

# 기생 커패시턴스 저감형 공통모드초크의 특성해석에 관한 연구

원재선<sup>1</sup>, 김희승<sup>2</sup>, 김종해<sup>†</sup>

## A Study on Characteristics Analysis of Common-Mode Choke with Reduced Parasitic Capacitance

Jae-Sun Won<sup>1</sup>, Hee-Seung Kim<sup>2</sup>, and Jong-Hae Kim<sup>†</sup>

### Abstract

This paper presents the intra capacitance modeling based on the winding method and section bobbin for CM choke capable of EMI attenuation of broad bands from lower to higher frequency bands and high frequency type common-mode choke capable of EMI attenuation of high frequency band used in the EMI Block of LED-TV SMPS. The case of high frequency type CM choke can be explained by the parasitic capacitance of three types of CM choke. The winding method of section bobbin type is smaller than the others. The first resonant frequency of the proposed CM choke tends to increase as the parasitic capacitance becomes small and its impedance characteristics improved performance as the first resonant frequency increases. The CM chokes of the proposed section bobbin type shows that in the future, the method may have practical use in LED/LCD-TV SMPS and in several applications, such as LED lighting, adapters, and so on.

**Key words:** Common-mode choke, High frequency model of cm choke, Parasitic capacitance, Impedance characteristic, Multi-section type, EMI characteristic

### 1. 서 론

최근 SMPS의 소형화 및 슬림화로 인한 스위칭 주파수는 높아지는 추세이며, 이로 인한 전원 노이즈의 크기가 매우 커지고 있다. 반면에 단가 경쟁으로 인한 소자 저감은 EMI 필터에서도 예외는 아니다.<sup>[1][2]</sup>

EMI 필터의 성능 개선, 부피 저감 및 저가격화를 위해서는 공통 모드 초크도 코어 형상/재질 및 권선 방식 등에 관한 모델링이 필요하며 이러한 특성분석을 통해서 EMI 필터단의 소형화/간소화에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.<sup>[3][4][5]</sup>

32인치 이하의 LED-TV SMPS의 경우는 입력전력

이 75[W]보다 낮은 용량으로 고주파 규제에 따라서 PFC가 불필요하며 DC/DC의 경우 Flyback 토폴로지를 사용하고 있다. 이러한 PFC 미적용 SMPS의 경우는 2단 이상의 EMI 필터구조가 적용되고 있으며 이러한 복잡한 필터구조의 부피/단가를 저감하기 위한 방안으로써 저주파 대역에서의 EMI 대책은 단순히 공통모드초크의 권선을 증가시킴으로써 큰 임피던스를 통한 차폐 효과를 얻을 수 있다. 하지만 일반적으로 공통모드 노이즈가 강세를 보이는 1[MHz] 이상의 고주파 대역에서는 단순한 권선 수 증가만으로 효과를 기대하기 어렵다.

본 논문은 고주파용 공통 모드 초크의 임피던스 특성과 저주파용 공통모드 초크의 임피던스 특성을 분석하고 공통모드초크의 고주파 모델링을 통해서 공진 관련 인자를 찾아 공진주파수와와의 상관관계를 파악한다. 이를 통해 고주파수 임피던스를 개선하기 위한 방안으로써 공진 주파수를 고역 주파수로 이동시키는 방안을 제시하고 광대역의 EMI 감쇄가 가능한 공통모드 초크의 권선방식을 제안한다. 제안한 권선 방식을 통해 기존의 2단 필터구조를 1단 필터구조로의 저감 가능성을 실험을 통해서 본 논문의 타당성 및 우수성을 검증한다.

Paper number: TKPE-2015-20-2-5

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

<sup>†</sup> Corresponding author: kjhassk@cu.ac.kr, Dept. of Electronic and Electrical Eng., Catholic University of Daegu

Tel: +82-53-850-2781 Fax: +82-53-359-6672

<sup>1</sup> CDS Development Team, Samsung Electro-Mechanics

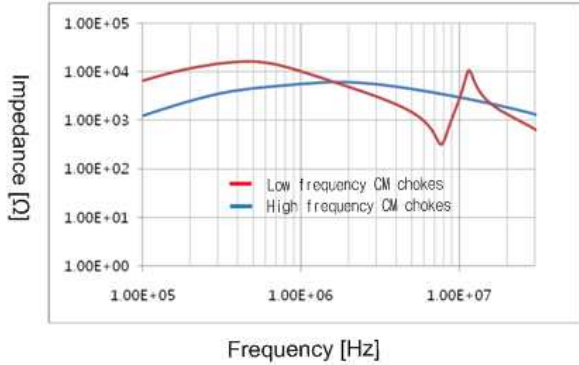
<sup>2</sup> CDS Development Team, Samsung Electro-Mechanics

Manuscript received Sep. 29, 2014; accepted Feb. 16, 2015

— 본 논문은 2014년 전력전자학술대회 우수추천논문임



(a) Low frequency CM choke (b) High frequency CM choke



(c) Impedance characteristics of low and high frequency CM chokes

Fig. 1. Comparison of characteristics of CM chokes.

## 2. 공통 모드 초크의 고주파 모델링

### 2.1 공통모드 초크의 DM/CM 모델링

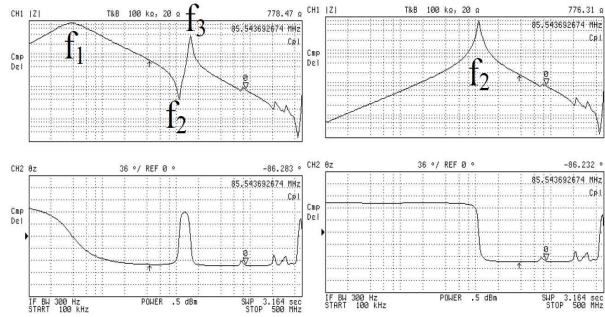
EMI 대책 수립을 위한 SMPS 전원 및 출력 필터로서의 공통모드초크는 감쇄 주파수 대역에 따라 저주파용과 고주파용으로 나눌 수 있다.

일반적으로 공통모드 노이즈는 전도 노이즈(150[KHz] ~ 30[MHz]) 대역에서 균일하게 발생하는 특징을 가지며 2개의 공통모드초크가 2단으로 사용되는 것이 일반적이다. 그림 1은 저주파용과 고주파용 공통모드초크의 일반적인 임피던스 특성을 보인다.

그림 1(a)의 공통모드초크는 저주파용으로써 공진 주파수가 1[MHz] 이전에 존재하며 많은 턴 수로 인한 저주파 대역에서의 큰 임피던스 덕분에 저주파 대역 EMI 노이즈의 감쇄에 효과적이다. 반면 그림 1(b)의 공통모드초크는 고주파용으로써 공진 주파수가 1[MHz] 이후에 나타나 저주파에서의 임피던스는 저주파용에 비해 상대적으로 작지만 10[MHz] 이후 주파수 대역에서 임피던스는 수십 ~ 수백[Ω] 정도 임피던스로써 저주파용 공통모드초크에 비해 수 ~ 수십[kΩ]의 임피던스를 가져 고역 주파수의 감쇄 효과에 효과적임을 알 수 있다. 따라서 공통모드초크의 특성을 알기 위해서는 임피던스를 형성하는 고주파 모델링이 필수적이다.

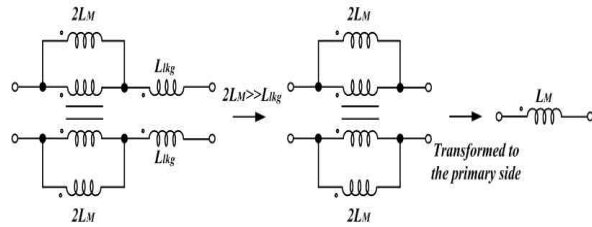
### 2.2 공통모드초크의 모델링

수동소자는 모두 R, L, C의 직렬 또는 병렬 구조로 모델링 되어 진다. 이는 공통모드초크에도 해당되며 저주파와 고주파에 대한 모델링을 통해 주요 인자를 찾을 수 있다.<sup>[6][7][8]</sup>

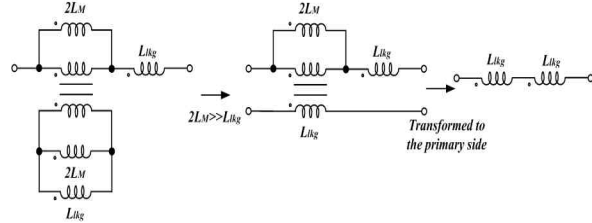


(Left) Open circuit on the secondary side  
(Right) Short circuit on the secondary side

Fig. 2. Impedance characteristics of CM choke(CV410280S Sample).



(a) Simplified impedance model : Open circuit on the secondary



(b) Simplified impedance model : Short circuit on the secondary

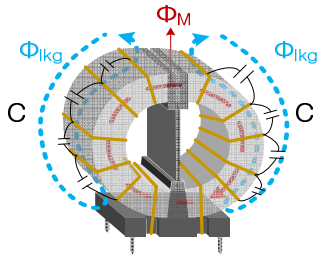
Fig. 3. Low frequency model of CM choke.

그림 2는 임피던스 분석기 (Agilent 4395A)를 이용하여 제품에 적용되어 있는 T社의 CV410280S 28[mH] 공통모드 초크 코일의 2차 측을 단락 및 개방했을 때의 임피던스 측정 결과이다.

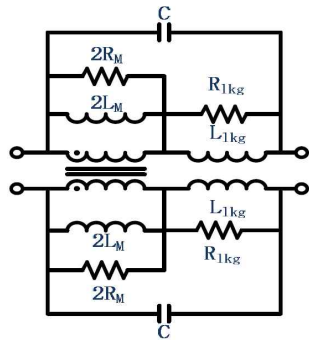
측정된 임피던스에 나타난 공진 주파수 대역별로 임피던스 분석을 수행한다. 본 장에서 정의한 저주파는 공진주파수  $f_1$ 이하로 정의하며 공진 주파수  $f_3$ 이상에서의 주파수는 일반적으로 전도 노이즈 규제범위를 넘어서기 때문에 무시하도록 한다.

### 2.2.1 공통모드초크의 저주파 모델링

그림 3은 공통모드초크의 저주파 모델을 나타내고 있다. 저주파 대역에서의 공통모드초크는 자화인덕턴스 ( $L_m$ )과 누설인덕턴스( $L_{lk}$ )로 모델링 할 수 있으며 2차측의 자화인덕턴스가 공통모드초크의 특성에 따라 1차측 자화인덕턴스와 병렬로 반영되어 2배의 자화인덕턴스로 나타난다. 2차측 개방 후 측정 시 나타나는 1차 공진 주파수(100[KHz] ~ 1[MHz])이하에서의 자화 인덕턴스는 누설인덕턴스를 충분히 무시할 정도로 크므로 그림 3(a)와 같이 2배의 자화인덕턴스로 나타낼 수 있다.



(a) Parasitic capacitance of CM choke



(b) High frequency model

Fig. 4. High frequency model of CM choke.

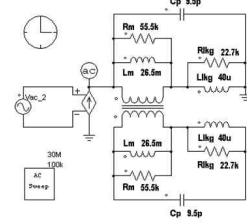
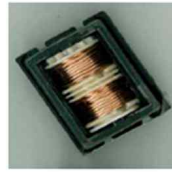
이를 1차측으로 변환하면 자화인덕턴스만 존재하므로 측정된 인덕턴스는 자화인덕턴스를 의미한다. 2차측 단락 후 측정 시에는 누설인덕턴스가 자화인덕턴스에 비해 무시할 수 있을 정도로 작으므로 측정된 인덕턴스는 그림 3 (b)와 같이 누설인덕턴스로 나타낼 수 있다.

자화인덕턴스 및 누설인덕턴스만을 고려한 저주파 조건에서는 1차 공진주파수  $f_1$  이하 저주파에서만 적절한 모델이 될 수 있다.

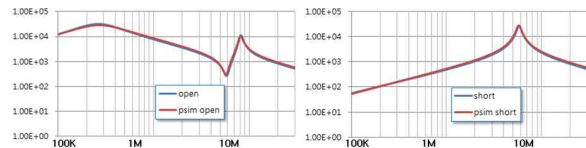
### 2.2.2 공통모드초크의 고주파 모델링

전도성 전파 규제 범위인 30[MHz]이하 주파수에서 공통모드초크는 일반적으로 2차 측 개방 시에 2개의 병렬 공진주파수 ( $f_1, f_3$ )와 한 개의 직렬 공진주파수 ( $f_2$ )가 존재한다. 또한 2차측 단락 시 한 개의 병렬 공진주파수를 지닌다. 공진주파수 간의 특징으로써 2차측 개방 시의 직렬 공진주파수 ( $f_2$ )와 2차측 단락 시의 병렬 공진주파수는 일치하는 모습을 보인다. 이는 기생 커패시턴스( $C_p$ )에 의한 공진으로 정의할 수 있으며 이 기생 커패시턴스 분포는 일반적으로 다음 그림 4(a)와 같이 나타난다. 2차측 개방 시 주파수  $f_2$ 에서의 공진은 직렬 공진이므로 기생 커패시턴스와 누설인덕턴스의 공진으로 알 수 있으며 이를 통해 공진주파수를 도출해 내기 위한 수식은 식 1과 같다. 각 공진주파수에서 임피던스는 실수 성분인 저항 성분만을 지니므로 그림 4(b)와 같이 각 인덕턴스에 병렬 저항 성분으로 모델링 할 수 있으며 이를 종합하여 고주파 모델을 완성할 수 있다.

$$C = \frac{1}{2L_{lkg} (2\pi f_2)^2} \quad (1)$$



(a) Winding structure and its equivalent circuit model (Type A)



(Left) Open circuit on the secondary side

(Right) Short circuit on the secondary side

(b) Comparison of simulation and experimental impedances  
Fig. 5. Impedance characteristic by high frequency equivalent circuit model of CM choke.

### 2.3 고주파 모델링 검증 및 인자별 영향성

고주파 모델의 타당성 검증을 위한 방안으로 32인치 LED-TV SMPS에 삽입되어 있는 10[mH] 공통모드초크를 선택하여 Agilent 4395A 모델의 LCR Meter로 측정된 데이터와 시뮬레이션을 통해 얻은 데이터의 비교 검증을 수행하였다. 계측기를 통해 측정된 공통모드초크는 그림 5(a)와 같이 26.5[mH]의 자화인덕턴스 값과 40[μH]의 누설인덕턴스, 9.5[pF]의 기생 커패시턴스가 측정되었으며 시뮬레이션 결과와 측정결과를 그림 5(b)에 나타내었다. 그 결과 그림 5(a)에서 모델링에 적용된 공통모드 초크의 실제 임피던스와 시뮬레이션으로 얻어진 임피던스 곡선이 일치하는 것을 확인 할 수 있으며 고주파 모델을 통한 시뮬레이션의 정확도가 높다는 것을 확인 할 수 있다.

고주파 공통모드초크 모델을 이용하여 고주파 대역의 임피던스를 개선하기 위한 방안을 분석하기 위하여 임피던스 모델의 간소화를 선 수행한다. 그림 6(a)와 같이 2차측 오픈 측정 시 1차 공진주파수 대역(100[KHz] ~ 1[MHz])에서 자화인덕턴스는 누설인덕턴스에 비해 무시할 정도로 크므로 2배의 자화 인덕턴스와 기생 커패시턴스의 병렬로 나타낼 수 있다. 이를 1차측으로 변환하면 자화인덕턴스와 2배의 기생 커패시턴스로 구성된 병렬회로로 간소화 할 수 있다.

동일한 방식으로 그림 6(b)와 같이 2차측 쇼트 측정 시 2차측 기생 커패시턴스를 쇼트로 무시하면 누설인덕턴스는 2배의 자화 인덕턴스의 병렬로 구성되며 누설인덕턴스가 2배의 자화 인덕턴스를 무시할 수 있으므로 누설인덕턴스로 나타낼 수 있으며 1차 측으로 변환하면 2배의 누설 인덕턴스와 기생 커패시턴스의 병렬구조로 구성된다. 따라서 본 논문에서 목적으로 설정하는 공통 모드 초크의 고주파수 임피던스 개선을 위해서는 고주

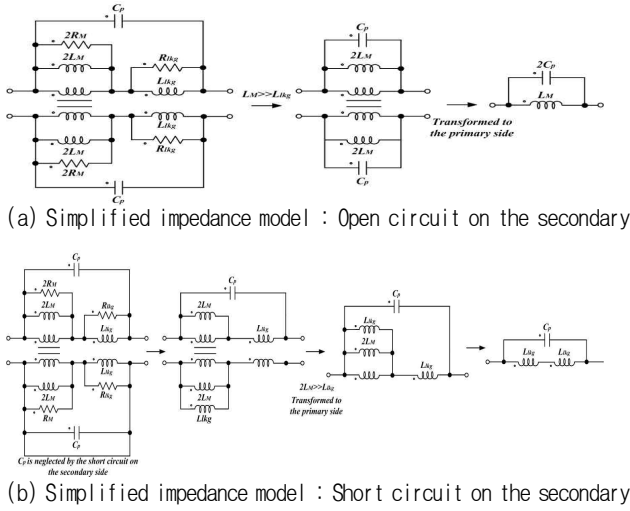


Fig. 6. Low frequency model of CM choke.

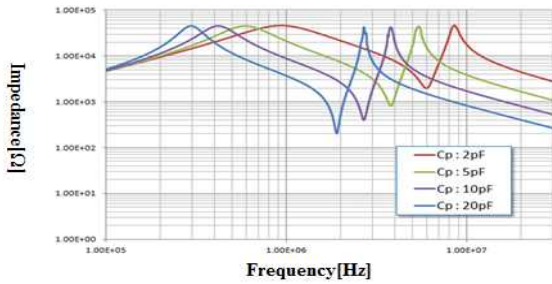
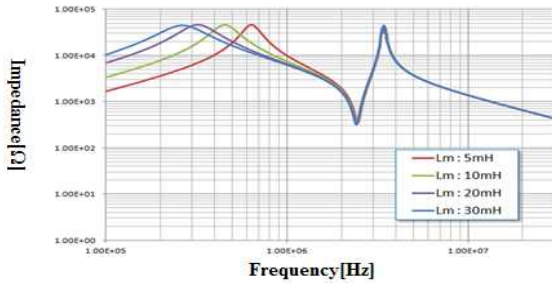


Fig. 7. Impedance characteristics according to magnetizing inductances( $L_m$ ) and parasitic capacitances( $C_p$ ).

과 모델링의 기생 커패시턴스 인자에 의해 결정되는 것을 알 수 있다.

**2.4 공통모드초크의 인자별 특성평가**

공통모드초크의 고주파 모델링을 통해서 고주파수에서 임피던스를 개선하기 위한 인자가 기생 커패시턴스( $C_p$ )임을 알 수 있으며 저주파 대역의 임피던스를 개선하기 위한 인자는 자화인덕턴스( $L_m$ )임을 알 수 있다.

2.3절의 그림 5의 공통모드초크 (Type A)를 고주파 모델링을 기반으로 자화인덕턴스 값을 5[mH] ~ 30[mH]로 변경하며 시뮬레이션을 수행한 결과 자화인덕턴스에 따른 공진주파수 특성이 그림 7(a)와 같이 인덕턴스 값

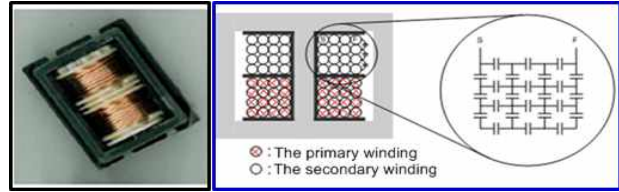


Fig. 8. Analysis of CM choke with auto winding(Type A).

이 클수록 공진주파수가 낮아지지만 임피던스 개선으로 인하여 저주파 대역의 노이즈 제거에 효과가 있음을 알 수 있다. 반면 또 다른 인자인 기생 커패시턴스를 2[pF] ~ 20[pF]로 변경하여 임피던스 특성을 시뮬레이션을 수행한 결과 기생 커패시턴스에 따른 공진주파수 특성은 그림 7(b)와 같이 기생 커패시턴스 값이 작을수록 공진주파수가 높아져 높은 주파수 대역의 노이즈 제거에 효과가 있어 기생 커패시턴스의 저감이 필수적임을 알 수 있다.

**3. 공통모드초크의 개선 방안 제안**

**3.1 기존 공통모드초크의 권선방식 분석**

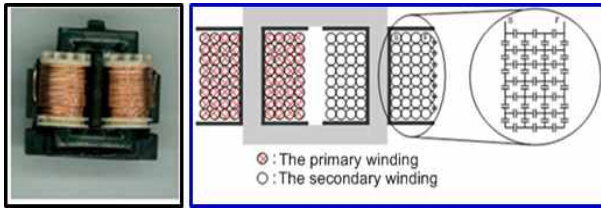
**3.1.1 자동권선 자화인덕턴스 개선형 공통모드초크**

그림 8은 32인치 LED-TV SMPS에 종래부터 2단으로 적용되고 있는 공통모드초크(Type A)를 나타내고 있다. 코어는 SQE 형상을 지니고 있어 UU코어에 비해 큰 유효 단면적을 지니므로 자화 인덕턴스의 개선에 유리한 장점을 지니고 있다. 하지만 그림 8에서 나타난 바와 같이 다수의 권선 층수로 인한 기생 커패시턴스는 비교적 큰 단점을 지닌다. 이는 권선 방식에 따라서 결정되며 그림 8(b)에 나타난 커패시턴스는 권선의 층수가 커지면 커질수록 병렬로써 연결되어 증가하는 구조를 지닌다. 따라서 공진 주파수를 결정하는 총 기생 커패시턴스의 용량이 큰 구조를 지니게 되며 이는 결과적으로 고주파수 임피던스의 저하를 가져오는 단점을 지닌다.

**3.1.2 자동권선 누설인덕턴스 개선형 공통모드초크**

다음 그림 9는 기존의 다른 LED-TV 모델에 적용되었던 Type B 공통모드초크를 나타내고 있다. 코어는 SQ 형상을 지니며 앞 절에서 제시된 SQE 코어의 형상에 비해서 작은 유효 단면적을 지니고 있으나 다수의 권선 수를 이용하여 큰 자화 인덕턴스를 지니는 동시에 공통모드초크의 자기결합계수를 낮추므로 큰 누설인덕턴스를 지니는 장점을 가지고 있다. 따라서 기존의 Type A가 공통모드 노이즈 저감에만 유리한 반면 그림 9의 Type B는 큰 누설인덕턴스로 인한 차동모드 노이즈 감쇄 효과 또한 우수한 특성을 지닌다. 본 논문의 목적인 2단 필터를 1단 필터로 저감하기 위해서는 차동

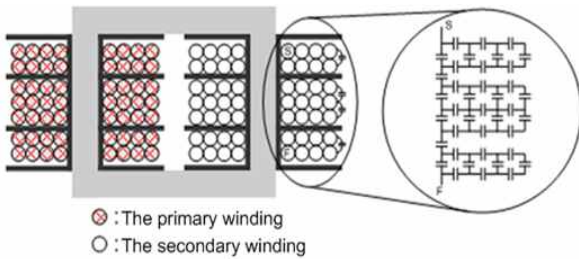




(a) Visual appearance of sample(Black box)

(b) Winding structure and equivalent circuit of the parasitic capacitance(Blue box)

Fig. 9. Analysis of CM choke with auto winding(Type B).



⊙ : The primary winding  
○ : The secondary winding

Fig. 10. Multi-section CM choke with auto winding(Type C).

모드 노이즈 감쇄 특성 또한 개선되어야 하므로 Type A에 비해 유리한 특성을 지닌다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고 그림 9(b)와 같이 기생 커패시턴스의 용량은 다수의 권선에 의해서 더욱 커지게 되는 형상을 지니게 된다.

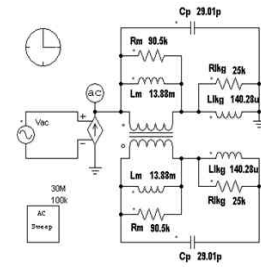
### 3.2 제안 자동권선 광대역 감쇄형 공통모드초크

식 2는 잘 알려진 커패시턴스를 산출하는 식을 나타낸다. 권선의 모양과 권선 크기에 따라 정확한 기생커패시턴스를 추출하는 것은 어렵지만 적어도 거리를 이용하여 기생 커패시턴스를 줄일 수 있는 것을 식 2를 통해 알 수 있다.

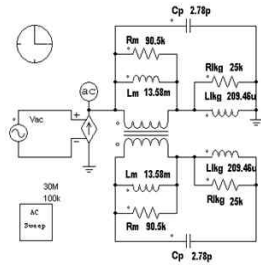
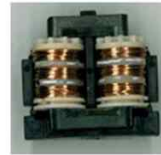
$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (2)$$

본 논문에서는 누설 인덕턴스와 자화 인덕턴스가 큰 Type B의 고주파수 대역의 임피던스 개선을 위하여 그림 10과 같은 권선 방식을 제안한다. 제안된 공통모드초크는 Multi-Section을 이용하여 권선간의 거리를 이격함으로써 공통모드초크의 기생 커패시턴스가 병렬이 아닌 부분적으로 직렬인 형태로 정렬되도록 한다. Section에 의해 분리된 권선 사이의 기생 커패시턴스는 근접에 위치해 있는 각 기생 커패시턴스에 비해 매우 작으므로 무시될 수 있으며 이로 인하여 총 기생 커패시턴스 값은 저감될 수 있다.

그림 11은 본 논문의 이론을 증명하기 위한 방식으로 실제 SMPS에서 사용되어 지고 있는 Type B, C 공통모드초크를 이용한 임피던스 측정 실험 결과를 나타낸다.



(a) Winding structure and its equivalent circuit model (Type B)



(b) Winding structure and its equivalent circuit model (Type C)

Fig. 11. Comparison of high frequency equivalent circuit model of CM Chokes (Type B and Type C).

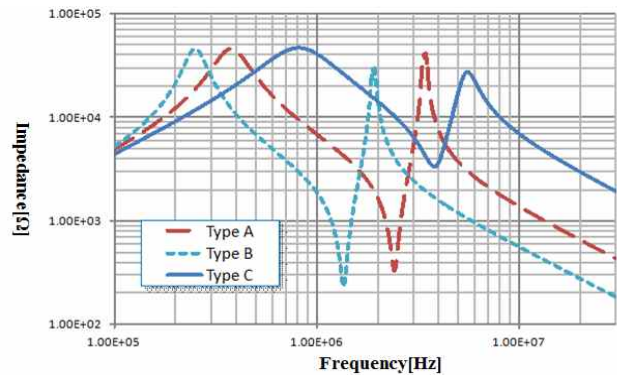


Fig. 12. Impedance characteristics according to the winding structures and methods of Type A, Type B and Type C.

측정된 임피던스를 토대로 그에 따르는 고주파 모델링을 수행하였으며 그 결과 동일한 턴 수에 제안된 Multi-section 보빈을 적용한 구조의 공통모드초크가 1 section의 공통모드초크에 비해 29[pF]에서 2[pF]로 약 14배 이상의 커패시턴스 용량 저감이 이루어진 것을 확인하여 본 논문의 이론이 적합함을 증명하였다. 자화 인덕턴스는 동일 수준으로 유지되었으며 이로 인하여 공진주파수의 이동으로 인한 고주파 대역의 임피던스가 대폭 개선됨 알 수 있다.

그림 12는 앞서 분석된 3가지 공통모드 초크의 임피던스 측정치를 나타내고 있다. 그림 12는 앞서 분석된 3가지 공통모드 초크의 임피던스 측정치를 나타내고 있다. 3가지 공통모드초크의 자화 인덕턴스는 100[KHz]에서 나타난 임피던스가 동일하다는 것을 알 수 있으며 1차 공진주파수를 통해서 제안된 공통모드초크 (Type C)

TABLE I  
CHARACTERISTIC VALUE OF CM CHOKE

Turn	$f_1$ [KHz]	$L_m$ [mH]	$C_p$ [pF]
Type A	367.9	14.5	12.3
Type B	250.7	13.88	29.01
Type C	819.1	13.58	2.78

의 기생 커패시턴스가 가장 작고 그 다음으로는 기존 SQE 타입의 코어에 적용된 공통모드초크(Type B)가 작은 것으로 확인할 수 있다. 이는 SQE 타입의 코어가 유효단면적이 더욱 넓은 것에 비하여 SQ 타입의 코어는 유효단면적이 좁으므로 더욱 많은 권선이 적용되어 기생 커패시턴스가 증가함을 알 수 있다. 그럼에도 불구하고 SQ 타입의 코어에 Section을 적용함으로써 낮은 기생커패시턴스와 개선된 고주파수 임피던스를 확인할 수 있다.

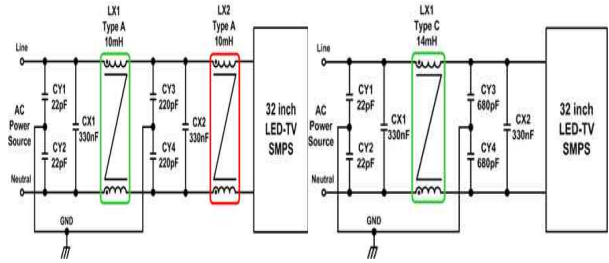
표 1은 분석된 3가지 공통모드 초크의 특성값을 나타내고 있다.

4. 실험결과

그림 13은 앞서 분석된 이론 및 임피던스 측정 결과를 토대로 제안된 공통모드초크를 이용한 EMI 필터와 이를 32인치 LED-TV SMPS에 적용하여 측정된 전도 노이즈 측정 결과를 나타낸다. 그림 13 (a)의 회로와 그림 13 (c) 파형에서 나타낸 바와 같이 제안된 공통모드 초크는 2단 EMI filter를 1단 EMI filter로 저감할 수 있는 방안으로써 제시되었으며 이는 소자를 저감하는 측면에서 가격 저감의 결과로 직결됨을 알 수 있다. 그림 13 (b)에서 나타낸 바와 같이 부피 저감 및 PCB 면적 측면에서도 33[%] 저감이 이루어졌다. 제안된 공통모드 초크는 기존의 자동권선으로 인한 저가격화와 생산량 증가의 장점을 그대로 유지하면서도 기존에 비해 누설 인덕턴스 또한 크게 가져감으로써 차동모드 노이즈 저감효과 또한 지니고 있다. 또한 본 논문이 목적인대로 고주파수 임피던스 개선을 통하여 고주파 대역의 공통 모드 노이즈 개선에 유리한 장점을 지닌다. 이는 그림 13(c)에서 나타낸 바와 같이 두 개의 공통모드초크를 사용하여 제작된 기존의 2단 EMI 필터를 적용된 기존의 측정 결과에 비해 제안된 한 개의 공통모드초크만을 사용하여 제작된 1단 EMI filter를 적용한 측정 결과가 10[MHz] 대역에서 약 3[dB]가 낮음을 확인함으로써 고주파 대역의 노이즈 차폐 효과가 뛰어난 것을 알 수 있다.

5. 결론

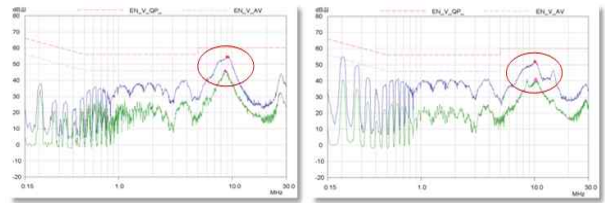
본 논문은 저주파 대역뿐만 아니라 고주파 대역의 EMI 감쇄가 가능한 기생 커패시턴스 저감형 공통모드



(Left) Conventional 2-stage (Right) Simplified 1-stage  
(a) EMI filter circuit for 32inch LED-TV SMPS



(Left) Conventional 2-stage EMI Filter : 25\*22\*13.7[mm<sup>3</sup>]  
(Right) Simplified 1-stage EMI Filter : 30\*25\*13.5[mm<sup>3</sup>]  
(b) Photograph of EMI filter for 32inch LED-TV SMPS



(Left) Conventional 2-stage EMI Filter  
(Right) Simplified 1-stage EMI Filter  
(c) EMI CE experimental results : 230V/60Hz

Fig. 13. Experimental circuit and results.

초크의 권선 방법과 Section 보빈의 구조에 따른 기생 커패시턴스 모델링을 나타내었다. 또한, 이론에 대한 타당성을 증명하기 위해 기생 커패시턴스 모델링에 의해 설계된 샘플을 제작하여 실험을 통해 검증하였다. 또한, 공통모드초크의 저주파 및 고주파 모델링을 통해 단순히 저항과 인덕터 뿐만 아니라 기생커패시턴스라고 하는 커패시턴스 값이 존재함을 확인하였다. 공통모드초크의 실측 임피던스 그래프와 모델링을 통한 임피던스 그래프가 유사함을 보여 공통모드초크의 시뮬레이션에 대한 유효성을 검증하였으며 이를 통해 공통모드초크 공진주파수에 영향을 미치는 인자가 자화인덕턴스와 기생 커패시턴스 이며 그 중 기생커패시턴스가 주요 인자라는 것을 알 수 있었다. 공진주파수를 고주파수 대역에 생성시키기 위해 기생커패시턴스를 작게 설계하고자 보빈 구조를 Multi Section 구조로 변경하여 권선간의 기생커패시턴스 값이 Section 을 기준으로 병렬로 연결되어 기생커패시턴스가 작게 되도록 하였다. 이는 기존 공통모드초크에서 보빈의 Section 구조 변경만으로 구현이

가능하여 자동화 권선을 그대로 사용함으로써 생산성 증대 및 제작비용 저감, 전기적인 동질성 확보가 가능하다는 이점을 그대로 가질 수 있어 다양한 분야에 응용되리라 판단된다.

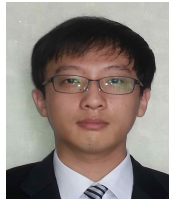
## References

- [1] J. S. Won, J. H. Kim et al, "Development trends of EMI filter block for LED-TV power," in *Annual Conference of the KIPE*, pp. 308-309, Jul. 2011.
- [2] Y. C. Jung, "Modeling and design algorithm of conducted EMI filter using a noise separation method," *Transactions of Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 9, No. 3, pp. 260-266, Jun. 2004.
- [3] S. Weber, M. Schinkel, and S. Guttowski et al, "Calculating parasitic capacitance of three-phase common-mode chokes," *PCIM Conference, Nürnberg*, 2005.
- [4] J. Petzold, R. Klinger, H. J. Poess, "Nanocrystalline materials in common-mode chokes," *Technical article PCIM Europe*, 1999.
- [5] H. S. Kim, S. K. Han, J. S. Won et al, "A new asymmetrical winding common mode choke capable of attenuating differential mode noise," *IEEE 8th International Conference on Power Electronics*, pp. 440-445, May 2011.
- [6] D. H. Liu, J. G. Jiang, "High frequency characteristic analysis of EMI filter in switch mode power supply(SMPS)," *Power Electronics Specialists Conference*, Vol. 4, pp. 2039 - 2043, 2002.
- [7] S. Wang, F. C. Lee, and J. Daniel, "Design of inductor winding capacitance cancellation for EMI suppression," *IEEE Trans. Power Electronics*, Vol. 21, No. 6, pp. 1825 - 1832, Nov. 2006.
- [8] F. Y. Shih and D. Chen et al, "A procedure for designing EMI filters for AC line applications," *IEEE Trans. Power Electronics*, Vol. 11, No. 1, pp. 170 - 181, Jan. 1996.



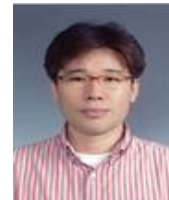
### 원재선(元載善)

1973년 2월 20일생. 1999년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2001년~2004년 영남대 공업기술연구소 연구원. 2004년~2006년 HSL 일렉트로닉스 전자설계팀 선임연구원. 2006년~현재 삼성전기 Power개발팀(요소기술) 수석연구원.



### 김희승(金熙勝)

1982년 12월 16일생. 2008년 국민대 전자정보통신대학 전자공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2013년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박). 2013년 9월~현재 삼성전기 Power개발팀(요소기술) 책임연구원.



### 김종해(金鍾海)

1968년 3월 11일생. 1999년 영남대 전기공학과 졸업(공학박). 2005년 일본 나고야대 전기공학과 졸업(공학박). 1996년~2000년 영남대 공업기술연구소 연구원. 2002년~2003년 호리정보과학진흥재단 연구원. 2003년~2005년 일본 나고야대 COE연구원. 2005년~2012년 삼성전기 CDS사업부 CDS기반기술G 수석연구원(그룹장). 2012년 9월~현재 대구가톨릭대 전자전기공학과 조교수.