 전도잡음의 분석 및 대책수립이 가능하게 되었다. 또한 본 논문에서는 전도잡음 분리를 활용한 전도잡음용 필터의 설계 과정을 정립하므로써 체계적이고도 효과적인 필터설계를 가능케 하였다.

실험 대상인 파워드컨버터 동작시 발생하는 전도잡음의 분석을 통하여 동상 및 차상전도잡음의 발생원 및 전달경로가 상이함을 확인할 수 있었으며, 또한 동상 및 차상전도잡음을 분리함으로써 각각의 감소 대책을 손쉽게 효과적으로 수립할 수 있음을 확인하였다. 따라서, 이러한 방법을 활용할 경우 다양하고도 복잡한 각종 전도잡음의 원인 분석과 그 대책을 체계적, 효과적으로 수립할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] MIL-STD-461D, "Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Emissions and Susceptibility", DOD, 1993
- [2] D. Hang, Dan Y. Chen, and F. C. Lee, "An Experimental Comparison of Conducted EMI Emissions between a ZVT Circuit and a Hard Switching Circuit", 27th PESC, pp1992-1997, 1996
- [3] 동안전자부설연구원, "스위칭 파워씨플라이의 노이즈 제거 기술에 관한 연구", 상공부, 1990
- [4] Lon M. Schneider, "Noise Source Equivalent Circuit Model for Off-Line Converters And Its Use in Input Filter Design", IEEE Symposium on Electro-

- magnetic Compatibility, Arlington VA, pp.167-175, August, 1983
- [5] C. R. Paul, K. B. Hardin, "Diagnosis and Reduction of Conducted Noise Emissions", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 30, No 4, pp.553-560, Nov. 1988.
- [6] T Guo, D.Y. Chen, F.C. Lee, "Diagnosis of Power Supply Conducted EMI Using a Noise Separator", Virginia Power Electronics Center, pp. 139-147, 1995.
- [7] T. Guo, D.Y. Chen, and F.C. Lee, "Separation of the Common-Mode and the Differential-Mode Conducted EMI Noise", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 11, no. 3, pp. 480-488, May 1996.
- [8] C. Hua, C. Shen, and G. Peng, "Design of an Input Filter to Suppress Conducted EMI of a Single Phase UPS Inverter", IECON '96, pp. 1699-1704
- [9] David Tarnowski, Schaffner, "Filter Selection and Performance", ITEM, pp. 154-172, 1998
- [10] B.C. Choi, B.H. Cho, "Intermediate Line Filter Design to meet both Impedance Compatibility and EMI Specifications", 대한 전자공학회 회로 및 시스템/전력전자 연구회 합동 학술발표회 논문집, pp. 28-35, 1995. 10.
- [11] Q. Huang, "Conducted EMI in Switching Power Supplies", the 13th Annual VPEC Power Electronics Seminar Tutorials, Sep. 1995
- [12] F. Lin and D. Y. Chen, "Reduction of Power Supply EMI Emission by Switching Frequency Modulation", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 9, no. 1, pp. 132-137, 1994

---

 저 자 소 개
 

---



金 鎮 成(正會員)

1962년 2월 9일생. 1984년 동국대학교 전기공학과 졸업. 1989년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 ~ 현재 국방과학연구소 근무. 1994년 ~ 현재 충남대학교 전기공학과 박사과정 재학중. 주관심

분야는 Power Electronics, Pulsed Power 등임



權 俊 赫(正會員)

1968년 8월 7일생. 1990년 경북대학교 전자공학과 졸업. 1992년 동대학원 전자공학과 졸업(석사). 1992년 ~ 현재 국방과학연구소 근무 주관심분야는 EMI/ EMC



金 良 模(正會員)

1950년 3월 29일생. 1973년 서울대학교 공대 공업교육(전자)학과 졸업. 1975년 동 대학원 공업교육(전자)과 졸업(석사). 1986년 일본 동경대 공부부 전자공학과 졸업(공학박사). 1979년 ~ 현재 충남대학교 전기공

학과 교수. 1990년 미국 버지니아테크 방문교수. 주관심분야는 Railway Systems, Power Electroncis 등임