

2차측 저역통과필터를 이용한 AC/DC 변환기 EMI 노이즈 저감 기법

EMI Noise Reduction of AC/DC Converter Using the Secondary Low Pass Filter

이 선 옥 · 박 용 배

Seon-Uk Lee · Yong-Bae Park

요 약

본 논문에서는 조명기기의 AC/DC Converter에 대한 EMI(Electro Magnetic Interference) 노이즈 측정을 통해 올바른 필터 설계가 이루어졌는지 확인하고, 적절한 추가 필터 설계를 통해 기존 제품과 필터 적용 제품에 대한 비교를 하였다. 고주파 트랜스와 고주파 스위칭 소자의 노이즈를 저감하기 위해 RC 필터(low pass filter)를 추가 적용하여 최소한의 필터 설계를 통해 노이즈 마진을 높이고, 각각의 Converter(trans, switch)에 대한 RC 필터 적용 후 특성을 비교해 보았다. 노이즈 검출량이 높은 1 MHz에서 30 MHz 고주파수 대역의 잡음을 잡기 위해 차단주파수(cut-off frequency) 대역을 고주파 트랜스와 스위칭 소자 인접 주파수대로 설계하고, Oscilloscope로 측정한 결과, 상대적으로 차단주파수가 1 MHz인 R, C 조합으로 필터 설계를 하였을 때 노이즈가 저감하는 것을 확인하였고, EMI Receiver로 측정한 결과 2 dBuV~11 dBuV 가량 변화하여 간단한 추가 필터 적용으로 저감 효과를 낼 수 있었다.

Abstract

In this paper, we measure the Electromagnetic Interference(EMI) noise of AC/DC converters in lighting devices to enable us to optimize the design of its filters as compared to the conventional filters. Addition of RC filters to the circuit helps in increasing the noise margin, thereby, reducing the noise generated by high-frequency transformers and switching devices. The characteristics of each converter are compared after addition of RC filter to the circuit. To reduce the noise generated by the high frequency band, ranging from 1 MHz to 30 MHz, high frequency transients and switching devices, with a cut off frequency closer to the band, have been designed. The results are measured using an oscilloscope. A reduction in noise is observed in case of a filter designed using a combination of R and C with a cut-off frequency of 1 MHz. The EMI Receiver shows that the noise is significantly reduced on addition of filters and the noise reduction ranges from 2 dBuV to 11 dBuV, respectively.

Key words: EMI, Filter, AC/DC Converter, Lighting Device

I. 서 론

국내 조명시장의 성장에 따라 다양한 LED 조명의 급

증으로 조명기기의 구동장치 또한 고속화 및 소형화되면서 고주파 노이즈로 인한 방사성 및 전도성 EMI(Electro Magnetic Interference) 잡음이 증가하였다. 그로 인해 이상

이주대학교 IT 융합공학부(IT Convergence Engineering Graduate School, Ajou University)

· Manuscript received September 23, 2019 ; Revised October 18, 2019 ; Accepted November 18, 2019. (ID No. 20190923-090)

· Corresponding Author: Yong-Bae Park (e-mail: yong@ajou.ac.kr)

적인 출력을 방해하고, 회로의 오작동을 유발시켰다. 이러한 제품의 오작동을 발생시키는 노이즈를 차단하기 위해서 EMI 필터설계는 굉장히 중요하다. EMI 필터에는 수동필터(passive filter)와 능동필터(active filter)가 있으며, 각각의 필터들은 공통모드(common mode)와 차동모드(differential mode) 노이즈를 저감시켜 준다^{[1][2]}. 이러한 노이즈는 스위칭에 의한 기생진동이나 고주파 변압기의 기생커패시턴스에 의해 발생하며, 대체로 이론적 필터설계와 다른 양상의 결과를 주기 때문에 실제 필터 설계 후에도 다양한 대안이 필요하다^{[3]~[5]}.

능동필터는 수동필터와 달리 연산증폭기 및 TR(transistor)을 사용하여 설계함으로 복잡한 구조와 대체로 고주파보다는 저주파 노이즈를 저감하도록 구성되어 고주파 노이즈를 저감하는데 큰 영향을 미치지 못한다. 그래서 상대적으로 수동소자를 이용한 필터설계가 주로 이루어진다. 하지만 수동소자 또한 공통모드 노이즈 저감을 위한 1차측 Y-커패시터의 용량에 비례하여 누설 전류가 발생한다. 이러한 누설전류는 안전상의 문제로 국내, 외 안전관리기관(safety agency)에서 허용치를 규제하고 있다. 또한 누설 전류를 줄이기 위해선 인덕턴스를 일정 수준 이상으로 증가시켜야 하므로 PCB의 크기 및 원가가 증가하는 단점이 있다^{[6]~[9]}.

2차측 같은 경우에는 스위칭 노이즈를 저감하는 스너버 회로를 많이 사용한다. 스너버 회로는 RC, RL, RCD 조합으로 나뉘지며, 보통 RCD 스너버를 사용하여 스위칭 동작에서 발생하는 오버슈트(overshoot) 전압을 낮춰줌으로 노이즈 저감에 유용하다. 다만 출력에 있어서 단일 출력(single output)이 아닌 다중 출력(multi output)일 경우, 스너버 회로가 출력 포트(output port)에 비례하여 추가되는 부분에서 실장 면적과 가격상승의 요인으로 가격 경쟁력이 중요한 조명기기 구동장치 제품에서는 비효율적인 면이 있다. 이러한 구조적 문제를 해결하기 위해 기술적인 측면에서 스위칭 소자 내에 스너버 회로를 내장시키는 기술이 제안되고 있으나, 상용화 단계에는 이르지 못하고 있다^{[1][2]}.

본 논문에서는 2차측 스위칭 소자 내에 스너버 회로를 이용하지 않고도 Chip Type의 R, C 수동소자를 이용해 2차측 저역통과필터(low pass filter)의 추가 설계를 통해 누설

전류에 대한 안전성 확보 및 고주파 노이즈를 저감하는 알고리즘을 제시하고, 기존 L, C와 추가 R, C로 인한 RLC 공진대역을 고려하여 필터의 차단주파수(cut off frequency)를 최적화한다. 또한 공통모드와 차동모드 노이즈의 발생 구조를 파악하고, CISPR 25 규격의 측정 기법을 이용하여 AC/DC Converter에서 방사되는 노이즈에 대한 필터의 성능을 분석한다.

II. 본 론

2-1 AC/DC Converter 회로와 노이즈 확인

본 논문의 test sample로 쓰이는 AC/DC converter는 switch type과 trans type으로 분류된다. 그림 1과 같이 switch type은 높은 DC 전압을 감압하는 구조로 PWM(Pulse Width Modulation) 방식을 통해 duty cycle을 제어하여 DC 전압을 출력하는 방식의 converter이며, 그림 2와 같은 trans type은 단순히 트랜스포머의 1, 2차측 코일의 권선비를 조절하여 전압을 감압하는 구조로 전파 정류 후 전압 레귤레이터(regulator)를 통해 일정 수준의 DC 전압을 출력하는 converter이다.

2-1-1 노이즈의 종류

조명기기 구동장치의 노이즈는 크게 2가지로 DM(Differential Mode), CM(Common Mode)으로 구분된다. DM 노이즈는 자기 커플링(magnetic coupling) 또는 MOSFET Diode의 switching 전류에 의해 발생하는데, 이러한 노이즈로 인해 정류회로의 p-n 접합(junction)이 깨지거나 트랜스포머의 절연을 파괴시킬 수 있다. CM 노이즈는 그라운드(대지, 샷시)를 통해 전원 공급 라인에 전류가 유입되어 발생하는 노이즈이다. 이러한 CM 노이즈는 그라운드와 전원공급라인 사이에 기생 커패시터에 의존하며, 고주파 트랜스포머와 PCB 패턴에도 형성될 수 있다. 그림 1 및 그림 2를 통해 노이즈 흐름을 확인할 수 있다.

공통모드(common mode)와 차동모드(differential mode) 노이즈 발생을 억제하기 위해 1, 2차측 필터 설계가 반드시 필요하다. X-커패시터, Y-커패시터를 제외한 차동모드 필터는 페라이트 비드(ferrite bead)나 인덕터가 커패시터

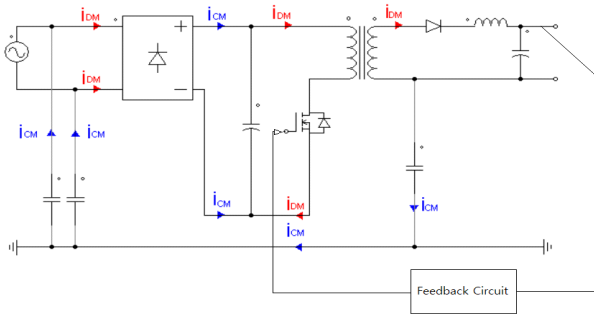


그림 1. Switch type converter CM, DM 노이즈 경로
Fig. 1. Switch type converter CM, DM noise path.

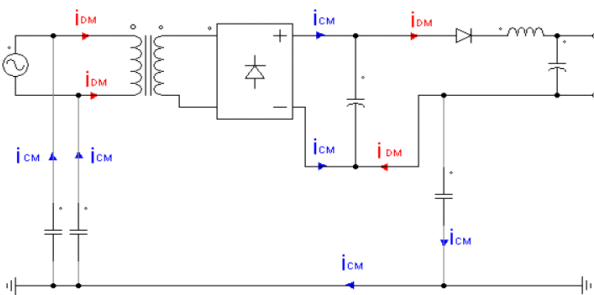


그림 2. Trans type converter CM, DM 노이즈 경로
Fig. 2. Trans type converter CM, DM noise path.

와 직렬로 연결된다. 이때, 페라이트 비드가 직류전류에 의해 포화(saturation)되지 않도록 설계하는 것이 중요하다. 공통모드 필터는 PCB에 공통모드 초크(common-mode choke)를 장착하거나, 전원 케이블에 페라이트코어를 감아서 노이즈를 억제하는 방법이 있다.

2-1-2 EMI 스캐너를 이용한 노이즈 소스 확인

표 1의 receiver와 scanner를 사용하여 조명기기 구동장치의 PCB 기판에서 발생하는 방사 노이즈를 측정하기 위해 receiver와 scanner의 측정 주파수 범위를 100 kHz에서 1 GHz로 설정 sample 외에 주변 환경 노이즈가 측정되는 것을 방지하기 위해 scanner를 차폐 후 probe 측정 포인트는 X 축으로 5 mm, Y 축으로 5 mm 간격으로 이동하면서 측정을 실시하였다.

그림 3 및 그림 4는 PCB 방사 노이즈 측정결과이다. 노이즈 발생에 대한 구분을 색으로 표현하였으며, 적색에

표 1. EMI scanner 장비 정보

Table 1. Information of EMI scanner.

Name	EMI scanner	Receiver
Maker	Erae Tech	Rohde & Schwarz
Model number	RCE 40H	ESR - 7

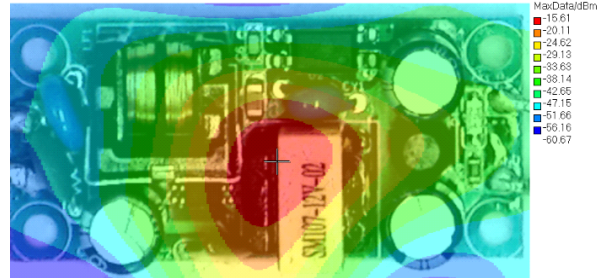


그림 3. Trans type converter PCB 방사 노이즈
Fig. 3. Trans type converter PCB radiation noise.

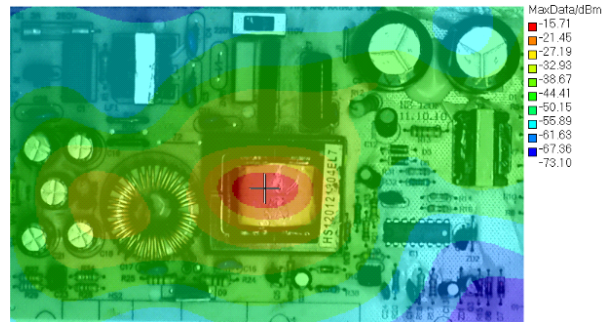


그림 4. Switch type converter PCB 방사 노이즈
Fig. 4. Switch type converter PCB radiation noise.

가까울수록 노이즈 방사량이 높고, 청색에 가까울수록 방사량이 낮음을 확인할 수 있다. 두 Sample 모두 전체적으로 노이즈 방사량이 트랜스포머를 기준으로 PCB 외각으로 분포되는 양상을 확인할 수 있다.

측정 데이터에 대한 노이즈 방사값은 dBm으로 Log 스케일을 mW 단위로 변환하여 보여주고 있다.

2-1-3 저역통과 필터의 구조

RC 필터는 주로 저역통과필터(low pass filter)로 사용하며, 저항 R과 커패시터 C를 직렬로 연결하고, C의 양단에

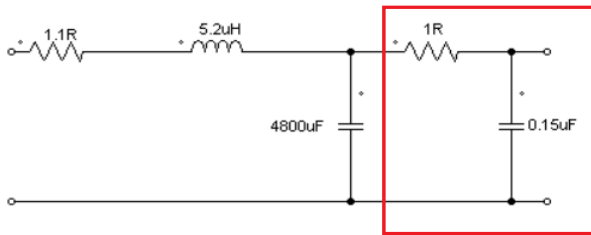


그림 5. 저역통과 필터 구조
Fig. 5. Structure of low pass filter.

서 출력을 뽑는 방법으로 사용한다. 직류신호에서는 ω 가 0이므로 이득이 1(저주파성분에 대해서는 1에 가까운 이득)이 되고, 걸러진 고주파 성분은 R에서 소모하게 된다.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

$R=1$ [ohm], $C=0.15$ [uF]으로 차단주파수 1 MHz를 설계하면 식 (2)와 같이 계산이 가능하다.

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} \\ &= \frac{1}{2\pi \cdot 1(1.5 \cdot 10^{-7})} \\ &= 1,061,571 \text{ [Hz]} \approx 1 \text{ [MHz]} \end{aligned} \quad (2)$$

2-1-4 RLC 공진주파수 구조

일반적인 PCB 기판에는 resistance, capacitance, inductance 성분이 존재한다. 이런 성분은 RLC 직렬회로와 등가적으로 해석할 수 있다. 이는 식 (3)과 같은 임피던스의 특성 방정식을 가진다.

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC} = 0 \quad (3)$$

식 (3)의 판별식이 0 미만의 값을 가질 때 해는 식 (4)와 같다.

$$s = -\frac{R}{2L} \pm i\sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}} \quad (4)$$

식 (4)와 같은 해를 가지는 회로는 주파수

$$\omega = \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}} \quad (5)$$

로 진동하는 항이 $-R/2L$ 에 비례하여 지수적으로 감쇠하는 경향을 보인다. 결국 충분한 시간이 지나면 사라지는 신호지만, 주기적으로 스위칭하는 소자에서는 식 (5)와 같은 경향이 스위칭 시 항상 발생하게 되어 노이즈 원인으로 작용한다.

2-2 조명기기 컨버터 방사 노이즈 측정 기법

조명기기 컨버터에 대한 전자파 방사 시험은 KN15 규격의 3 m 측정법으로 전자파를 측정한다. 하지만, 본 논문에서는 sample의 디버깅이 목적이므로 turn table을 이용한 다방면 측정에서 발생할 수 있는 간헐적 노이즈 발생을 줄이고, antenna와 sample의 높이를 수평이 되게 하고, 거리를 좁혀 일정한 노이즈 측정이 가능하게 하기 위해 CISPR25 규격의 1 m 측정법으로 측정하였다.

그림 6은 1 m 측정법을 적용한 방사 노이즈 측정 chamber 내부 setup이며, 방사 노이즈 측정을 위해 setting 조건을 구성하였다^[10].

- 1) 시험에 적용할 Output Wire(DC)의 길이는 1,500 mm±75 mm까지이다.

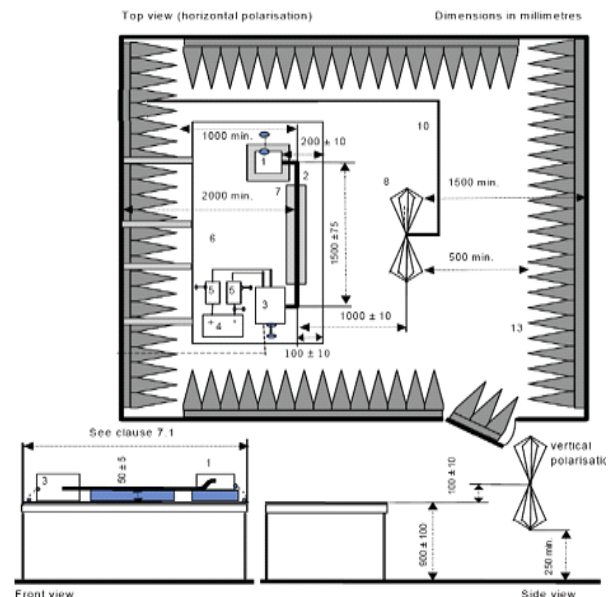


그림 6. 방사 노이즈 측정 setting 기준
Fig. 6. Standard of radiation measurement setting.
출처: CISPR 25 Edition 3.0 : 2008

- 2) 접지면으로부터 Output Wire(DC)는 $50\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ 높이로 이격시킨다.
- 3) Output wire(DC)는 시험벤치 가장자리에서 $100\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$ 이다.
- 4) 시험벤치에서부터 바닥까지의 높이는 $900\text{ mm} \pm 50\text{ mm}$ 이다.
- 5) 안테나의 중심은 시험 벤치의 높이에 $100\text{ mm} \pm 50\text{ mm}$ 이다.
- 6) 수직상태의 안테나의 끝단에서 바닥까지의 높이는 250 mm 이다.
- 7) Sample은 시험벤치 가장자리에서 $200\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$ 떨어진 곳에 배치한다.
- 8) 안테나는 output wire(DC) 중심에서 $1,000\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$

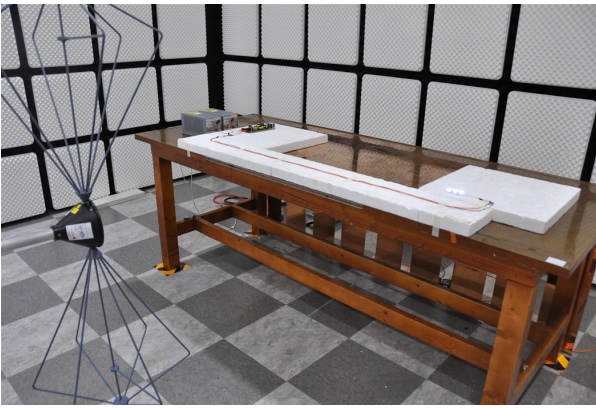


그림 7. 방사 노이즈 측정 setting
Fig. 7. Radiation noise measurement setting.

표 2. 방사 측정 장비
Table 2. Radiation measuring equipment.

Name	Maker	Model No.
Receiver	Rohde	ESU 26
LISN	Rohde	ESH3-Z6
LISN	Rohde	ESH3-Z6
ROD Ant.	Rohde	HFH2-Z6
Bi Ant.	Rohde	HK-116
Log Ant.	Rohde	HL-223
Pre-Amp	Rohde	SCU-01
Pre-Amp	Rohde	SCU-18

떨어진 곳에 배치한다.

- 9) Sample 방사 노이즈 측정을 위해 저전력 load를 사용한다.

2-3 방사 노이즈 측정 결과

2-3-1 EMI Chamber 환경 노이즈

그림 8은 Sample에 대한 노이즈 측정 전 EMI Chamber 내부에 대한 환경 노이즈를 측정하였다. Sample 자체의 주변기기가 없으므로 안테나 특성 노이즈를 제외한 다른 노이즈 원은 검출되지 않음을 확인 후 본 측정을 실시하였다.

2-3-2 Switch Type Converter 필터설계 전, 후 방사 노이즈 비교

그림 9는 switch type converter의 방사 노이즈 측정 결과이다. $1 \sim 5\text{ MHz}$ 까지 peak와 average가 6 dBuV 이상 차이가 나지 않고 노이즈 발생 주기가 측정 Bandwidth보다 작아 협대역(Narrow Band)성 노이즈라고 판단할 수 있다. 그 외 트랜스포머의 누설자속 및 MOSFET Diode의 switching에서 발생하는 ripple 노이즈를 확인하였으며, 그 외 2차측 정류 콘덴서에 기생하는 ripple로 인한 노이즈발생을 확인할 수 있다.

그림 10은 switch type converter에 low pass filter를 적용



그림 8. EMI chamber 주변 노이즈
Fig. 8. EMI chamber ambient noise.

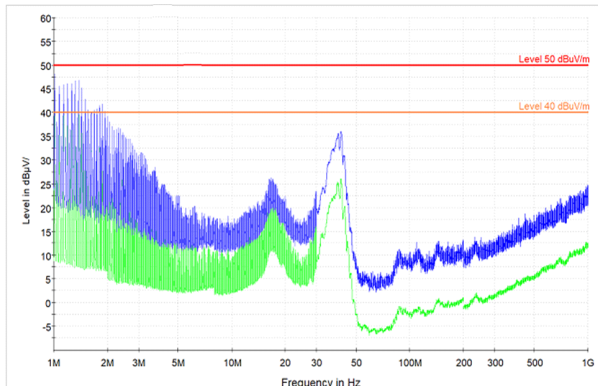


그림 9. 필터 개선 전 switch type 노이즈 측정결과
Fig. 9. Measured noise of normal switch type sample.

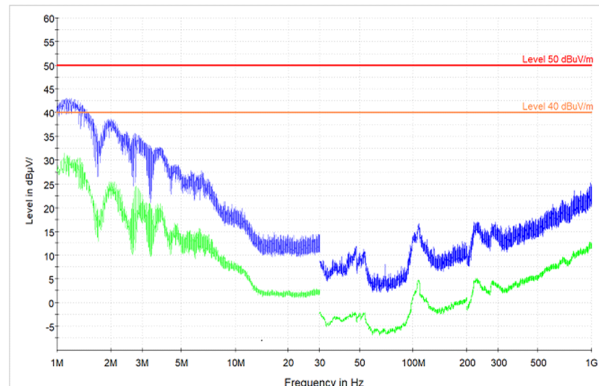


그림 11. 필터 개선 전 trans type 노이즈 측정결과
Fig. 11. Measured noise of normal trans type sample.

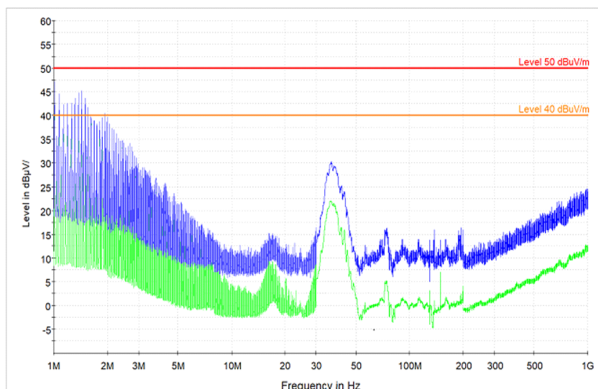


그림 10. 필터 개선 후 switch type 노이즈 측정결과
Fig. 10. Measured noise of filter applied switch type sample.

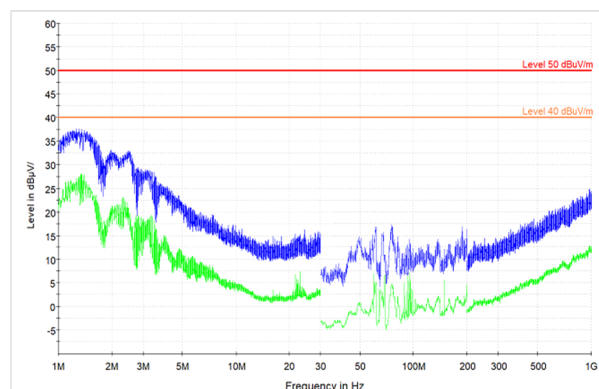


그림 12. 필터 개선 후 trans type 노이즈 측정결과
Fig. 12. Measured noise of filter applied trans type sample.

한 측정결과이다. 5 MHz 이전의 노이즈 양상이 크게 변하지 않았으며, peak 값이 최대 1 dBuV 저감한 것을 확인할 수 있다. 가장 많이 저감이 일어난 포인트는 16, 41 MHz이며, 50 MHz 이후 RLC 회로의 공진 대역에서 노이즈가 생겼지만 주변 회로의 오작동에는 크게 영향을 주지 않을 것으로 확인된다.

2-3-3 Trans Type Converter 필터설계 전, 후 방사 노이즈 비교

그림 11은 trans type converter의 방사 노이즈 측정 결과이다. 전체적으로 peak와 average가 6 dBuV 이상 차이가 나므로 광대역(broad band)성 노이즈 특성을 가지고 있다.

보통 광대역성 노이즈가 100 MHz 이하로 발생했을 때, 1 차측 전원의 노이즈로 볼 수 있으며, 공통모드 초크와 커패시터 보완이 필요하다. 그 외 SMPS와 동일하게 트랜스포머 누석자속 및 2차측 정류 콘덴서의 ripple에 의한 노이즈 발생을 확인할 수 있다.

그림 12는 trans type converter에 low pass filter를 적용한 결과이며, SMPS와 다르게 전체적으로 3 dBuV 이상 저감하는 것을 확인하였다. 그 외 50 MHz 이후 RLC 회로의 공진 대역에서 노이즈가 발생하였다.

III. 결 론

본 논문에서는 조명기기 구동장치의 고주파 노이즈로

표 3. Trans, switch type converter 필터 적용 전, 후 비교
Table 3. Result comparison of filtered sample and normal sample.

Peak level: dBuV/m

Num- ber	Fre- quency band	Trans type		Fre- quency band	Switch type	
		Peak detector			Peak detector	
		Before	After		Before	After
1	1 MHz	42.98	37.58	1 MHz	48.07	47.19
2	2 MHz	38.46	32.75	2 MHz	41.77	40.46
3	4 MHz	32.29	25.46	5 MHz	22.65	21.54
4	48 MHz	11.88	14.58	16 MHz	26.24	15.07
5	70 MHz	8.01	15.39	41 MHz	35.89	29.14
6	107 MHz	16.61	12.2	87 MHz	11.11	15.76
7	220 MHz	16.99	16.9	145 MHz	12.97	15.97
8	690 MHz	21.47	20.76	490 MHz	18.41	18.12
Re- sult	Decrease	6.83 ↓		Decrease	11.17 ↓	
	Increase	7.83 ↑		Increase	4.65 ↑	

인한 잡음을 저감시키기 위해 기존 LC(Low Pass Filter) 필터에 RLC 공진대역을 고려한 RC(Low Pass Filter) 필터 추가 적용으로 기존의 공진대역을 노이즈 방사량이 낮은 대역으로 이동시켜서 회로의 오작동을 유발하는 노이즈 소스를 안정화시켰다. 하지만 이론적 공진해석을 통한 임피던스의 공진대역과 실제 sample에 적용한 필터의 임피던스는 다소 차이가 있으므로 필터 적용 후 최적화를 위해 여러 번의 EMI 측정과 필터 수정이 필요한 단점이 있다. 이러한 추가 RC 필터 적용으로 1차측 수동 EMI 필터 수정 및 추가에서 발생하는 부피와 비용 증가에 대한 문제점을 개선할 수 있었다. 또한, 1차측 수동소자를 추가 적용하지 않으므로 국내, 외 안전관리기관(safety agency)에서 규제하고 있는 커패시터 누설요건(leakage requirement)에 대한 안전성을 충족할 수 있다.

실험결과, switch type, trans type converter에 대한 노이즈 경향성은 크게 틀어지지 않고 최대 11 dBuV 저감하는 것을 확인하였고, 공진대역에서 기존 Data보다 최대 7 dBuV 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

References

- [1] J. S. Kim, "SMPS EMI/EMC technology trend and countermeasure technology," *The Proceeding of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, 2019, vol. 30, no. 1, pp. 29-38.
- [2] S. H. Pask, *Noise Countermeasures in Electronic Circuits*, Electronics & Telecom Technical Review, 2006.
- [3] H. W. Ott, *Electromagnetic Compatibility Engineering*, Hoboken, NJ, Wiley, 2013.
- [4] D. H. Lee, M. W. Choi, and C. Y. Park, "A study on the active EMI filter for LED driver," *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 29, no. 2, pp. 62-68, 2013.
- [5] H. Jung, S. Yoon, Y. Kim, S. Bae, and Y. Lim, "Method for high frequency modeling of transformers using the S-parameter," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 29, no. 9, pp. 677-684, Sep. 2018.
- [6] J. Kim, J. Jeon, T. Kim, S. Kim, and W. Nah, "Evaluation of Y-cap capacitance in EMI filter design using measured S-parameter," *The Proceeding of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Mar. 2014, vol. 25, no. 3, pp. 319-332.
- [7] D. G. Lee, "Design on audio SMPS using noise reduction techniques," M.S. thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University, Suwon, Korea, 2008.
- [8] H. Jung, J. Jung, and Y. Lim, "Design of compact common mode noise absorption filter," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 29, no. 12, pp. 963-968, Dec. 2018.
- [9] H. Jung, S. Yoon, Y. Kim, S. Bae, and Y. Lim, "Method for high-frequency modeling of common-mode choke," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 28, no. 12, pp. 964-973, Dec. 2017.
- [10] CISPR 25, *International Standard: Norme Internationale*, 3.0 ed. Geneva, IEC, 2008.

이 선 욱 [아주대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0001-7736-9779>



2018 2월: 국가평생교육진흥원 정보통신
공학과 (공학사)

2018년 3월 ~ 현재: 아주대학교 정보전자
공학 석사과정

[주 관심분야] EMI/EMC

박 용 배 [아주대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-7095-4614>



1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자
공학과 (공학사)

2000년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자
공학과 (공학석사)

2003년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자
공학과 (공학박사)

2003년 2월~2006년 8월: KT 인프라연구

소 선임연구원

2006년 9월~현재: 아주대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 전자장 해석, EMI/EMC