

PC용 EMC 필터의 성능 개선

김동일* · 장신자 · 정상욱

Improvement of EMC Filter for PC

Dong Il Kim · Jang Sin Ja · Sang Wook Jung

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 1.5 GHz.

Key words : PC, EMC Filter, Feed-Through Capacitors, Ferrite Beads

I. 서 론

정보화 사회에서 컴퓨터는 수학적 계산 기능뿐만 아니라 인터넷을 비롯한 통신과 네트워크, 비디오/오디오 등을 포함하는 각종의 멀티미디어 매체의 주역으로서의 역할 등이 더욱 증시되면서, 현대 생활의 필수품으로 정착하고 있다.^[1] 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(정보처

리장비 전파 방해 자주 규제 협의회) 및 CE mark 등에서 전자과환경대책을 위한 규제를 시행하고 있다.^{[2][3][4]} 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 장해가 증대되고 있으며, 이러한 과도전압은 대상기에 직접적 혹은 잠정적으로 피해를 주고 있다.^[5] 특히 다른 가전기기에 비해 복잡도가 크고, 보다 민감한 동작을 하며 내부 및 외부장치와 연결되어 서

* 한국해양대학교 전파공학과(Department of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime University)
dikim@mail.hhu.ac.kr

※ 본 연구는 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2003-005-D0005)에 의하여 연구되었음.

로 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 제안하며 Cx의 캐패시터 용량을 추가함으로써 좀 더 개선된 필터를 제작하였다. 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.

II. PC용 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.^[6] 이러한 전자파 대책용 필터들은 지금까지는 커패시터와 공통 모드 초크 코일을 사용한 필터 또는 isolation 변압기가 EFT 대책에 이용되었다.^[7] 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.^[8] 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 구하

기 위한 EMC 필터와 전원전송선로의 등가회로를 보여준다.

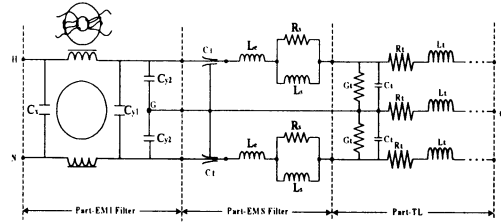
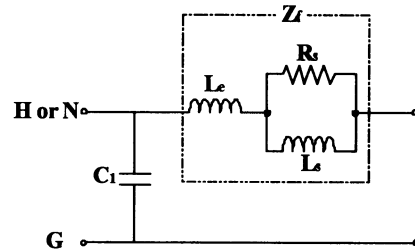
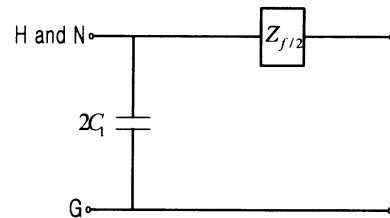


Fig. 1 Equivalent circuits of the broad-band EMC filter and Transmission line.

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.

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

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.

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

비투자율 μ_r 은 식 (4)에 의해 표현될 수 있다.^[9]

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

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.

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

여기서, a 와 b 는 페라이트 비드의 내경과 외경 이고, l 은 페라이트 비드의 길이이며, K 는 페라

이트 비드의 치수에 의해 결정되는 값이며, 그 값 은 0.003이다.

등가회로에서 L은 독립된 인덕터로서, 상호간에 자기적인 결합이 없다. 차동 모드 노이즈 전압은 L과 Cy1으로 제거된다. 커먼 모드 노이즈 전압은 병렬연결 L과 Cy2가 구성하는 LC로패스 필터에 의해서 제거된다.

식 (1)과 (3)에 의해, 전달계수 T는 식 (6)에 의 해 얻을 수 있다.^[10]

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

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

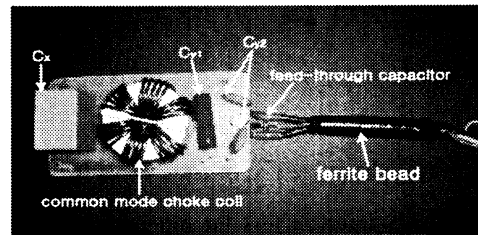


Fig. 3 The photograph of the fabricated broad-band EMC filter for PC.

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 Cy는 hot-to-neutral 전류를 바이패스 시키고, 그들이 부하에 이르는 것을 방지한다.

III. 실험 결과

3.1 필터 특성

제작한 PC용 광대역 EMC 필터를 그림 4와 같이 HP 사의 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.

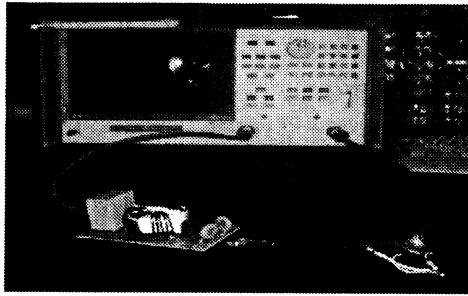


Fig. 4 Set-up for the analysis of the frequency characteristics of broad-band EMC filter.

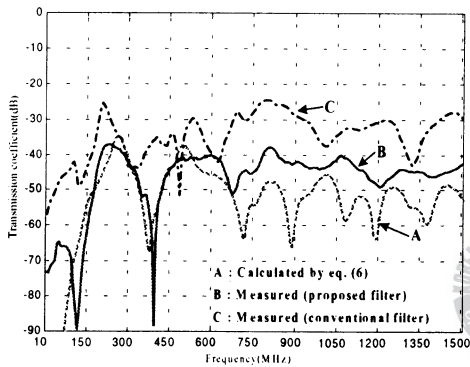


Fig. 5 Insertion loss for differential-mode.

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.

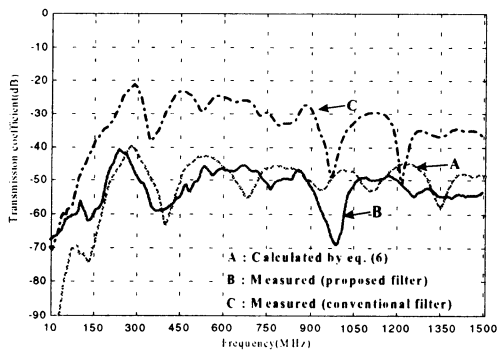


Fig. 6 Insertion loss for common-mode.

3.2 전도 노이즈 특성

일반적인, EMI(전자파 장애)에 대한 대책방법으로는 전도성 노이즈의 모드에 따라 노이즈 필터를 사용하여 국제적으로 CISPR(국제무선장해 특별위원회)에서는 150 kHz~30 MHz, FCC(미연방통신위원회)에서는 450 kHz~30 MHz의 대역에서 규제를 따르고 있다.^[11] 논문에서는 주파수 대역이 넓은 CISPR Pub. 22규격에 따라 전도성 노이즈를 측정하였다.

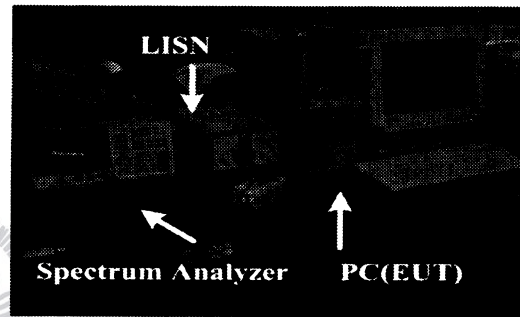


Fig. 7 Set-up to analyze the broad-band EMC filter for PC.

그림 7은 측정대상장비를 PC로 하고 EMC사의 LISN(3810/2)을 장착하여 PC로부터 나오는 전도성 노이즈를 EMC 분석기(8591EM)로 측정하는 장면이다.

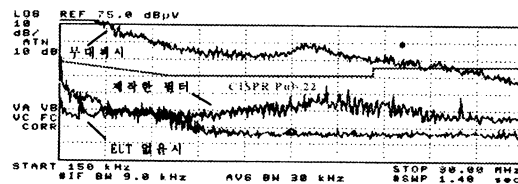


Fig. 8 The measured results of EMI test with broad-band EMC filter for PC.

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 대역에

서 무대책시보다 40 dB 이상 전도성 노이즈를 저감시켰으며, 5 MHz~30 MHz 대역에서는 20 dB 이상 전도성 노이즈를 감소시키면서, CISPR Pub. 22 규격을 만족하였다. 또한 Cx의 캐피시터 용량을 증가해줌으로써 15 MHz 이하 영역에서 전도 노이즈가 더욱더 감쇄되는 성능을 가져왔다.

3.3 EFT 특성

본 논문에서는 IEC에서 규정하고 있는 전자파 내성 항목중 IEC 61000-4-4(과도전압) 측정 방법에 따라 HP사의 EMC 분석기(HP8591EM), Tektronix TDS 340A(100MHz,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 61000-4-4에 서술된 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.

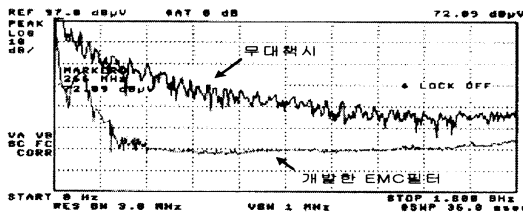


Fig. 9 The measured results of immunity test at level 4 of IEC61000-4-4(Frequency Domain).

그림 9는 주파수 영역(Frequency Domain)에서 보기 위하여 HP사의 EMC Analyzer(HP8951EM)를 이용하여 무대책시와 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 감쇄되는 특성을 얻을 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 기존의 노이즈 필터의 소자로 사용되는 커패시터와 공동모드초크 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·공동 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.

본 연구는 한국학술진흥재단(KRF-2003-005-D0005) 지원으로 수행되었음

참고문헌

- [1] Martin Campbell-Kelly, William Aspray, "Computer: A History of the Information Machine (The Sloan Technology Series)", Basic Books, pp. 1~20, May 1997
- [2] 김형근, 배대환, 민경찬, 김동일, "EFT IEC801-4 대책 전원 케이블의 개발에 관한 연구", 한국항해학회, PP.107~114,1995.
- [3] 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.
- [4] F.D. Martzloff and T. M. Gruzs, "Power quality site surveys: facts, fiction and fallacies," IEEE Trans Industry Applications, Vol. 24, pp. 1005-18, Nov./Dec. 1988.
- [5] C63 - Electromagnetic Compatibility, New York : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1989

- [6] IEEE Standard collection Electromagnetic Compatibility, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1992.
- [7] 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.
- [8] Henry W. Ott, Noise Reduction Techniques in Electronic Systems, John Wiley & Sons, pp. 137~157, 1988.
- [9] Yoshiyuki Naito, "Formulation of frequency dispersion of ferrite permeability", IECE of Japan, Vol. J59-C, No.5, pp. 297~304, May. 1976.
- [10] David M.Pozar, Microwave Engineering, Addison-Wesley, 1990
- [11] V. Prasad Kodal, Engineering Electromagnetic Compatibility, IEEE press, pp. 171~176, 1996.



초광대역성을 가지는 부착형 피라미드타입 유전체 전파흡수체의 설계에 관한 연구

김대훈* · 손준영 · 김동일

A Study on Design of attached and dielectric pyramidal type EM Wave Absorber with a Super Wide-broadband Characteristics

Dae-Hun Kim* · June Young Son · Dong Il Kim

Abstract: In this paper, a super wide-band EM wave absorber was designed by attaching pyramidal type absorber on the broadband ferrite absorber. The ferrite absorber in hemisphere type in cutting cone-shaped absorber[1] was used, the band-width of which was broadened by attaching pyramidal type carbon urethane absorber on the ferrite absorber. As a result, the bandwidth has been broadened upto 12.4 GHz, which that of ferrite absorber has 6 GHz at higher limit.

Key words: Pyramidal type, Broadband EM wave Absorber, Carbon Intermixed Urethane foam

1. 서 론

오늘날 전자 통신 기술의 발달은 일상생활을 편리하게 해주는 반면, 전자파 사용의 증대로 인해 전자기기 간의 간섭으로 인한 오동작 등과 같은 전자파장해 현상이 심각한 사회 문제로 대두되고 있다. 따라서 전자파장해에 대한 대책이 중요한 과제로 부각되었고, 그 대책을 위해 EMI (Electromagnetic Interference), EMS의 측정이 보다 더 중요해졌다. 국제적으로는 CISPR(국제 무선 장해 특별 위원회), 미국에서는 FCC, ANSI 등의 규제를 만들게 되었으며, 우리나라에서도 전자통신용 장비의 전자파장해(EMI ; Electromagnetic Interference)와 전자파양립성(EMC ; Electromagnetic

Compatibility)에 관한 규제를 만들어 수출에 대비하고 있다^[2]. 이러한 전자파장해 대책을 위한 EMI/EMS 측정 공간으로서 전파무향실(Anechoic Chamber)이 필요하게 되었고 다목적 전파무향실을 위한 광대역 전파흡수체가 필요하게 되었다. 기존의 국제규격기준(ANSI C634-1991, CISPR ASEC 109, 또는 IEC 801-3)을 충분히 만족시켜야 하는 주파수 대역이 30 MHz에서 1 GHz 정도였으나, 1998년 11월 6일 CISPR(국제 무선 장해 특별 위원회)에서는 논의되어왔던 방사 측정 주파수의 범위를 CISPR11^[3]에서 18 GHz까지 대역을 확장시켰다^[4-5]. 따라서 위와 같은 규격을 만족시키는 전파무향실을 구축하기 위해서는 30 MHz ~ 18 GHz의 주파수 대역에서 20 dB 이상의 전

* 한국해양대학교

파흡수능을 가지는 전파흡수체가 요구되지만, 기존의 전파흡수체인 타일형 페라이트(Tile Ferrite)는 흡수대역이 30 MHz에서 400 MHz이고 격자형 페라이트(Grid Ferrite)는[6] 흡수대역이 30 MHz에서 870 MHz로 국제규격을 만족시키지 못하는 문제점이 있다^{[7]-[9]}.

본 연구에서는 위와 같은 문제점 해결을 위한 초광대역 특성의 범용 전파흡수체를 개발하기 위하여, 광대역 페라이트 흡수체 위에 피라미드형 유전체 전파흡수체를 부착한 복층형 초광대역 전파흡수체를 설계하였다. 시뮬레이션을 통해 최적의 설계 파라미터를 구하고 실측을 통해 이를 확인하였다.

2. 복층 전파흡수체의 해석

2.1 복층 전파흡수체의 형상

제안한 전파흡수체는 그림 1에 나타나 있다. 그림 2는 제안한 전파흡수체의 측면도와 평면도를 나타낸 것이다. 그림 1과 그림 2는 본 연구실에서 기존에 제작한 흡수체에 피라미드형 전파흡수체를 부착한 모습을 나타낸다.

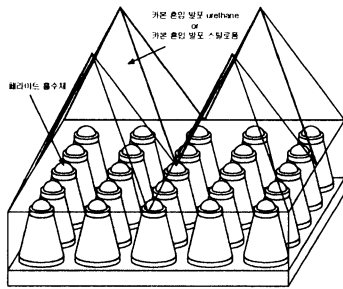


그림 1 제안된 전파흡수체의 사시도

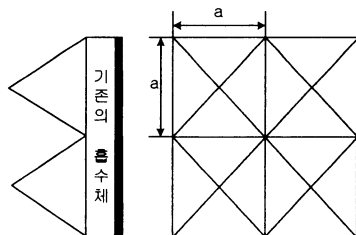


그림 2 제안된 전파흡수체의 평면도와 측면도

2.2 페라이트 전파흡수체의 해석

페라이트 전파흡수체의 다층형 모델이 그림 3에 나타나있다.

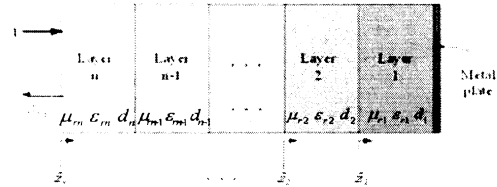


그림 3 페라이트 전파흡수체의 다층형 모델

첫째 단에서의 정규화 된 임피던스는

$$z_1 = \sqrt{\frac{\mu_{r1}}{\epsilon_{r1}}} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_{r1}\epsilon_{r1}} d_1) \quad (1)$$

$$z_i = \sqrt{\frac{\mu_{ri}}{\epsilon_{ri}}} \frac{z_{i-1} + \sqrt{\frac{\mu_{ri}}{\epsilon_{ri}}} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_{ri}\epsilon_{ri}} d_i)}{\sqrt{\frac{\mu_{ri}}{\epsilon_{ri}}} + z_{i-1} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_{ri}\epsilon_{ri}} d_i)} \quad (2)$$

$$Z_n = \sqrt{\frac{\mu_{rn}}{\epsilon_{rn}}} \frac{z_{n-1} + \sqrt{\frac{\mu_{rn}}{\epsilon_{rn}}} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_{rn}\epsilon_{rn}} d_n)}{\sqrt{\frac{\mu_{rn}}{\epsilon_{rn}}} + z_{n-1} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_{rn}\epsilon_{rn}} d_n)} \quad (3)$$

2.3 피라미드형 카본 우레탄 흡수체의 해석

전파흡수체 설계 시 등가재료정수법[6]을 사용하였으며 본 연구에서 제안된 탄소함유 피라미드의 경우는 유전체이므로 등가유전율에 대한 이론적 배경만을 서술하였다.

정전용량은 $C = \epsilon S/g$ 에서와 같이 유전율과 단면적에 비례하고 간격에 반비례한다. 그림 1과 같이 피라미드형 전파흡수체는 그림 5와 같이 등가재료 정수 계산모델로 만들어 각각의 정전용량을 계산하고 그것으로부터 총 합성용량 C를 구할 수 있다.

$$C_1 = \epsilon_o \epsilon_r \frac{d/2 \cdot \Delta z}{d/2} = \epsilon_o \epsilon_r \Delta z \quad (4)$$

$$C_2 = \frac{d/2 \epsilon_o \Delta z}{(1/2)(a-d)} = \frac{d \epsilon_o \Delta z}{(a-d)} \quad (5)$$

$$C_3 = \frac{(1/2)(a-d) \epsilon_o \Delta z}{a/2} = \frac{(a-d) \epsilon_o \Delta z}{a} \quad (6)$$

초광대역성을 가지는 부착형 피라미드타입 유전체 전파흡수체의 설계에 관한 연구

$$C = \left(\frac{(a-d)}{a} + \frac{\epsilon_r d}{(a-d)\epsilon_r + d} \right) \epsilon_0 \Delta z \quad (7)$$

따라서, 그림 1에서 Δz 의 두께를 가지는 구조에 대한 등가유전율 ϵ_{eq} 는

$$\epsilon_{eq} = \frac{C}{\epsilon_0 \Delta z} \quad (8)$$

$$\epsilon_{eq} = \frac{(a-d)}{a} + \frac{\epsilon_r d}{(a-d)\epsilon_r + d} \quad (9)$$

와 같이 계산할 수 있다.

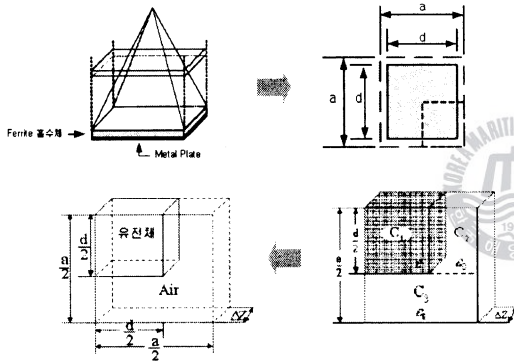


그림 4. 등가재료정수의 캐패시턴스 계산모델

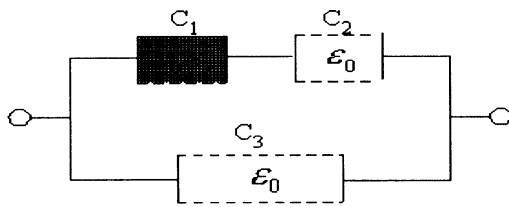


그림 5. 합성용량 모델

2.4 다층형 해석모델에 의한 복층형 전파흡수체의 해석

다음은 각 층의 등가 모델에 대하여 임피던스 및 반사계수를 구하는 과정이다. 첫 단계에 걸리는 임피던스 값을 계산하여 계속적으로 계산하면 최종 단계에서 계산되는 임피던스의 값은 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

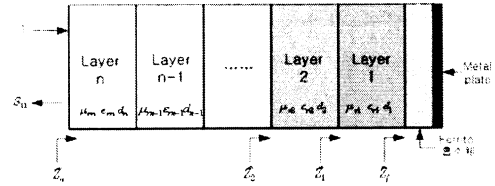


그림 6. 피라미드 흡수체의 다층형 모델

첫 단계의 임피던스는 다음과 같으며

$$Z_1 = \sqrt{\frac{\mu_{r1}}{\epsilon_{r1}}} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_{r1}\epsilon_{r1}} d_1) \quad (10)$$

이어서 계산되는 최종 값은 다음 식과 같다.

$$Z_n = \sqrt{\frac{\mu_{rn}}{\epsilon_{rn}}} \frac{Z_{n-1} + \sqrt{\frac{\mu_{rn}}{\epsilon_{rn}}} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_{rn}\epsilon_{rn}} d_n)}{\sqrt{\frac{\mu_{rn}}{\epsilon_{rn}}} + Z_{n-1} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_{rn}\epsilon_{rn}} d_n)} \quad (11)$$

이렇게 구해진 최종 임피던스의 값으로 반사계수를 구할 수 있다.

$$S_{11} = \frac{Z_n - 1}{Z_n + 1} \quad (12)$$

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

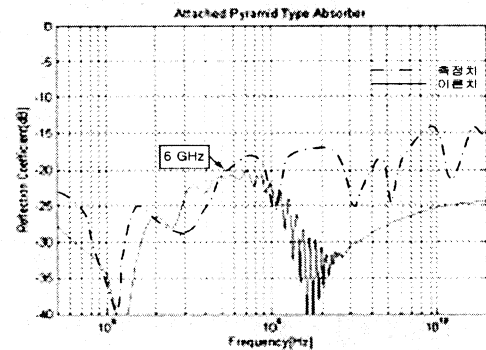


그림 7. 원추절단형 위에 반구를 부착시킨 페라이트 전파흡수체

그림 7은 원추절단형 위에 반구를 부착시킨 페라이트 전파흡수체의 특성을 나타내는 그래프이다. 실선은 시뮬레이션 한 이론치를 나타내고 점선은 실제 측정치를 나타낸다.

20dB 이상의 흡수능을 나타내는 최대주파수는 약 6 GHz인 것을 알 수 있다.

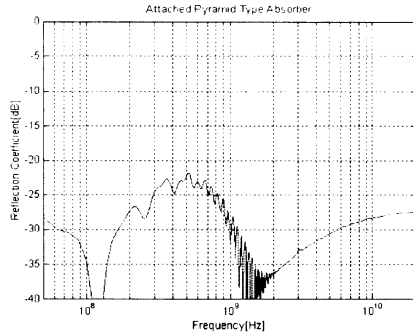


그림 8. 피라미드 높이가 10 cm 인 경우의 이론적 주파수 특성(탄소함유량 : 24%)

다음으로 피라미드의 높이를 10 cm, 탄소함유량을 24 %로 고정을 한 뒤 그 특성을 알아보기 위하여 시뮬레이션을 해보았다. 그림 8은 그 이론치를 나타내는 그래프이다.

시뮬레이션에 사용된 탄소함유량에 따른 유전율은 참고문헌을 참조하였다[10].

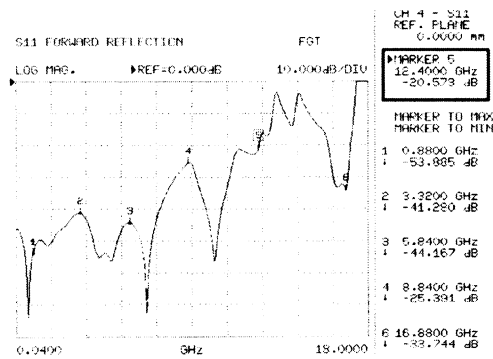


그림9. 피라미드 높이가 10 cm 인 경우의 실측정 주파수 특성(탄소함유량 : 24%)

그림 9는 본 논문에서 제안하는 피라미드형 전파흡수체를 제작을 한 후 그 주파수 특성을 실제 측정 한 그래프이다. 흡수능 20 dB 이상을 가지는 페라이트 전파흡수체의 최대주파수는 6 GHz 인 반면 본 논문에서 제안하는 피라미드형 전파흡수체를 부착시켰을 시에는 20 dB 이상을 가지는 최

대주파수가 12.4 GHz로써 페라이트 전파흡수체보다 광대역화 되었음을 알 수 있다.

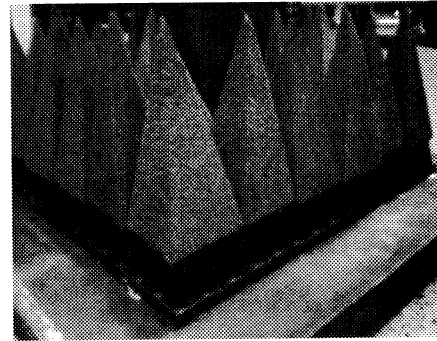


그림 10. 실제 제작 모델

그림 10은 페라이트 전파흡수체 위에 본 논문에서 제안하는 피라미드형 전파흡수체를 실제 제작한 모형으로서 집착제를 이용하여 간단히 부착을 시킬 수가 있었다.

4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 전파 압실용 전파흡수체로서 기존에 사용하는 흡수체의 흡수능을 초광대역화 시킬 수 있는 부착형 피라미드형 전파흡수체를 제안하였다. 페라이트 전파흡수체는 20 dB 이상의 흡수능을 가지는 주파수 대역이 6 GHz인 반면 페라이트 전파흡수체 위에 본 논문에서 제안하는 피라미드형 전파흡수체를 부착 하였을 때에는 20 dB 이상의 흡수능을 가지는 주파수 대역이 12.4 GHz로서 초광대역화 됨을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] "A Study on Absorption Characteristics of Hemisphere Type on Cutting Cone Shaped Absorber for Obliquely Incident EM Waves" June Young Son and Dong Il Kim, APMC 03, pp.53-56, 2003. 11.
- [2] 김동일, 전상엽, "EMI/EMC 대책용 광대역화 전파흡수체의 개발에 관한 연구" 한국항해학

- 회지 제 15권 제 4호 , pp.13-35, 1991. 12.
- [3] CISPR/B/RVC, CISPR II, 1998. 11. 8.
- [4] 김동일, 이창우, 전상엽, 정세모, “초광대역특성을 갖는 정방형 페라이트 기둥구조의 전파흡수체 설계법”, 한국향해학회지 제19권 제2호, pp.99-106, 1995.
- [5] 강덕근, “새로운 전자과장해관련 기준 제/개정”, 전파진흥지, pp.11-16, 1996. 11.
- [6] Y. Naito et al., “Characteristics of grid ferrite electromagnetic wave Absorber”, IECE of Japan, Vol. J76-B-II, No.11, pp.898-905, Nov. 1993.
- [7] 김동일, 전상엽, 정세모, “제2층에 십자형 슬롯을 가지는 2층형 초광대역 전자파흡수체의 개발”, 한국전자과학회 종합학술대회 논문집, pp.8-12, 1995.
- [8] Dong Il Kim, Michiharu Takahashi, Hiroki Anzai, Sang Yup Jun, “Electromagnetic wave absorber with wide-band frequency characteristics using exponentially tapered ferrite”, IEEE Transactions on electromagnetic compatibility, Vol.38, No.2, pp.173-177, May. 1996
- [9] 김동일, 전상엽, “십자형슬롯을 가지는 적층형 초광대역 페라이트 전파흡수체의 설계, 한국전자과학회 논문지, 제7권, 제4호, pp.346-352, 1996.
- [10] Christopher L. Holloway, Ronald R. Delyser, Robert F. German, Paul Mckenna, and Motohisa Kanda, “Comparison of Electromagnetic Absorber Used in Anechoic and Semi-Anechoic Chambers for Emissions and Immunity Testing of Digital Device.” IEEE TRANS. on electromagnetic compatibility, Vol.39, No. 1 pp.33-47, Feb. 1997.



