

PC용 광대역 EMC 필터의 설계 및 제작에 관한 연구

김동일* · 정상욱** · 김민정*** · 전중성***

*한국해양대학교 전파·정보통신공학부 교수, **한국해양대학교 전파공학과 대학원,
***한국해양대학교 산업기술연구소 전임연구원.

A Study on Design and Fabrication of Broad-Band EMC Filter for PC

Dong. Il. Kim* · Sang. Wook. Jung** · Min. Jung. Kim*** · Joong. Sung. Jeon***

*Dept. of Radio and Information Communication Engineering, Korea Maritime University

**Dept. of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime University

***Research Institute of Industry Technology, Korea Maritime University

요 약 : 본 논문은 개인용 컴퓨터(PC)에 적합한 EMC 필터의 제작에 대해서 다룬다. PC는 CPU를 포함한 여러 소자들이 모여 있어 각 장치들간에 서로 많은 간섭이 일어날 수 있고, PC와 연결되는 여러 외부 장치들에 영향을 받아 불요 전자파가 많이 발생될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 PC를 측정대상기기(EUT)로 하여 임피던스에 적합한 노이즈 저감 필터를 제작하였다. 관통형(Feed-through) 커패시터와 높은 투자율을 가진 페라이트 비드로 구성된 필터를 제작한 필터와 함께 적용하여 PC용 EMC 필터를 제작하였다. 실험을 통해서 제작한 필터가 10 MHz ~ 1.5 GHz에서 삽입손실이 40 dB 이상 감쇠되며, CISPR Pub. 22 규격과 IEC 61000-4-4의 level 4까지 만족함을 알 수 있었다.

핵심용어 : PC, EMC, 관통형 커패시터, 페라이트 비드

Abstract : This paper deals with EMC filter for a personal computer(PC). A PC contains many sources of noise inside and out, with many connected cables. High noise levels are also emitted from the PC because of high-speed signals. So radiated noise from the computer body may sometimes cause problems. Therefore, we design and fabricate an electromagnetic compatibility (EMC) filter for PC, which is composed of feed-through capacitors and ferrite beads with high permeability. Through extensive test, the proposed EMC filter is shown to have excellent differential-mode and common-mode noises filtering characteristics above 30 dB in the frequency band from 10 MHz to 1.5 GHz. The immunity characteristics are improved more than 10 to 30 dB over the frequency band from DC to 1.8 GHz.

Key Words : PC, EMC, Feed-Through Capacitors, Ferrite Beads

1. 서 론

정보화 사회에서 컴퓨터는 수화계산 기능뿐만 아니라 인터넷을 비롯한 통신과 네트워크, 비디오/오디오 등을 포함하는 각종의 멀티미디어 매체의 주역으로서의 역할 등이 더욱 중시되면서, 현대 생활의 필수품으로 정착하고 있다(Martin Campbell-Kelly, William Aspray, 1997). 이와 아울러 이러한 컴퓨터를 포함한 전기·전자 장치 및 정밀 제어 시스템들의 안전한 동작과 정밀한 제어에 대한 요구조건이 강화되고 있으며, 이에 대하여 CISPR(국제 무선 방해 특별 위원회), 미국의 FCC(미연방 통신 위원회)와 일본의

VCCI(정보처리장비 전파 방해 자주 규제 협의회) 및 CE mark 등에서 전자파환경대책을 위한 규제를 시행하고 있다(김형근, 배대환, 민경찬, 김동일, 1995)(F. D. Martzloff and T. F. Leedy, 1990). 일반적으로 노이즈원의 전달경로는 자유공간을 통한 방사와 전원선이나 신호선을 이용한 전도가 있다. 그 중에서 특히 전도에 의한 노이즈는 다양한 형태를 가지고 있어 대책이 어렵다고 볼 수 있다. 또한 유도형 소자에서의 전력증가 및 고속에 의한 개폐로 과도전압에 의한 장애가 증대되고 있으며, 이러한 과도전압은 대상기기에 직접적 혹은 잠정적으로 피해를 주고 있다(C63-Electromagnetic Compatibility, 1989). 특히 다른 가전 기기에 비해 복잡도가 크고, 보다 민감한 동작을 하며 내부

** 대표저자 : 정상욱, jsu007@hanmail.net 051) 410-4932

*** 중신회원, violet313@hanmail.net 051) 410-4787

및 외부장치와 연결되어 서로 간섭을 미칠 수 있는 PC(Personal Computer)의 경우 더욱 많은 피해를 받을 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 PC의 전도성 노이즈에 대한 대책 방법으로 광대역 EMC 필터를 제안한다. 본 논문에서 제안한 PC용 광대역 EMC 필터는 10 MHz ~ 1.5 GHz에서 삽입손실이 40 dB 이상 감쇠되며, CISPR Pub. 22 규격과 IEC 61000-4-4의 level 4까지 만족함을 알 수 있었다.

2. PC용 광대역 EMC 필터의 설계 및 제작

기존의 필터들은 IEC 61000-4-4의 level 2에 대해서만 유용할 뿐이었다. 또한, 기존의 노이즈 저감필터를 삽입한 기기에서는 level 2까지는 적용 기기가 50 %정도 견디나 level 4에서는 99 % 이상 견디지 못하여 오동작 하거나 시스템이 동작하지 않는다. 더욱이, EFT로부터 전기 제어 장비의 안전성에 있어서, EMC 대책은 무선통신 기기나 공장 자동화 시스템 제어인 경우 level 4까지 견딜 수 있도록 설계되어야 한다(IEEE Standard collection Electromagnetic Compatibility, 1992). 이러한 전자과 대책용 필터들은 지금까지는 커패시터와 공통 모드 초크 코일을 사용한 필터 또는 isolation 변압기가 EFT 대책에 이용되었다(M. Lutz and J. P. Lecury, 1992). 그러나, 커패시터와 공통 모드 초크 코일을 사용한 필터는 주파수의 광대역에 따른 대책에는 한계를 보이고 있으며, isolation 변압기는 고가이고, 무거우며, 부피가 큰 결점을 가지고 있기 때문에 대책 방법으로는 적절하지 않다(Henry W. Ott, 1988). 따라서 본 논문에서는 기존의 노이즈 필터의 소자로 사용되는 커패시터와 공통 모드 초크 코일을 PC의 임피던스에 맞게 최적의 소자값을 구하여 설계하고, 필터의 광대역화와 EFT 대책을 위하여 커패시터의 인덕턴스 성분을 없앤 관통형 커패시터와 높은 투자율을 가지는 Ni-Zn 페라이트 비드를 인덕터로 사용하는 EMS 필터를 설계하여 앞서 제작한 노이즈 필터와 결합하는 형태의 PC용 광대역 EMC 필터를 설계하였다. 여기서, 관통형 커패시터는 1 GHz이상의 공진 주파수를 가지기 때문에 고주파 대역에서도 좋은 특성을 가진다. 그림 1은 제안한 필터의 삽입손실을 구하기 위한 EMC 필터와 전원선 송신로의 등가회로를 보여준다.

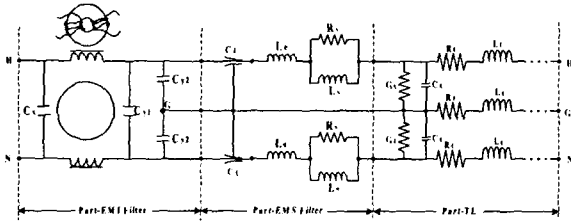
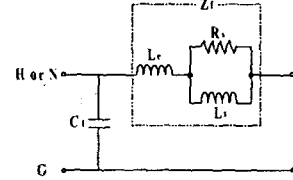
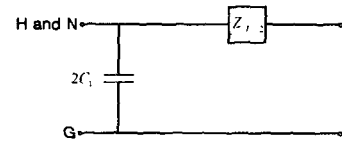


Fig. 1. Equivalent circuits of the broad-band EMC filter and Transmission line.

제안한 광대역 EMC 필터를 설계하기 위해서 필터에 사용된 각 소자들의 주파수 특성을 알아보고, 이에 대하여 수치해석 프로그램을 이용하여 임피던스를 구하고 제안한 필터의 삽입손실을 구함으로써, 최적의 소자값을 얻을 수 있다. 또한, 측정방법에서는 들어온 노이즈를 차동·공통모드로 분리하지 않고 들어온 노이즈가 얼마나 저감되는지를 구한다.



(a) Differential-Mode



(b) Common-Mode

Fig. 2. Equivalent circuits of the EMS filter(Part-EF)

그림 2(a)는 차동모드 측정 방법에 따라 EMS 필터 부분의 신호선(H)과 접지선(G), 중성선(N)과 접지선(G) 사이의 등가회로를 보여준다. EMS 필터의 차동모드에 관한 ABCD 매트릭스는 식 (1)에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} A_{DM} & B_{DM} \\ C_{DM} & D_{DM} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y_{C_1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z_f \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & Z_f \\ Y_{C_1} & Y_{C_1}Z_f + 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, $Y_{C_1} = j2\pi fC_1$ 이며,

$$Z_f = j\omega L_e + \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{j\omega L_s} \right)^{-1} \quad (2)$$

그 반면, 공통모드 측정 방법에 따른 등가회로는 그림 2(b)에 보여지는 것과 같다. 그리고, 공통모드 노이즈에 관한 ABCD 매트릭스는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} A_{CM} & B_{CM} \\ C_{CM} & D_{CM} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2Y_{C_1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z_f/2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & Z_f/2 \\ 2Y_{C_1} & Y_{C_1}Z_f/2 + 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

비투자율 μ_r 은 식 (4)에 의해 표현될 수 있다(Yoshiyuki

Naito, 1976).

$$\mu_r = 1 + \frac{\mu_i}{1 + jf/f_m} \quad (4)$$

여기서 μ_i 는 초 투자율, f_m 은 완화주파수, 그리고 f 는 측정 주파수이다. 본 논문에서는 $\mu_i = 2,000$, $f_m = 3.12$ MHz의 페라이트 비드를 사용하였다. 또한, 페라이트 비드의 임피던스를 구하기 위한 다른 파라미터들은 식 (5)에 주어진다.

$$\begin{aligned} C_1 &= 2,000 \text{ [pF]} \\ L_e &= 2 \times 10^{-8} \mu_i \ln(b/a) \times l \text{ [H]} \\ R_s &= 2 \pi f_m \mu_i \mu_0 l K \text{ [\Omega]} \\ L_s &= \mu_i \mu_0 l K \text{ [H]} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, a 와 b 는 페라이트 비드의 내경과 외경이고, l 은 페라이트 비드의 길이이며, K 는 페라이트 비드의 치수에 의해 결정되는 값이며, 그 값은 0.003이다.

등가회로에서 L은 독립된 인덕터로서, 상호간에 자기적인 결합이 없다. 차동 모드 노이즈 전압은 L과 C_{y1} 으로 제거된다. 커먼 모드 노이즈 전압은 병렬연결 L과 C_{y2} 가 구성하는 LC로패스 필터에 의해서 제거된다.

식 (1)과 (3)에 의해, 전달계수 T는 식 (6)에 의해 얻을 수 있다(David M.Pozar, 1990).

$$T(\text{dB}) = 20 \log \left| \frac{2}{A_i + B_i + C_i + D_i} \right| + \alpha_p \quad (6)$$

여기서, $i = DM \text{ or } CM$ 이고, α_p 는 필터부를 제외한 전원선에서의 손실(dB)이다.

식(6)에 의해 계산한 결과는 그림 5, 6에 제작한 광대역 EMC 필터의 측정치와 비교하여 나타내었고, 그림 3은 제작한 PC용 광대역 EMC 필터의 사진이다. 그림에서 커패시터 C_y 는 hot-to-neutral 전류를 바이패스 시키고, 그들이 부하에 이르는 것을 방지한다.

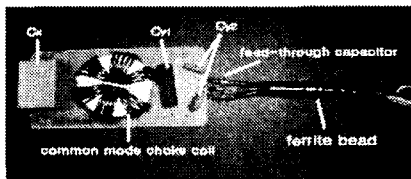


Fig. 3. The photograph of the fabricated broad-band EMC filter for PC.

3. 실험 결과

3.1. 필터 특성

제작한 PC용 광대역 EMC 필터를 그림 4와 같이 HP사의 네트워크 분석기(HP 8753D)를 사용하여 필터의 삽입손실을 측정하였다. 그 결과, 차동·공통 모드의 경우, 10 MHz ~ 1.5 GHz대역에서 40 ~ 70 dB의 우수한 감쇠특성을 나타내었다.

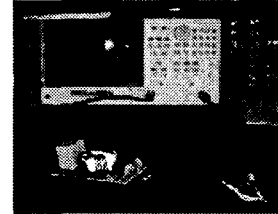


Fig. 4. Set-up for the analysis of the frequency characteristics of broad-band EMC filter.

그림 5와 6의 A와 B에서는 앞의 그림 1에서 제안한 등가회로에 따른 식 (6)의 삽입손실 계산치와 측정치를 비교한 것을 나타낸 것이다. 계산치와 측정치가 대체적으로 비슷하였으나, 저주파 대역에서는 계산치와 측정치가 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이것은 페라이트 비드의 자벽 운동에서 발생하는 부하효과를 고려하지 않았기 때문이다.

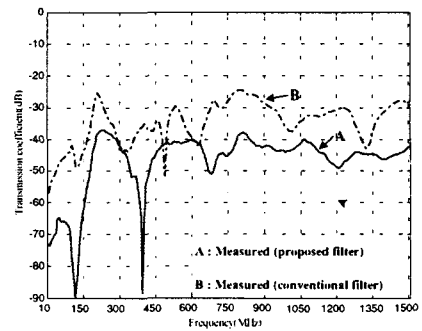


Fig. 5. Insertion loss for differential-mode.

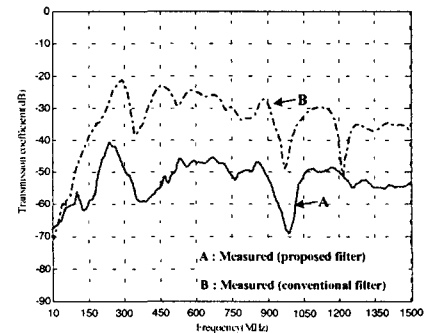


Fig. 6. Insertion loss for common-mode.

3.2. 전도 노이즈 특성

일반적인, EMI(전자파 장애)에 대한 대책방법으로는 전도성 노이즈의 모드에 따라 노이즈 필터를 사용하여 국제적으로 CISPR(국제무선장해특별위원회)에서는 150 kHz~30 MHz, FCC(미연방통신위원회)에서는 450 kHz~30 MHz의 대역에서 규제를 따르고 있다(V. Prasad Kodali, 1996). 본 논문에서는 주파수 대역이 넓은 CISPR Pub. 22규격에 따라 전도성 노이즈를 측정하였다. 그림 7은 측정대상장비를 PC로 하고 EMCO사의 LISN(3810/2)을 장착하여 PC로부터 나오는 전도성 노이즈를 EMC 분석기(8591EM)로 측정하는 장면이다.

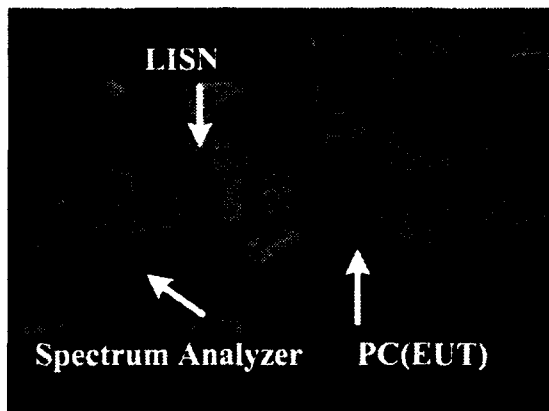


Fig. 7. Set-up to analyze the broad-band EMC filter for PC.

따라서, 본 논문에서는 측정대상기기(EUT)인 PC의 임피던스에 적합한 최적의 소자값을 구하고, 더불어 필터의 광대역화를 위하여 공진점이 없는 관통형 커패시터와 페라이트 비드를 이용하여 PC용 광대역 EMC 필터를 제작하였다. 그 측정결과, 그림 8과 같이 150 kHz~1 MHz 대역에서 무대척시보다 20 dB 이상 전도성 노이즈를 저감시켰으며, 5 MHz~30 MHz 대역에서는 10 dB 이상 전도성 노이즈를 감소시키면서, CISPR Pub. 22 규격을 만족하였다.

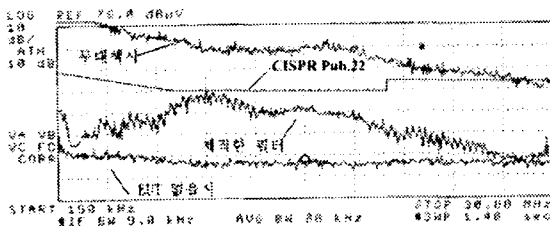


Fig. 8. The measured results of EMI test with broad-band EMC filter for PC.

3.3. EFT 특성

본 논문에서는 IEC에서 규정하고 있는 전자파내성 항목 중 IEC 61000-4-4(과도전압) 측정 방법에 따라 HP사의 EMC 분석기(HP8591EM), Tektronix TDS 340A(100 MHz, 500Ms/s)와 버스트-발생기(EMV-System SFT4000)를 이용해 측정하였다. 이때 IEC 61000-4-4에 EFT테스트 펄스 파형은 식 (7)에 의해 얻을 수 있다.

$$V(t) = A V_p (1 - e^{-t/t_1}) e^{-t/t_2} \quad (7)$$

더불어, EFT/Burst 테스트에 대한 IEC 61000-4-4에서 술된 테스트 파라미터들은 참고문헌 (Henry W. Ott, 1988)에 설명되어 있다. A가 정수일 때, V_p 는 $t_1 = 3.5$ ns, $t_2 = 55.6$ ns에서 개방회로 전압의 최대 값을 가진다.

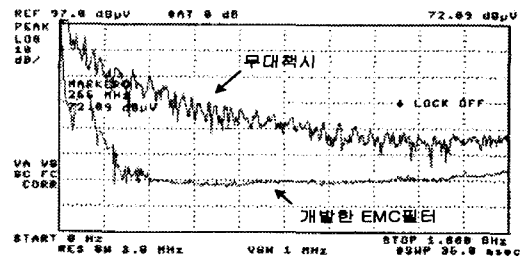


Fig. 9. The measured results of immunity test at level 4 of IEC61000-4-4(Frequency Domain).

그림 9는 주파수 영역(Frequency Domain)에서 보기 위하여 HP사의 EMC Analyzer(HP8951EM)를 이용하여 무대척시와 제작한 광대역 EMC 필터를 삽입한 경우에 IEC 61000-4-4의 level 4를 인가한 경우의 측정 결과이다. 그 결과, 그림 9에 나타난 것과 같이 0 Hz~1.8 GHz 대역에서 일반 전원선에 과도전압을 인가하였을 경우보다 10~30 dB 감쇠되는 특성을 얻을 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 노이즈 필터의 소자로 사용되는 커패시터와 공통모드초크 코일을 PC의 임피던스에 맞게 최적의 소자값을 구하여 설계하고, 필터의 광대역화와 EFT 대책을 위하여 관통형 커패시터와 높은 투자율을 가지는 Ni-Zn 페라이트 비드를 사용하는 EMS 필터를 설계하여 앞서 제작한 노이즈 필터와 결합시킨 형태의 PC용 광대역 EMC 필터를 설계하였다. 그 결과, 차동·공통 모드의 경우, 삽입 손실은 10 MHz~1.5 GHz의 넓은 주파수 대역에 걸쳐 40 dB~70 dB의 우수한 감쇠특성을 나타내었으며, 기존의 필터보다 10 dB~20 dB 감쇠하였으며, 또한 CISPR Pub. 22 규격을 만족하는 우수한 필터이다. 그리고, 과도전압의

경우에는 IEC 61000-4-4에서 규정하는 level 4를 인가하였을 때 6배 이상 감소하는 특성을 나타내었다.

사 사

본 연구는 한국학술진흥재단(KRF-2001-005-E00015)지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 김형근, 배대환, 민경찬, 김동일, "EFT IEC801-4대책 전원 케이블의 개발에 관한 연구", 한국향해학회, PP.107~114, 1995.
- [2] C63-Electromagnetic Compatibility, New York : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1989.
- [3] David M.Pozar, *Microwave Engineering*, Addison-Wesley , 1990
- [4] F. D. Martzloff and T. F. Leedy, "Electrical fast transients, application and limitation", *IEEE Trans Industry Applications*, Vol. IA-26, pp. 151~159, Jan./Feb. 1990.
- [5] F. D. Martzloff and T. M. Gruz, "Power quality site surveys: facts, fiction and fallacies," *IEEE Trans Industry Applications*, Vol. 24, pp. 1005-18, Nov./Dec. 1988.
- [6] Henry W. Ott, *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems*, John Wiley & Sons, pp. 137~157, 1988.
- [7] IEEE Standard collection Electromagnetic Compatibility, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1992.
- [8] IEEE Guide on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage AC Power Circuit, IEEE C 62.45-1987, New York : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1987.
- [9] Martin Campbell-Kelly, William Aspray, "Computer: A History of the Information Machine (The Sloan Technology Series)", Basic Books, pp. 1~20 , May 1997
- [10] M. Lutz and J. P. Lecury, "Electrical fast transient IEC 801-4. susceptibility of equipment and systems at higher frequencies and voltages," in *Proc IEEE International Symp EMC*, pp. 189~94, 1992.
- [11] Richard Lee Ozenbaugh, *EMI Filter Design*, Marcel Dekker, INC., pp. 56~100, 1996.
- [12] V. Prasad Kodali, *Engineering Electro-magnetic Compatibility*, IEEE press, pp. 171~176, 1996.
- [13] Yoshiyuki Naito, "Formulation of frequency dispersion of ferrite permeability", *IECE of Japan*, Vol. J59-C, No. 5, pp. 297~304, May. 1976.