

## 새로운 능동EMI필터의 결합회로에 관한 연구

(A Study on the Combining Circuit of New Active EMI Filter)

최민환\* · 신동석 · 이동호 · 박종연\*\*

(Min-Whan Choi · Dong-Seok Shin · Dong-Ho Lee · Chong-Yeun Park)

### Abstract

Conventional EMI filters have tried to use an active EMI filter as a series by the series connection of two EMI filters for CM and DM noise. However, the proposed filter is formed into one circuit by using the active EMI filter which is able to filter CM and DM noise components together. As a result, the active EMI filter showed the outstanding quality in mass and volume under 50% and electric characteristics have been compared to the passive EMI filter in approximately 150kHz~10MHz. Furthermore, the proposed circuit has simple circuit components by comparing with the series EMI filters, and electrical characteristics are similar. The noise have been attenuated to maximum 20dBuV.

Key Words : Active EMI Filter, CM Noise, DM Noise

### 1. 서 론

스위칭 기술이 발달하여 거의 모든 전력전자소자에 적용함에 따라서 EMI(Electro Magnetic Interference) 필터링의 기술은 매우 중요하게 되었다[1-8].

전도성 EMI의 성분은 CM(Common Mode)과 DM(Differential Mode) 성분으로 구분되며 수동필터는 CM과 DM 성분을 각각 분리하여 필터링 한다. SMPS(Switching Mode Power Supply) 등 스위칭 소자로 동작하는 전기·전자기기의 전도성 노이즈 성분

대부분은 구형과 모양으로 나타나며, 스위칭주파수( $f_s$ )의 고조파 성분들로 구성되어 있다[2,9].

최근에 단순히 불필요한 EMI 성분의 필터링 개념에서 EMI 성분을 검출하여 역상(Inversion Mode)으로 만들어서 더해주는 능동EMI필터에 관한 이론이 발표되었다[1-6].

능동EMI필터는 그림 1과 같이 전류검출 및 전압보상, 전류검출 및 전류보상, 전압검출 및 전류보상, 전압검출 및 전압보상 4가지 종류로 분류되며, EMI 노이즈를 검출하여 입력받는 검출회로, 보상신호를 만들어내는 연산회로, 연산회로에서 만들어진 보상신호를 노이즈가 실린 선로에 재주입하여 노이즈를 상쇄시키는 보상회로 3부분으로 구분된다[10].

검출회로에서 전원선로의 노이즈를 검출하게 되면 그림 2와 같이 연산회로에서는 검출된 노이즈 신호에 대해 진폭은 같고 위상은 정반대( $180^\circ$ 의 역 위상)인

\* Main author : Chuncheon Campus of Korea polytechnic

\*\* Corresponding author : Kangwon National University

Tel : 033-260-7687, Fax : 033-260-7608

E-mail : vtwonju@kopo.ac.kr

Received : 2015. 3. 21

Accepted : 2015. 5. 22

보상신호를 만들어낸다. 이 신호를 커패시터 또는 변압기를 통해 노이즈가 존재하던 전원선로에 보상신호를 주입하게 되면 중첩의 원리에 따라 노이즈가 상쇄되는 원리로 동작한다.

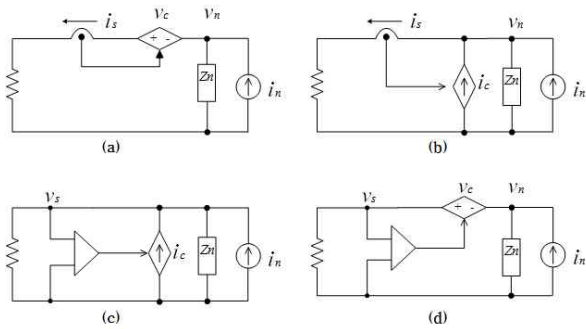


그림 1. 능동 EMI 필터의 종류  
Fig. 1. The types of the Active EMI filter

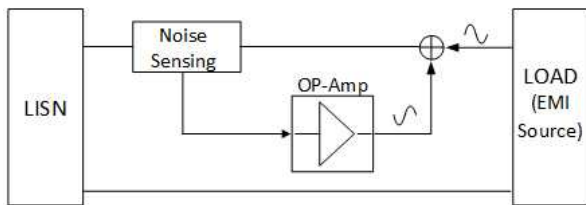


그림 2. 능동EMI필터 시스템  
Fig. 2. The active EMI filter system

기존의 능동EMI필터는 CM성분 제거를 위한 CM 필터와 DM 성분 제거를 위한 DM필터로 각각 분리되어있다. 따라서 기존의 능동EMI필터는 CM 또는 DM 노이즈 성분 중 하나의 노이즈 성분만을 보상할 수 있었다.

본 연구에서는 분리된 CM과 DM EMI필터를 결합하는 새로운 방식을 제안하여 능동EMI필터를 구성하였고 부피, 무게 등이 작아지고 특성이 우수한 능동 EMI필터를 구성하였다.

## 2. 능동EMI필터 및 제안된 구조

### 2.1 능동EMI필터의 기본구성

본 연구에서는 각각 CM, DM 노이즈 제거 특성이

좋다고 알려진 그림 1의 (c)를 CM, (d)를 DM 필터 구조로 각각 활용하였다[1].

각각 CM과 DM 필터 구조로 활용된 능동EMI필터 회로도도 그림 3과 같다. 그림 3의 (a)는 CM 필터로 고주파의 노이즈 전류만을 검출하기 위한 커패시터 (High Pass Filter)와 저항, 변압기를 이용한 검출회로, 연산증폭기를 이용한 연산회로, 보상전류를 주입하는 커패시터로 구성되었다.

그림 3의 (b)는 DM필터의 노이즈 검출부도 CM필터와 동일하게 구성되었으나 보상방법은 DM 노이즈 보상특성이 좋은 변압기를 활용한 전압보상 구조로 구성하였다.

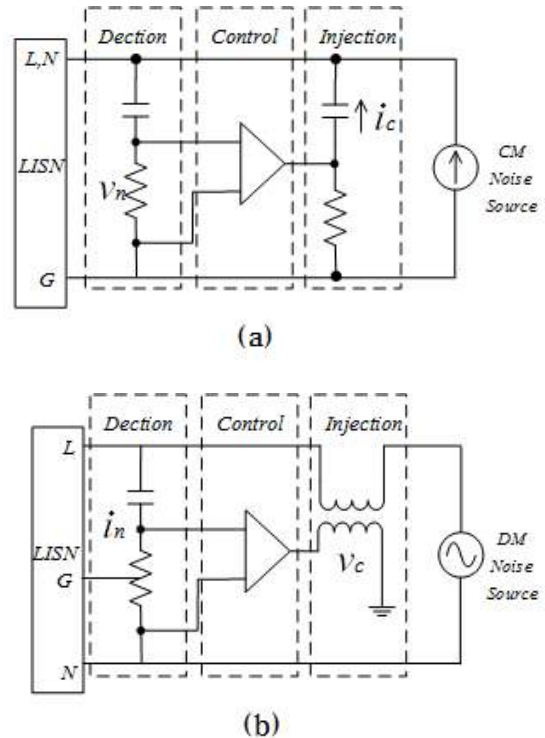


그림 3. 능동EMI필터 구조 (a) CM 필터 (b) DM필터  
Fig. 3. The structures of the Active EMI Filter  
(a) CM filter (b) DM filter

### 2.2 CM 노이즈 발생 및 보상 원리

CM 노이즈는 그림 4에서 보는 바와 같이 선(Line)과 접지(Chassis ground) 사이에 존재하는 ESC

(Equivalent Series Capacitance, 기생 커패시터)  $C_p$ 에 의해  $i_n = C_p dv/dt$  만큼 발생한다. LISN(Line Impedance Stabilization Network)에서 노이즈 전압의 크기는  $v_n = RC_p dv/dt$ 이다[2,11].

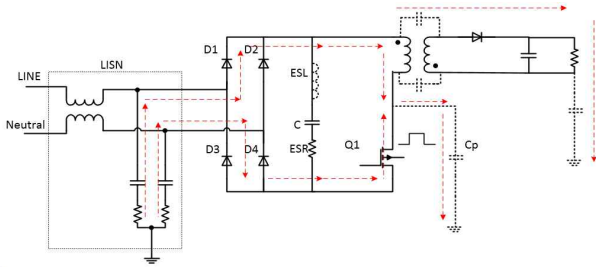


그림 4. CM 노이즈 진행 경로  
Fig. 4. The propagation paths of the CM noise

그림 5의 (a)는 CM 및 DM 노이즈 전류의 결합 경로를 단순화하여 나타낸 것이다. CM 노이즈는 그림 5에서 보이는 것과 같이 선 또는 중성선과 접지 사이에 기생 커패시터( $C_p$ )에 의한 경로로 누설되어 흐르는 전류로 나타난다. FET(Field Effect Transistor) 등의 스위칭 소자가 ON/OFF 할 때 구형파 전압 파형을 갖게 되는데 이 구형파 전압에는 많은 고주파 전압을 포함하고 있다. 이 고주파 전압이 회로에 존재하는 ESC와 결합하여 CM 노이즈 소스로 나타난다[2]. CM 노이즈의 보상은 노이즈 전류와 위상이  $180^\circ$ 인 전류를 선과 중성선에 주입하여 노이즈 전류가 LISN으로 유입되는 것을 차단한다.

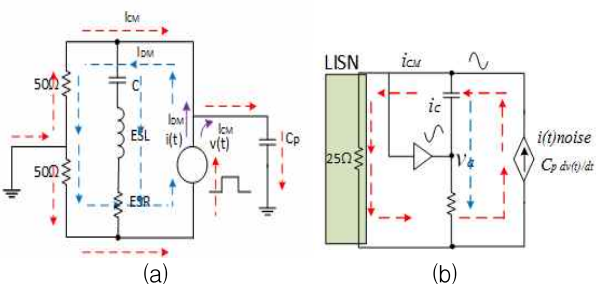


그림 5. CM 노이즈 발생 및 보상 원리  
(a) 노이즈 발생 (b) 노이즈 보상  
Fig. 5. CM noise generation and compensation  
(a) Noise generation  
(b) Noise compensation

CM 노이즈 전류를 제거하기 위해서는 CM 노이즈 전류가 전원측 LISN으로 전달되지 않도록 해야 한다. 그림 6은 변압기로 검출한 노이즈를 연산증폭기를 통해  $180^\circ$  위상차를 갖는 전류로 노이즈 소스에 공급하여 노이즈 전류를 보상한다[12].

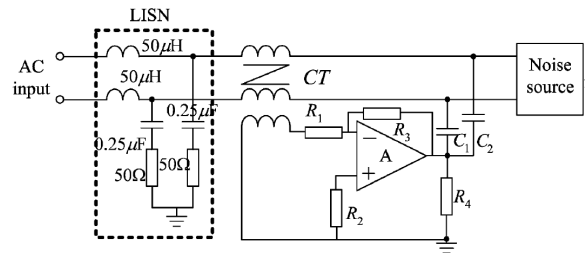


그림 6. CM 능동EMI필터  
Fig. 6. CM active EMI filter[1]

### 2.3 DM 노이즈 발생 및 보상원리

그림 7은 DM 노이즈의 경로를 나타낸다.  $Q_1$ 의 FET가 ON/OFF시 구형파 전류 형태로 나타나며, 이 구형파 전류가 그림 8에서 보이는 것과 같이 정류용 벌크 C의 ESL(Equivalent Series Inductance, 기생 인덕턴스)과 ESR(Equivalent Series Resistance, 기생 저항)과 결합하여 전압원( $v_L = L di/dt$ ,  $v_R = Ri$ )의 형태로 발생한다.

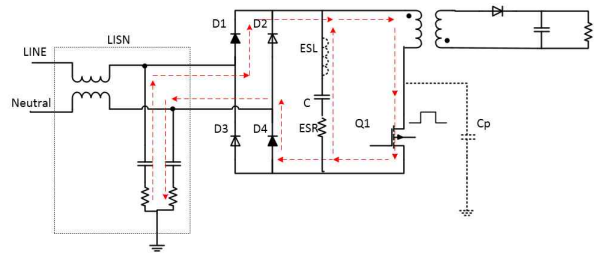


그림 7. DM 노이즈 진행 경로  
Fig. 7. The noise propagation paths of the CM noise current

DM 노이즈를 보상 또는 제거하기 위해서는 그림 9에서 보이는 것과 같이 발생한 노이즈 진폭의 크기와 동일한 전압을 만들어 변압기를 통해 선 또는 중성선에 주입해야 한다. 즉 노이즈 소스의 주파수와 위상이

같은 동일한 보상 전압을 변압기를 통해 선과 중성선 사이에 주입하면  $V_a$ 와  $V_b$ 의 전위가 동일하므로 LISN으로 노이즈를 방출되지 않는다.

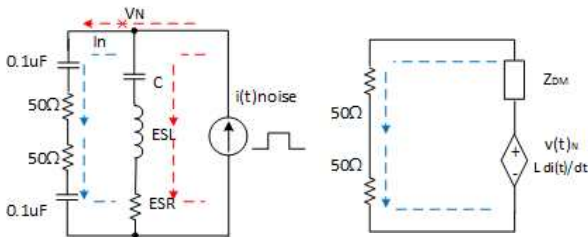


그림 8. DM 노이즈 경로  
Fig. 8. The propagation paths of DM noise

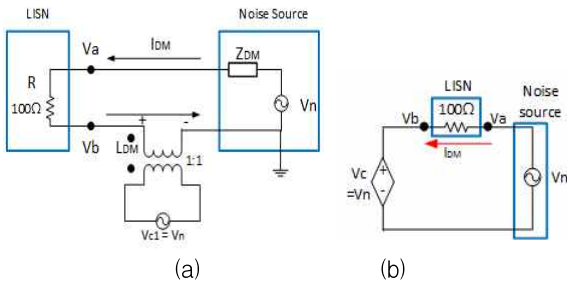


그림 9. DM 노이즈 보상 원리  
Fig. 9. The DM noise compensation

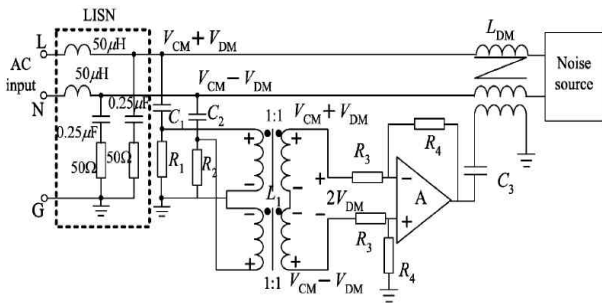


그림 10. DM 능동EMI필터[1]  
Fig. 10. DM active EMI filter[1]

그림 10은 2개의 링 코어 변압기로 DM 노이즈를 검출한 후 연산증폭기로 노이즈 전압을 증폭한 후 선과 중성선에 변압기로 보상전압을 주입하는 회로도이다 [1]. DM 노이즈 전압의 크기는 식 (1)과 같다.

$$(V_{CM} + V_{DM}) - (V_{CM} - V_{DM}) = 2V_{DM} \quad (1)$$

## 2.4 제안된 능동EMI필터

2.4.1 제안된 능동EMI필터의 블록 다이어그램  
본 연구에서는 그림 11과 같이 단일구조 DM과 CM 결합 능동EMI필터에 대한 블록 다이어그램이다. 그림 11에서 보이는 것과 같이 EMI 소스의 노이즈를 노이즈분리기를 통해 CM과 DM 성분으로 분리한 후 각각 CM과 DM 능동필터에서 동시에 보상해 준다.

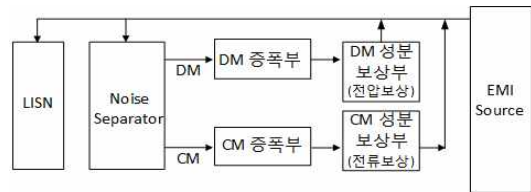


그림 11. 제안된 회로 블록다이어그램  
Fig. 11. The block diagram of proposed circuit

### 2.4.2 제안된 능동EMI필터 구조

그림 12는 제안한 능동EMI필터의 구조도이다. 그림에서 보이는 것과 같이 CM, DM 노이즈를 노이즈 분리기에서 분리한 후 CM과 DM 노이즈를 각각 동시에 보상한다.

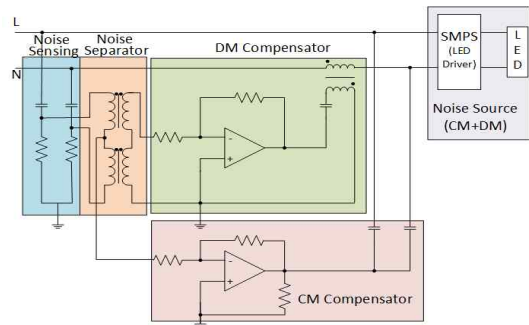


그림 12. 제안된 CM+DM 결합필터  
Fig. 12. The circuit of proposed CM+DM combining filter

## 3. 시뮬레이션 및 실험결과 검토

### 3.1 실험 및 결과 검토

그림 13은 EMI의 크기를 측정하기 위한 실험환경을

보인다. 표 1은 실험에 사용된 장비 목록이다. 노이즈 소스는 80W LED(Light Emitting Diode)용 SMPS를 사용하였다.

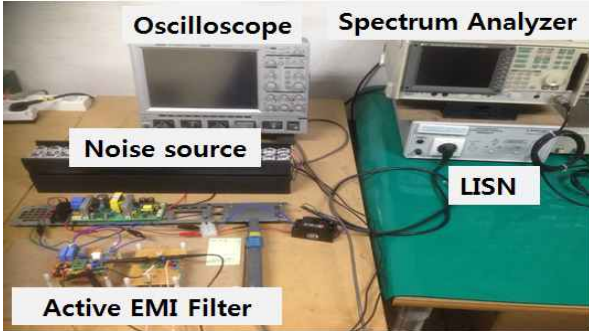


그림 13. EMI 측정을 위한 실험 환경  
Fig. 13. Experimental environment for EMI measurements

표 1. 실험에 사용된 장비 목록  
Table 1. The list of the used equipments for experiment

장비명	모델명	제조사
Spectrum Analyzer	SA-9270A	LG
Oscilloscope	WaveRunner 104MXi	LeCroy
LISN	HM6050-2	Hameg
NCT	BHNCT-HB3K	BUMHAN
Current probe	AP105	LeCroy

DM과 CM 노이즈의 크기는 오실로스코프를 이용하여 그림 12에서  $V_a$ ,  $V_b$ 를 측정 한 후 식 (2), (3)과 같이 얻을 수 있다[13,15].

$$V_{DM} = (v_a - v_b) / 2 \quad (2)$$

$$V_{CM} = (v_a + v_b) / 2 \quad (3)$$

### 3.2 DM 노이즈 성분제거용 필터의 성능

#### 3.2.1 DM 필터 회로 및 Simulation 결과

그림 14는 DM필터의 성능을 실험하기 위한 회로이다. 노이즈 소스는 200kHz 구형파 전압을 함수 발생기를 이용하여 주입하였다. 구형파는 스위칭 주파수를

기본주파수로 다량의 고조파가 포함되어 있어 노이즈 보상을 시뮬레이션하기에 적합하다. 노이즈 검출은 링 코어 변압기 2개로 구현하였다. 그림 14에서 보이는 것과 같이  $v_{sensing}$  전압을 측정하면 DM 노이즈만이 검출되고 변압기 1차측 직렬 연결된 중간 탭에서 측정하면 CM 노이즈만이 검출된다[3-4,6].

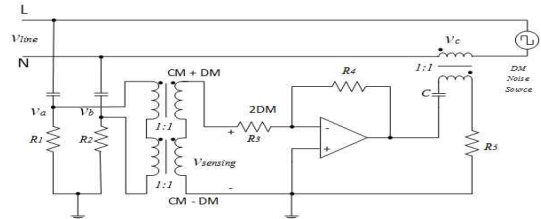


그림 14. DM 필터 시뮬레이션 회로도  
Fig. 14. The simulation circuit for DM filter

앞서 언급한 것과 같이 DM 노이즈는 전압원으로 증가화 되기 때문에 보상전압도 노이즈 소스 전압과 동일한 크기로 보상해야 한다. 따라서 검출되는 전압의 크기를 노이즈 전압의 크기와 같이 증폭해야 한다.

그림 15는 주파수 영역에서 본 노이즈 전압의 시뮬레이션 파형이다. 그림에서와 같이  $v_{sensing}$  전압의 크기가 노이즈소스와 비교하여 크기가 크게 감소하였음을 볼 수 있다.

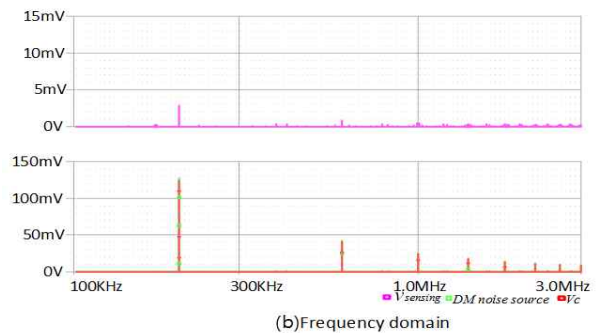


그림 15. DM 필터 시뮬레이션 파형  
Fig. 15. The Simulation waveforms for the DM filter

#### 3.2.2 DM 필터 실험 결과

그림 16은 그림 14 회로의 DM 필터 성능을 측정 한 노이즈 감쇄 측정파형으로 그림 16에서 노이즈 소스



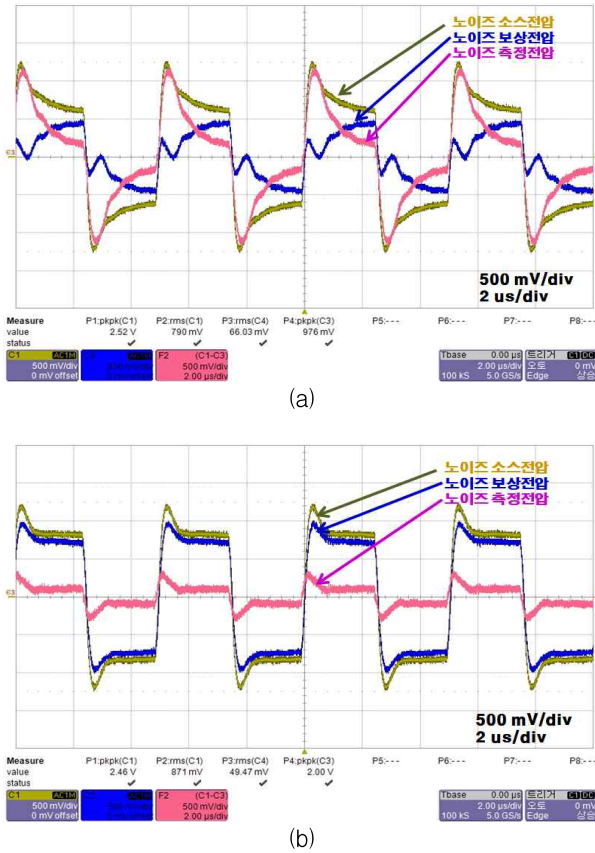


그림 16. DM filter 측정파형 (a) DM 보상 전 노이즈 측정파형 (b) DM 보상 후 노이즈 측정파형  
 Fig. 16. The waveforms of the DM filter (a) The measured waveforms with DM compensation (b) The measured waveforms without DM compensation

( $v_n$ )은 황색파형이고, 보상전압( $v_c$ )은 청색으로 주입 변압기 2차측 파형이다. 노이즈 검출부( $v_{sensing}$ )는 분홍색으로 저항 R1과 R2에 의해 측정된 전압파형이다. 그림에서 보는 바와 같이 노이즈 검출부( $v_{sensing}$ ) 파형이 노이즈원의 파형보다 크게 감소함을 확인할 수 있다.

### 3.3 CM 노이즈 성분제거용 필터의 성능

#### 3.3.1 CM 필터 회로 및 Simulation 결과

그림 17은 CM 필터의 성능을 시뮬레이션하기 위한

회로도이다. 도면에서 보는 것과 같이 CM 노이즈는 전류원으로 등가화 하였다. 노이즈 검출부는 DM 필터에서 DM 노이즈를 분리하기 위해 사용했던 링 코어 변압기의 1차측 중간 탭에서 CM 노이즈만을 분리 하였다.

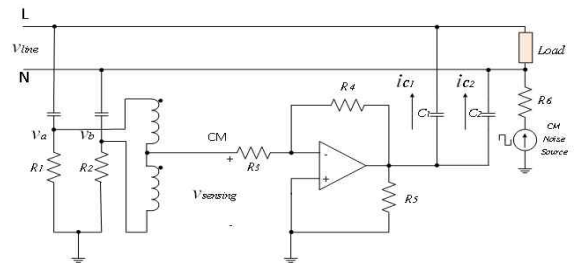


그림 17. CM 필터 시뮬레이션 회로도  
 Fig. 17. The simulation circuit for CM filter

$i_{c1}$ 와  $i_{c2}$ 은 CM 노이즈를 보상하기 위한 보상전류로 노이즈전류와 진폭이 같고 위상이  $180^\circ$ 인 전류를 선과 중성선에 주입한다.

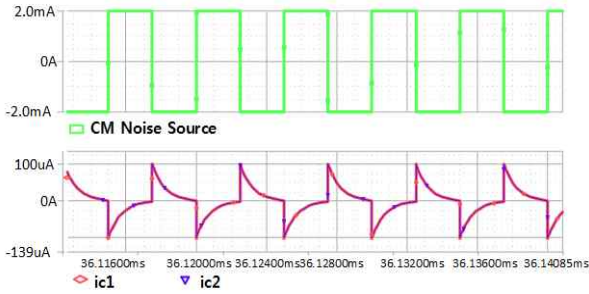
그림 18과 19의 (a)와 (b)는 각각 시간 영역과 주파수 영역에서의 보상 전·후 CM 노이즈 파형이다. 그림에서 보이는 것과 같이 CM 노이즈 보상 전보다 보상 후 CM 노이즈 크기가 많이 줄어들었음을 확인할 수 있다.

#### 3.3.2 CM필터 실험 및 결과

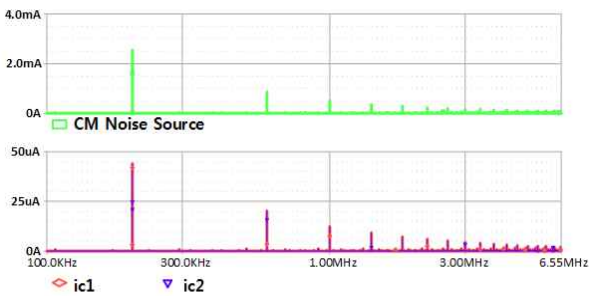
앞서 설명한 바와 같이 CM 노이즈 전류는 FET의 Drain 또는 변압기 등에서 접지 사이에 ESC 성분에 의한 누설 전류이다. CM 필터의 성능을 실험하기 위해서는 CM 노이즈 소스를 전류원으로 만들어 주입하여야 한다. 그림 20은 Howland 전류원 회로도이다 [14].

Howland 회로는 접지가 있는 부하에 적합한 전류원이다.  $v_i$ 을 함수발진기 입력으로 사용하였고, 출력 전류는  $R_L$ 에 흐르는 전류로 입력전압( $v_i$ )의 크기에 따라 전류의 크기가 결정된다.

식 (4)는  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ 일 때 부하 전류의 크기를 나타낸다. 즉 부하저항의 크기와 관계없이 입력전압과 연산증폭기 입력 저항 R에 의해 전류원의



(a)

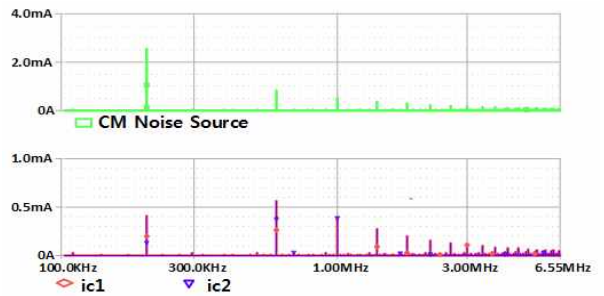


(b)

그림 18. 보상 전 CM 노이즈 파형(a)시간영역, (b)주파수영역  
 Fig. 18. The CM noise waveforms without CM compensation (a) Noise source waveforms on time domain (b) Noise source waveforms on frequency domain



(a)



(b)

그림 19. 보상 후 CM 노이즈 파형 (a)시간영역 (b)주파수영역  
 Fig. 19. The CM noise waveforms with CM compensation (a) The noise source waveforms on time domain (b) The noise source waveforms on frequency domain

크기가 결정된다.

$$i_o = \frac{V_i}{R} \quad (4)$$

연산증폭기 출력전압은 부하전압의 2배인  $V=2V_o$ 로 나타난다.

본 논문에서는 Howland 전류원 2개를 이용하여 CM 노이즈를 전류원으로 등가화 하여 실험하였다. 그림 21은 전류원 노이즈를 실험회로에 주입하기 위한 회로도이다. 그림 22의 실험 파형에서 보이는 것과 같이 구형파 전압( $v_i$ )을 입력으로 하였을 때 출력전류( $i_o$ )의 파형을 보이고 있다. 출력전류( $i_o$ )는 부하저항( $R_L$ )의 크기와 무관하게 일정한 전류를 공급한다.

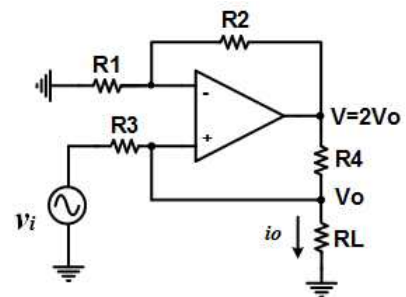


그림 20. Howland 전류원 회로  
 Fig. 20. The Howland current source circuit

그림 23의 (a), (b)의 황색과 청색 파형은 CM 노이즈 검출부(그림 17의  $v_a$ ,  $v_b$ )의 파형이고, 녹색파형은 노이즈원의 전류파형이다. 그림 23의 (a)와 (b)를 비교해 보면 (b)의 청색과 황색 파형이 (a)의 파형보다 크기가 작아 졌음을 확인할 수 있다. 이것은 CM 필터에

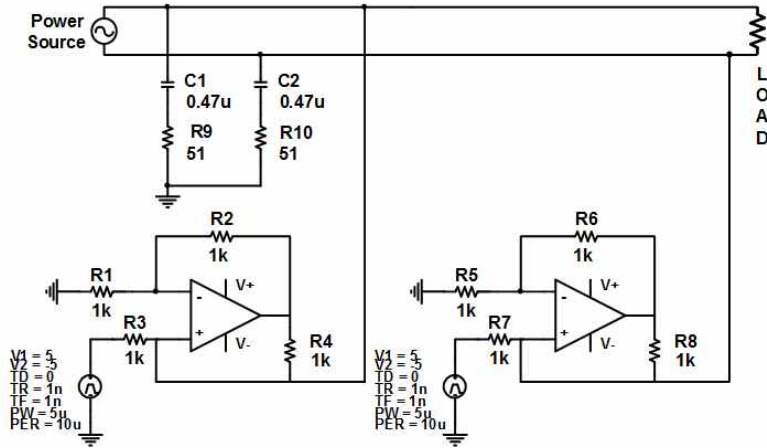


그림 21. 전류원 노이즈 주입 회로도  
Fig. 21. The injection circuit of current noise source

의해 CM 노이즈 크기가 상당히 감소했기 때문에 판단된다.

으로 구성하였다.

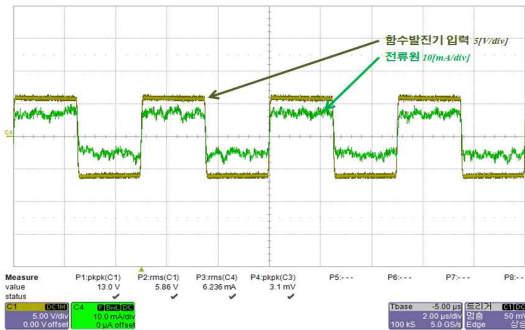
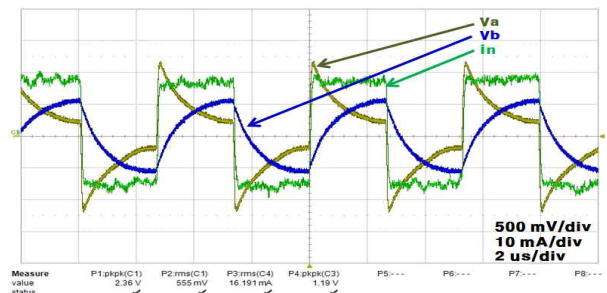


그림 22. CM 노이즈 전류원 파형  
Fig. 22. The waveforms of the CM current source

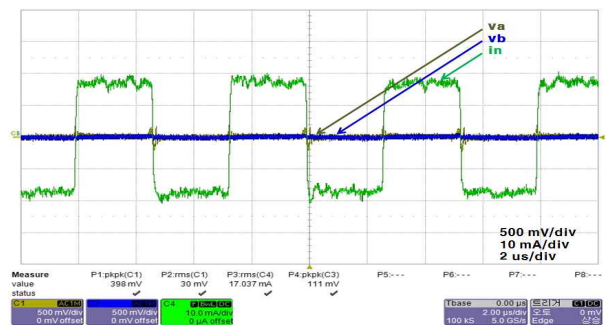
### 3.4 CM+DM 성분을 결합한 회로의 성능

#### 3.4.1 결합회로 구성

본 논문에서 제안한 그림 24와 같이 CM과 DM 노이즈를 동시에 제거할 수 있는 회로도이다. 링 코어 변압기 2개로 구성된 노이즈 분리기에서 CM과 DM 노이즈를 분리한다. CM 노이즈는 전류원의 형태를 가지므로 전류보상을 하는 것이 효과적이고, DM 노이즈는 전압원의 형태를 가지므로 전압 보상하는 것이 유리하다. 따라서 본 논문에서는 CM 노이즈는 전류 보상 방식을 사용했고, DM 노이즈는 전압 보상 방식



(a)



(b)

그림 23. CM filter 측정 파형 (a) CM 보상 전 노이즈 측정 파형 (b) CM 보상 후 노이즈 측정 파형

Fig. 23. The measurement waveforms of the CM filter (a) The CM noise waveforms without compensation CM (b) The CM noise waveforms with compensation CM



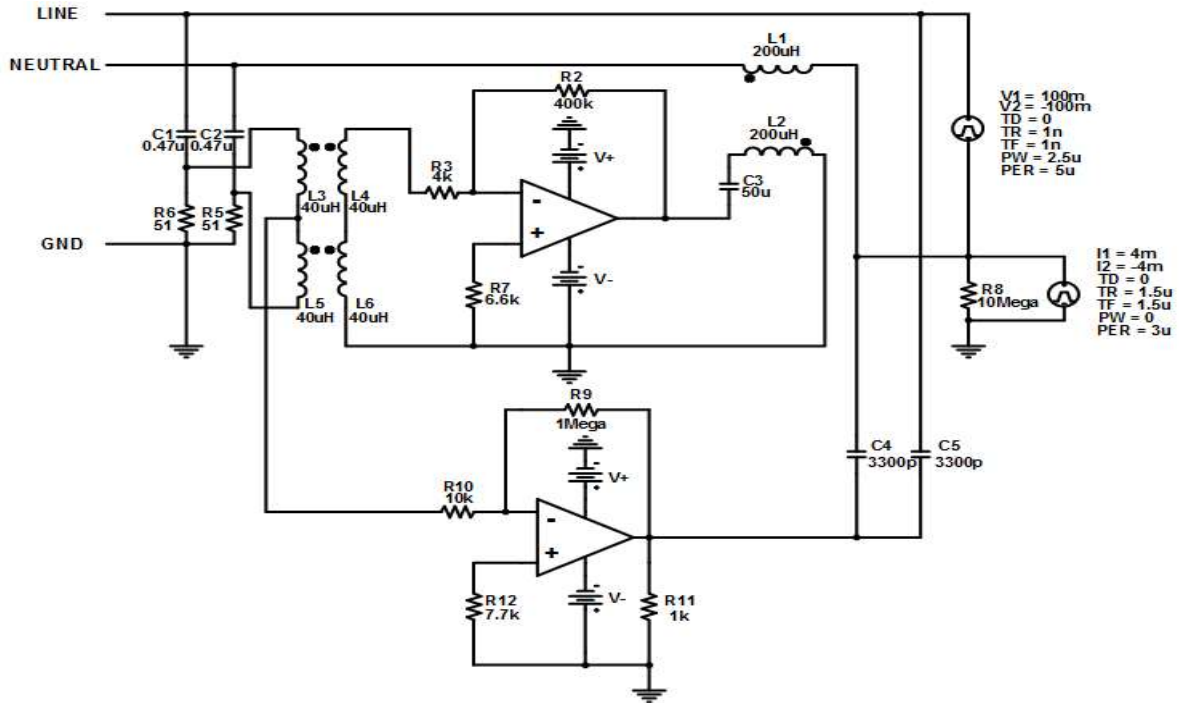


Fig. 24. CM+DM 능동EMI필터 전체 회로도(DM 노이즈 : 전압원, CM 노이즈 : 전류원)  
 Fig. 24. The whole circuit of CM and DM Active EMI filter(DM noise : voltage source, CM noise : current source)

### 3.4.2 Simulation 결과

그림 24에서 제시한 회로의 성능을 테스트하기 위해 DM 노이즈는 선과 중성선 사이에 200kHz 구형파 전압원을 인가하였고, CM 노이즈는 선과 접지 그리고 중성선과 접지 사이에 300kHz 삼각파 전류를 주입하였다.

시뮬레이션 결과 노이즈 감쇄정도의 측정은 그림 24의 저항 R5와 R6의 양단에 걸리는 전압으로 측정하였다. 그림 25에서 보이는 것과 같이 기본주파수에서 CM과 DM 노이즈 크기가 각각 3mA에서 80uA, 130mV에서 0.8mV로 크게 감소함을 볼 수 있다.

### 3.4.3 실험결과 및 검토

실험은 두 가지 방법으로 수행하였다. 첫 번째 방법은 CM 노이즈로 300kHz 구형파 전류원을 만들어 주입하였고, DM 노이즈로는 200kHz 구형파 전압원을 사용하여 그림 24의 저항 R5와 R6에 걸리는 전압을

오실로스코프로 측정한 후 각각 식 (2), (3)을 이용하여 CM과 DM 노이즈를 각각 FFT(Fast Fourier Transform) 파형으로 분석하였다.

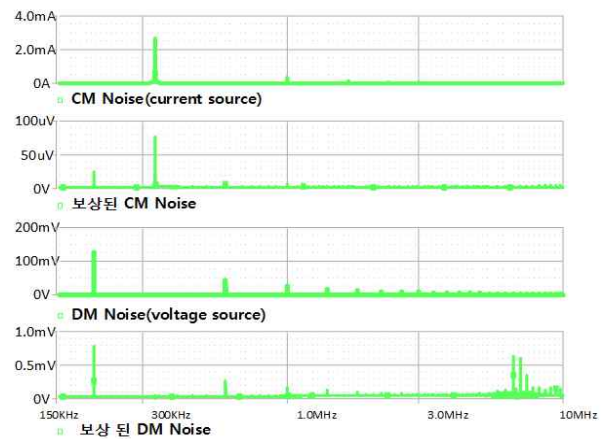


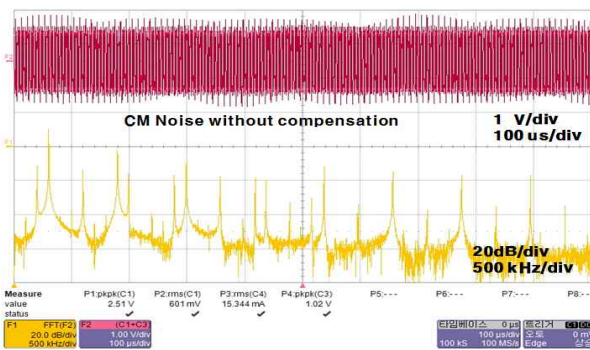
그림 25. CM+DM 결합회로 시뮬레이션 파형  
 Fig. 25. The simulation waveforms about the CM+DM couple circuit

두 번째 방법은 80W LED용 플라이백 컨버터를 노이즈 소스로 사용하여 Spectrum Analyzer로 노이즈 감쇄 정도를 측정하였다.

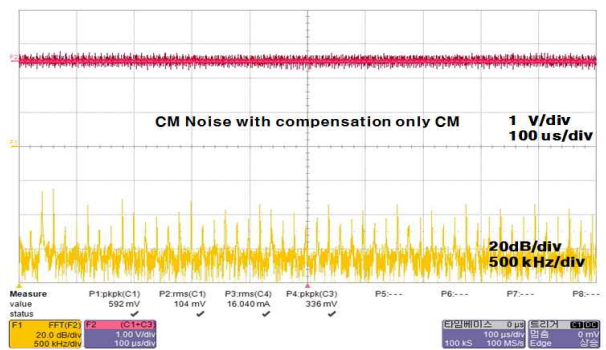
그림 26은 첫 번째 방법으로 측정한 노이즈 파형을 시간영역과 주파수영역으로 나타낸 것이다. (a)파형은 보상 전 CM 노이즈 파형이고 (b)파형은 보상 후 파형이다. 그림에서 보이는 바와 같이 (b)의 파형이 (a)의 파형보다 기본 주파수에서 약 40dB 감쇄를 보인다. 그

림 (c)와 (d)의 파형은 각각 DM 노이즈 보상 전과 보상 후의 파형으로 (d)의 파형이 (c)의 파형보다 노이즈 전압이 20dB 이상 감소하였다. (e)와 (f)의 파형은 각각 CM과 DM 노이즈를 동시에 보상하였을 때 CM 노이즈 파형과 DM 노이즈 파형을 보인다. (e)와 (f)의 파형은 각각 (a)와 (c)의 파형보다 40dB와 30dB 감쇄하였다.

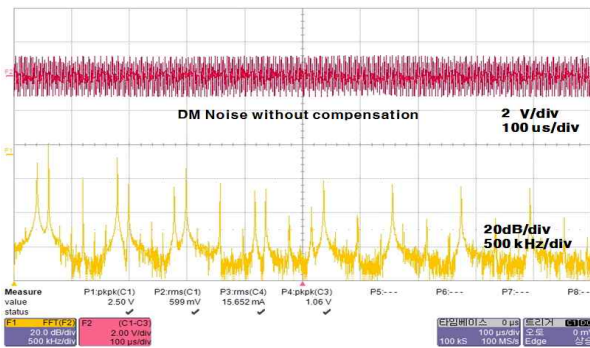
CM과 DM노이즈를 전압 및 전류원으로 인가했을



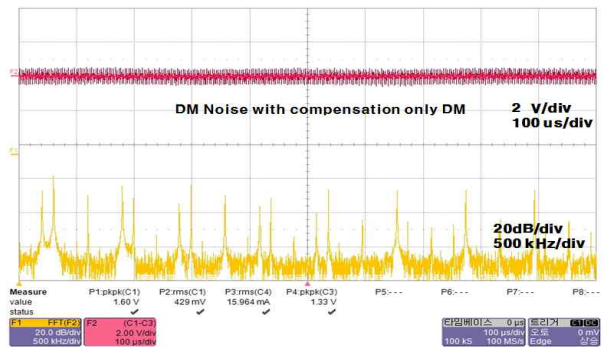
(a) 보상 전 CM 노이즈 시간영역과 FFT 파형



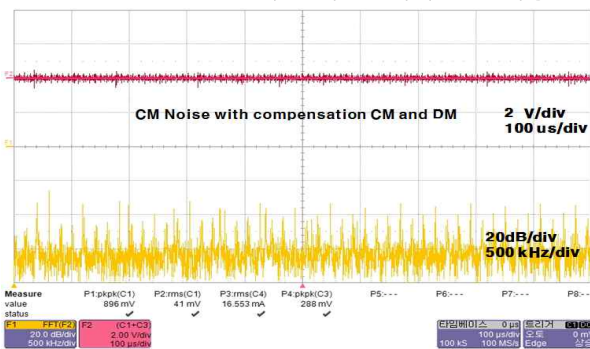
(b) CM만 보상 후 CM 노이즈 시간영역과 FFT 파형



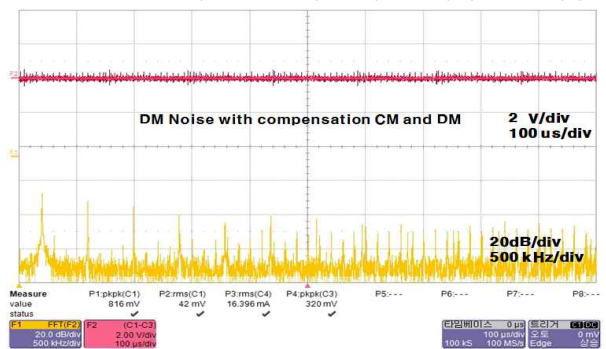
(c) 보상 전 DM 노이즈 시간영역과 FFT 파형



(d) DM만 보상 후 DM 노이즈 시간영역과 FFT 파형



(e) CM, DM 동시 보상 후 CM노이즈 측정파형



(f) CM, DM 동시 보상 후 DM노이즈 측정파형

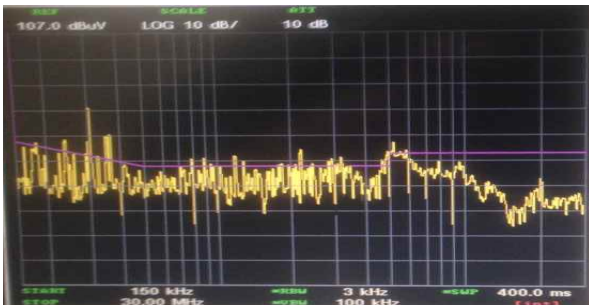
그림 26. 노이즈 측정 FFT 파형  
Fig. 26. The noise waveforms measured by the oscilloscope

때 본 논문에서 제안한 능동EMI필터는4MHz 이상의 높은 주파수대역에서도 노이즈 감쇄 폭이 큰 것을 확인 할 수 있었다.

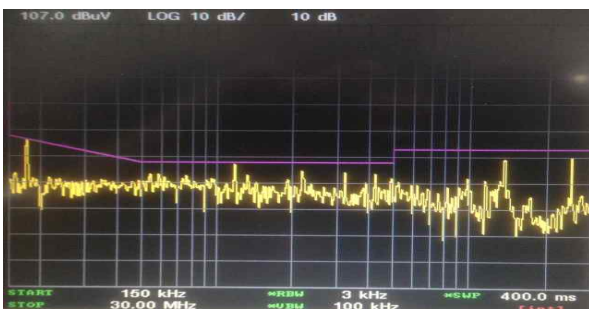
그림 27은 두 번째 방법으로 실제 노이즈 소스에 제안한 능동EMI필터를 이용하여 Spectrum Analyzer로 측정한 파형이다.



(a)



(b)



(c)

그림 27. Spectrum Analyzer 노이즈 측정 파형  
(a) SMPS 노이즈 소스 (b) 수동필터만 적용  
(c) 능동필터 추가 적용

Fig. 27. The noise waveforms measured by the spectrum analyzer (a) SMPS noise source (b) only passive EMI filter (c) active and passive EMI filters

그림 27의 (a)는 감쇄대상 SMPS 노이즈 소스의 측정 파형이고 (b)는 크기가 작은 2차 수동필터만 사용했을 때 측정파형이다. 수동필터의 크기는 3.4mH의 CM 초크와 0.2uF의 X-cap만을 사용하였다. 그림에서 보이는 것과 같이 전체적으로 노이즈의 크기가 20dBuV 감소하였으나 6MHz 이하의 저주파 대역에서 노이즈 크기가 많이 감소하지 않았다. (c)는 능동필터를 추가하여 보상했을 때의 노이즈 크기이다. 측정 결과 전도성 EMI 대역에서 노이즈가 크게 감소하였음을 확인할 수 있었다.

실험결과 함수발진기를 이용하여 노이즈 소스를 전압원과 전류원으로 실험했을 때 보다 노이즈 감쇄 폭은 작았고, 높은 주파수대역에서 노이즈는 오히려 증가되었음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 능동EMI필터의 효과적인 구조를 제안하기 위해서 CM 성분용 능동EMI필터와 DM 성분용 능동EMI필터를 결합하여 단일형 능동EMI필터 회로를 구성하였다. 새롭게 구성된 CM, DM 결합형 능동EMI필터 회로의 요소를 결정하여 시뮬레이션 및 실험 통해 기존 CM과 DM 분리형 능동EMI필터 보다 간단한 구조가 되었으며 설계가 용이하였고 각각 회로 요소 값의 결정이 용이하였다. 능동 소자의 주파수 특성 때문에 10MHz 이상의 능동EMI필터는 사용에 제한을 받을 수 있으나  $f \leq 10\text{MHz}$  이하에서는 노이즈가 크게 감쇄하였다. 따라서 10MHz 이하의 낮은 주파수 대역은 능동EMI필터로 감쇄하고, 10MHz 이상의 높은 주파수대역은 수동필터로 보상하는 것이 필터의 크기를 줄일 수 있다.

#### References

[1] Wenjie Chen, Weiping Zhang, Xu Yang, Zhiyong Sheng and Zhaoan Wang. An Experimental Study of Common- and Differential-Mode Active EMI Filter Compensation Characteristics, IEEE Transactions On Electromagnetic Compatibility, Vol. 51, No. 3, August 2009.  
[2] Milind M Jha, Kunj Behari Naik and Shyama P Das. Analysis of Dominant Frequency Ranges for Various

- Modes of EMI Generated by Switching Converters, IEEE, 2010.
- [3] M.Chiado Caponet, F.Profumo, L.Ferraris, A. Bertoz, D. Marzella. Common and Differential Mode Noise Separation : Comparsion of two Different Approaches, IEEE, 2001.
  - [4] Marco Chiado Caponent, Francesco Profumo. Device for the Separation of the Common and Differential Mode Noise : Design and Realization, IEEE, 2002.
  - [5] Djilali Hamza and Praveen K. Jain. Conducted EMI Noise Mitigation in DC-DC Converters using Active Filtering Method. IEEE, 2008.
  - [6] Shuo Wang, Fred. C. Lee, Willem Gerhardus Odendaal. Characterization, Evaluation, and Design of Noise Separator for Conducted EMI Noise Diagnosis, IEEE Transactions on power electronics, Vol. 20, NO. 4. July 2005.
  - [7] Dong-Ho Lee, Min-Whan Choi, Chong-Yeon Park, A Study on the Active EMI Filter for LED Driver, Journal of the KIIEE, pp. 62-68, Vol. 29, February 2015.
  - [8] Jin-Wan Yoo, In-Ung Jeon, Dong-Ho Lee, Dong-Seok Shin, Chong-Yeun Park. Simulation of the Active EMI Filter for a DM Noise from LED Driver . The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Spring Conference 2013. pp. 102-103, May 2013.
  - [9] Raul Monteiro, Beatriz Borges, Victor Anunciada, EMI Reduction by Optimizing the Output Voltage Rise Time and Fall Time in High-Frequency Soft-Switching Converters. IEEE, 2004.
  - [10] Yo-Chan Son, Seung-Ki Sul, Generalization of Active Filters for EMI Reduction and Harmonics Compensation, IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 42, No. 2, March/April 2006.
  - [11] Krishna Mainali, Ramesh Oruganti. Conducted EMI Mitigation Techniques for Switch-Mode Power Converters: A Survey, IEEE Transactions on power electronics, Vol. 25, No. 9, September 2010.
  - [12] Wenjie Chen, Xu Yang, Zhaoan Wang. An Active EMI Filtering Technique for Improving Passive Filter Low-Frequency Performance. IEEE Transaction on electromagnetic compatibility, Vol. 48, NO. 1, February 2006.
  - [13] Dongbing Zhang, Dan Chen, Dan Sable, Non-intrinsic Difenferential Mode Noise Caused by Ground Current in an Off-line Power Supply. IEEE, 1998.
  - [14] Ian Hickman, Analog Electronics. second edition. PLANT a tree. pp. 157. 1999.
  - [15] Younhee Lee, Modeling and simulation of conducted EMI noise generated in the electric power converters of the electric and hybrid electric vehicles. Doctor of Philosophy at the university of Wisconsin-Milwaukee, pp. 6. August 2008.

◆ 저자소개 ◆



**최민환(崔民煥)**

1974년 5월 21일생. 2000년 한국기술교육대학교 전기공학과 졸업. 2006년 강원대 전기전자공학과 졸업(석사). 2009년 강원대 전기전자공학과 박사과정 수료. 2006년~현재 한국폴리텍대학 춘천캠퍼스 부교수.

Tel : (033)260-7687

Fax : (033)260-7608

E-Mail : vtwonju@kopo.ac.kr



**신동석(申東碩)**

1985년 2월 22일생. 2007년 강원대 전기전자공학과 졸업. 2009년 강원대 전기전자공학과 졸업(석사). 2009~2013년 서울스태이지라이팅 책임연구원. 2010년~현재 강원대 전기전자공학과 박사과정.

Tel : (033)250-6292

Fax : (033)259-5674

E-Mail : shinds0208@gmail.com



**이동호(李同鎬)**

1990년 2월 28일생. 대성고등학교 졸업. 강원대학교 전기전자공학부 졸업. 강원대학교 BIT의료융합학 석사과정. 현재 통신 및 신호처리 연구실 소속.

Tel : (033)250-6292

Fax : (033)259-5674

E-Mail : dhl02281@naver.com



**박종연(朴鍾演)**

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대 전자공학과 졸업. 1980년 경북대 전자공학과 졸업(석사). 1984년 경북대 전자공학과 졸업(박사). 1973~1977년 KIST 연구원. 1977~1984년 울산공대 조교수, 부교수. 1984년~현재 강원대 전기전자 공학과

교수.

Tel : (033)250-6292

Fax : (033)259-5764

E-Mail : cypark@kangwon.ac.kr