

## EMI필터의 모델링 및 설계 알고리즘

정용채\*  
\*남서울대학교

### Modeling of EMI Filters and Design Algorithm

Yong-Chae Jung\*  
\*Namsseoul University

#### ABSTRACT

In many cases, ac line EMI filters are designed by trial and error method. Thus, designing a filter is a time-consuming process. To overcome the problem, the newly analytical design procedure is proposed in this paper. Using the modeling circuit of each filter components, the filter design is carried out applicable to both common-mode (CM) and differential-mode (DM). These are verified through the experimental results.

#### 1. 서론

전력전자 시스템에 있어서 EMI는 가장 큰 문제 중의 하나이다. 이는 스위칭에 의한 전력변환으로 인해 많은 EMI를 발생시키기 때문인데 이에 대한 대책으로 노이즈 소스에 대한 대책, 경로대책, 필터에 의한 대책이 있다.<sup>[1]</sup> 이러한 각 대책들에 대해서 좀 더 정확한 분석을 위해서 검출된 EMI 노이즈를 공통모드와 차동모드로 분리하는 방법에 대해서 많은 연구들이 이루어졌다.<sup>[2-4]</sup> 이러한 연구를 바탕으로 최근에는 각 부품에 대한 모델링과 필터의 설계 방식에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다.<sup>[5-10]</sup> 하지만 이러한 것들이 부분적인 연구에 그치고 있는 것이 현재까지의 한계이다.

따라서, 본 논문에서는 필터에 대한 대책에 있어서 각 EMI 필터에 사용되는 부품에 대해서 모델링을 하고 이를 확인하며 이러한 과정을 통해서 EMI 필터를 설계하는 설계 알고리즘을 제안하고자 한다. 그래서 먼저 EMI의 측정방법 및 구성에 대해서 알아보고, 필터의 종류와 성능을 측정하는 방법에 대해서 논의한다. 그런 후 각 부품에 대한 모델링을 하고 측정을 통해서 제안된 모델링을 확인할

것이다. 그리고 EMI 필터의 설계 알고리즘을 제시하고 확인할 것이다.

#### 2. EMI의 개요

전도 EMI를 측정하기 위해서는 전자파 차폐실 및 측정 장비가 필요하다. 측정 장비에는 그림 1과 같이 전원선을 안정화 시키며 노이즈를 검출할 수 있는 LISN (Line Impedance Stabilization Network)과 주파수 영역에서 노이즈를 측정하는 Spectrum Analyzer (SA)가 필수적이다. LISN을 통해서 시험하려는 제품에 전원을 공급하게 되고 그 사이에 EMI 필터가 위치하게 된다.

먼저 LISN의 L은 전원주파수에서 저임피던스이고 EMI 측정주파수에서는 고임피던스를 갖기 때문에 측정하려는 제품에 전원을 공급해 주면서 이 제품에서 발생하는 EMI는 입력전원 쪽으로 가지 못하도록 차단해주는 역할을 한다. 마찬가지로 LISN의 C는 전원주파수에서 고임피던스이고 EMI 측정주파수에서는 저임피던스를 갖기 때문에 측정하려는 제품에 전원을 원활히 공급해 주면서 L과 함께 전원측 임피던스를 50Ω이 되게 해 준다.

이 그림에는 기본적으로 많이 사용되는 구성의 표준 EMI 필터를 제시했는데, 여기서 트랜스포머는 공통모드(common-mode) 초크로 두 전원선과 접지선 사이의 공통모드 노이즈(common-mode

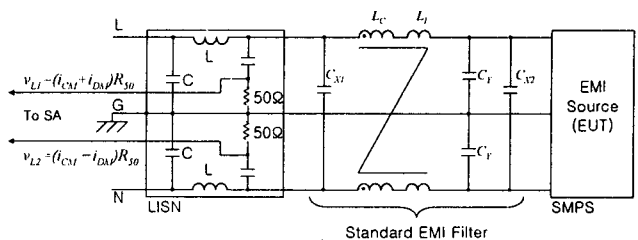


그림 1 EMI 측정을 위한 구성

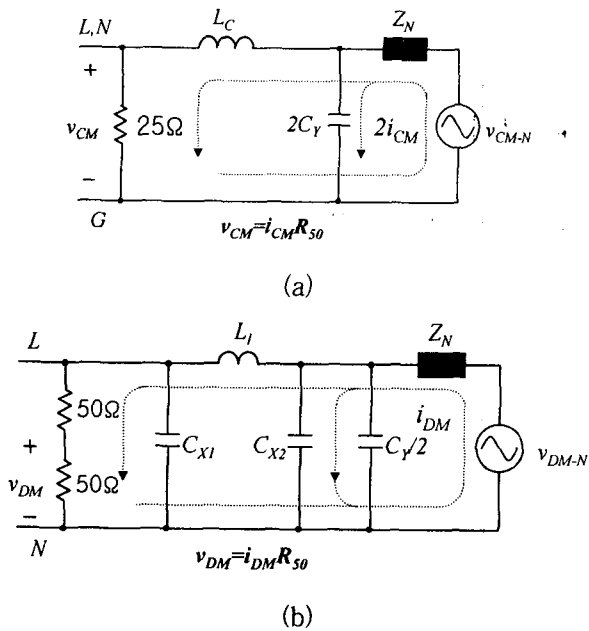


그림 2 각 모드별 등가회로

noise)에 대한 대책 소자이다.  $C_Y$ 도 공통모드 초크와 함께 공통모드 노이즈에 대한 대책 소자이다. 공통모드 초크의 누설성분  $L_I$ 과  $C_{X1}$ ,  $C_{X2}$ 는 차동모드 노이즈(differential-mode noise)에 대한 대책 부품이다. 그런데 측정전압은 다음 식과 같이 공통모드 성분과 차동모드 성분이 결합된 형태이다.

$$v_{L1} = (i_{CM} + i_{DM})R_{50} = v_{CM} + v_{DM} \quad (1)$$

$$v_{L2} = (i_{CM} - i_{DM})R_{50} = v_{CM} - v_{DM} \quad (2)$$

따라서 측정신호에서 공통모드 성분과 차동모드 성분을 서로 분리할 수 있다면 그림 2의 등가회로를 이용하여 필터를 좀 더 쉽게 설계할 수 있을 것이다.

### 3. EMI 필터의 측정

EMI 필터의 성능을 측정하려면 그림 3을 기준으로 다음의 삽입손실 (Insertion Loss, IL) 또는 감쇄율 (Attenuation Level, AL)을 측정한다.

$$IL = 20 \log_{10} \frac{V_1}{V_2} \quad (3)$$

$$AL = 20 \log_{10} \frac{V_2}{V_1} \quad (4)$$

여기에 들어가는 필터는 그림 4와 같은 저역필터들이고, 보통은 에너지 소비소자인 저항을 포함하지 않는다. 공통모드와 차동모드에 대해서 각각 이러한 저역필터들이 구성될 수 있는데, 이러한 두 모드의 필터가 합성된 것이 본 논문에서 설계하려는 EMI 필터이다.

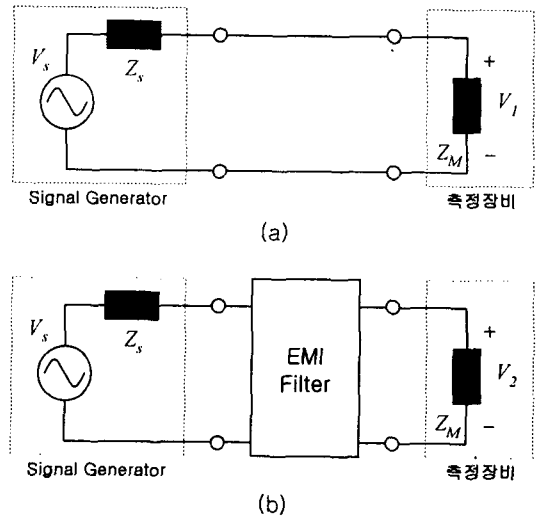


그림 3 필터의 측정방법

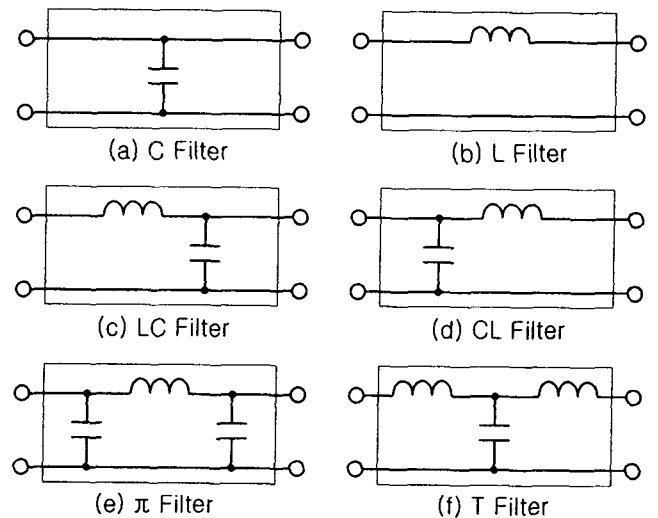


그림 4 적용 가능한 저역통과필터

### 4. 부품의 모델링 및 측정방법

EMI 필터에 사용되는 부품은 인덕터 역할을 하는 초크와 캐패시터이다. 각 소자에는 기생성분이 존재하며 이 성분에 의해서 각 소자의 임피던스 곡선이 결정된다. 그림 5는 필터에 사용되는 초크의 모델링 회로로, 그림 5(a)는 차동모드 초크와 같은 작은 값의 인덕턴스를 갖는 소자에 사용되며 그림 5(b)는 공통모드 초크와 같이 인덕턴스 값이 큰 소자에 적용되는 모델링 회로이다. 따라서 이러한 두 회로를 결합한 그림 5(c)가 EMI필터용 초크에 가장 적합한 모델링 회로이다. 직렬 저항  $R_s$ 는 이 소자의 권선저항이고, 병렬 저항  $R_p$ 는 코어의 손실을 나타내며 임피던스 곡선에서 최대 임피던스 값으로 표현된다. 그림 6은 표준필터에 사용되는 1mH 공통모드 초크의 측정치와 그림 5(c)의 모델링 회로

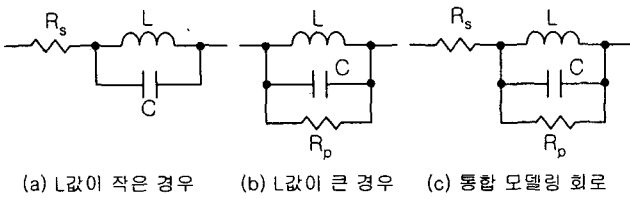


그림 5 필터에 사용되는 초크의 모델링 회로

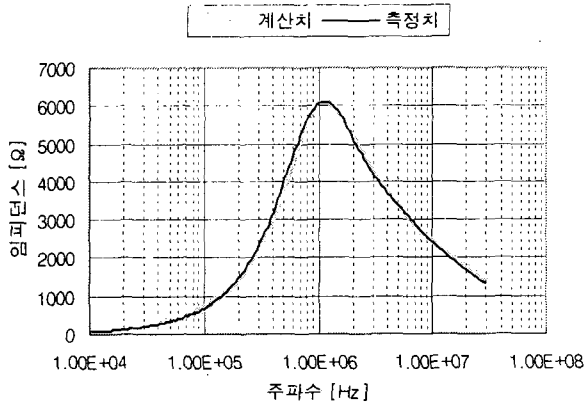


그림 6 1mH 공통모드 초크의 임피던스 비교파형

를 이용한 계산치를 보여주고 있는데 여기서 최대 임피던스 값을 갖는 주파수를 자기공진 주파수 (Self-Resonant Frequency; SRF)라고 하며 이 주파수는 그림 5(c)의 모델링 회로에서 L과 C의 공진주파수이다. 따라서 이 소자는 SRF 이전에는 인덕터로 보이지만 SRF 이후에는 캐패시터로 보인다. 인덕터 값은 SRF의 최소 10배 이하에서 측정되는 값으로 읽으면 되며 캐패시터는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$C = \frac{1}{L} \left( \frac{1}{2\pi f} \right)^2 \quad (5)$$

그림 7은 캐패시터에 사용되는 모델링 회로이고, 그림 8은 표준필터에 있는 0.1μF X-캐패시터의 측정치와 계산치를 보이고 있는데 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 여기서 Rs는 캐패시터의 SRF에서의 임피던스 값을 나타내며, Rp는 캐패시터의 누설 성분으로 저주파 임피던스에 영향을 미친다. 위의 초크와 마찬가지로 모델링 회로의 LC가 SRF를 형성하며 이 주파수 이하에서는 캐패시터가 우세하

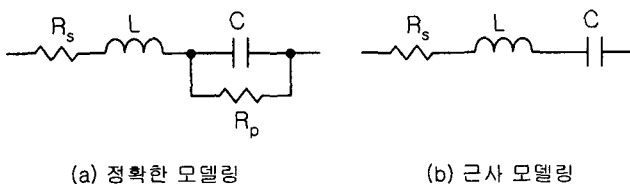


그림 7 캐패시터의 모델링 회로

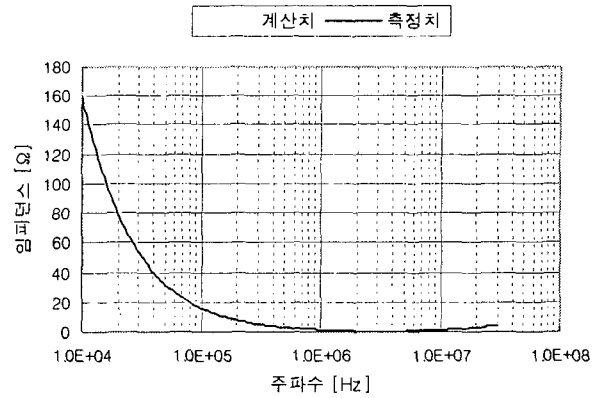


그림 8 0.1μF X-캐패시터의 임피던스 비교파형

며 이 주파수 이상에서는 인덕터가 우세하게 된다. 따라서 캐패시터 값은 SRF보다 10배 이하의 주파수에서 측정된 값으로 정하면 되고 인덕터는 계산에 의해서 구할 수 있다.

### 5. 필터설계 알고리즘

부품의 모델링 회로를 그림 9의 표준필터에 적용해서 적합한 필터를 설계하는 알고리즘은 그림 10과 같다. 가장 먼저 해야 할 일은 표준필터를 적용하여 미리 측정하는 것이다. 이 데이터를 이용하여 감쇄량과 단 수를 먼저 정한다. 감쇄량은 측정치에서 (Limit-Margin)을 빼서 결정할 수 있는데

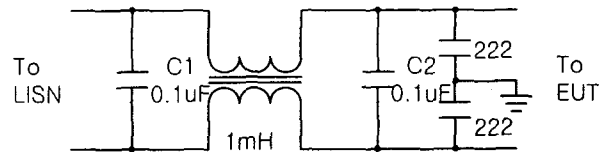


그림 9 표준필터의 구성

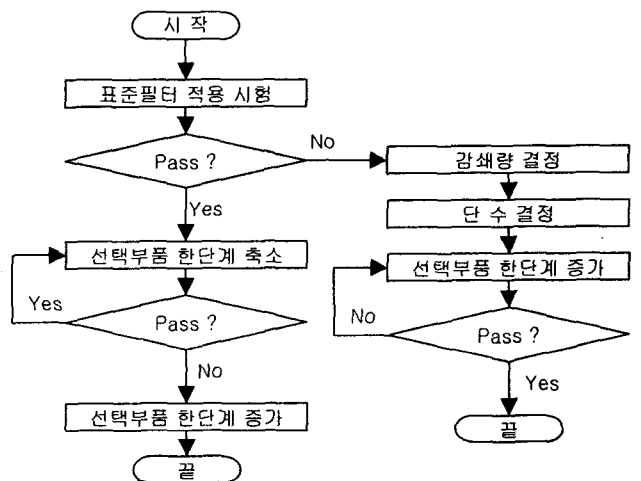


그림 10 필터설계 알고리즘

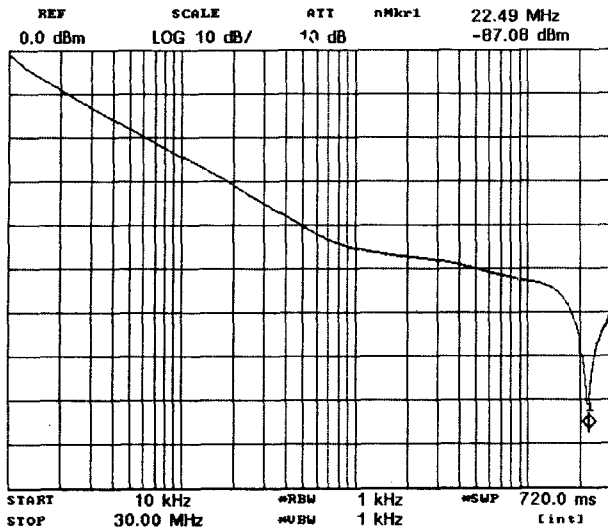


그림 11 표준필터의 공통모드 감쇄특성 측정치

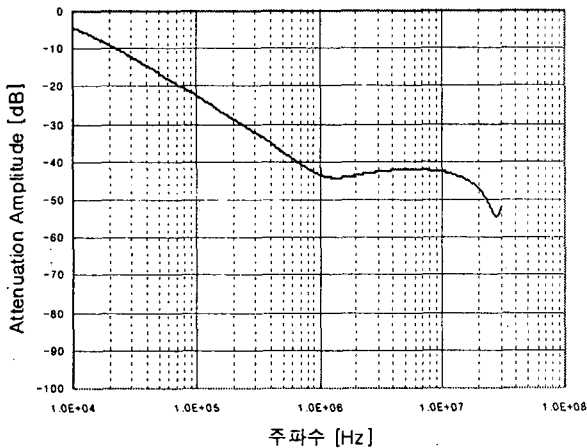


그림 12 표준필터의 공통모드 감쇄특성 계산치

margin은 사용자에 따라서 3dB에서 10dB 정도로 선택할 수 있다. 이러한 알고리즘을 적용하기 위해서는 각 부품들에 대한 적절한 데이터베이스를 마련해야 좀 더 정확한 설계가 될 수 있다.

그림 11과 그림 12는 표준필터의 공통모드 감쇄 특성의 측정치와 계산치이다. 이 두 값을 비교해보면 거의 유사한 특성을 갖는 것을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 EMI 필터에 사용되는 부품들의 모델링을 통해서 좀 더 정확한 분석을 하고 설계를 할 수 있도록 필터설계 알고리즘을 제안하였다. 전도 EMI에 있어서 공통모드와 차동모드 성분들에 대해서 설명하고 여기에 사용되는 필터의 종류와 분석방식을 검토하였다. 각 부품들에 대해서는 정확한 모델링을 하였고 실험을 통해서 확인하였다.

이러한 모델링을 통해서 필터설계 알고리즘을 제안하고 설계된 필터의 일예가 잘 일치하는 것을 확인하였다.

## 참고 문헌

- [1] 정용채, "저전력 스위칭 전원회로에서의 EMI 분석 및 대책", *전력전자학회 논문지*, 제6권, 제2호, pp. 141-148, 2001년.
- [2] Clayton R. Paul and Keith B. Hardin, "Diagnosis and Reduction of Conducted Noise Emissions", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 30, No. 4, pp. 553-560, Nov., 1988.
- [3] Ting Guo, Dan Y. Chen and Fred C. Lee, "Separation of the Common-mode and Differential Mode-Conducted EMI Noise", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 11, No. 3, pp. 480-488, May, 1996.
- [4] Marco C. Caponet and Francesco Profumo, "Devices for the Separation of the Common and Differential Mode Noise: Design and Realization", *IEEE APEC'02*, pp. 100-105, 2002.
- [5] Philip F. Okyere and Lothar Heinemann, "Computer-Aided Analysis and Reduction of Conducted EMI in Switched-Mode Power Converter", *IEEE APEC'98*, pp. 924-928, 1998.
- [6] D. H. Liu and J. G. Jiang, "High Frequency Characteristic Analysis of EMI Filter in Switch Mode Power Supply (SMPS)", *IEEE PESC'02*, pp. 2039-2043, 2002.
- [7] F. Y. Shih, D. Y. Chen, Y. P. Wu and Y. T. Chen, "A Procedure for Designing EMI Filters for AC Line Applications", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 11, No. 1, pp. 170-181, Jan., 1996.
- [8] A. Nagel and R. W. DeDoncker, "Systematic Design of EMI-Filters for Power Converters", *IEEE IAS'00*, pp. 2523-2525, 2000.
- [9] Marco C. Caponet, Francesco Profumo and Alberto Tenconi, "EMI Filters Design for Power Electronics", *IEEE PESC'02*, pp. 2027-2032, 2002.
- [10] Sheng Ye and Yan-Fei Liu, "EMI Filter Design Method for Communication Power Sub-System", *IEEE APEC'03*, pp. 483-489, 2003.
- [11] L. Tihanyi, "Electromagnetic Compatibility in Power Electronics", New York, IEEE Press, 1995.