

전원용 광대역, 고성능 EMI 필터 개발에 관한 연구

Power-Line EMI Filter for Broad-Band

정영철 · 이경원* · 육종관* · 박한규*

Yeong-Chul Chung · Kyung-Won Lee* · Jong-Gwan Yook* · Han-Kyu Park*

요 약

이 논문은 군 쉘터(shelter) 내부의 전자기기용 전원부에 사용되는 고성능 전원용 광대역 EMI 필터를 제안하였다. 주파수 10 kHz~1 GHz의 광대역에서 감쇠량 100 dB를 구현할 수 있는 최적의 EMI 필터를 구현하기 위해 먼저 시뮬레이션을 통해 각 소자의 용량에 대한 특성을 분석하였으며, 이를 기초로 실제 제작을 통해 실험적으로 노이즈 제거 성능을 증명하였다. 이 결과는 군용 쉘터뿐만 아니라 다른 첨단 무기들에 대한 전자파 대응 방호 기술의 개발에 도움을 줄 것이다.

Abstract

We proposed the Power-line EMI filter for vehicle-shelter which have attenuation performance of 100 dB from 10 kHz to 1 GHz. The inductor and capacitor for EMI filter design was characterized using circuit simulator and then, we experimentally verified 100 dB attenuation for the conducted emission noise through power line. This results will be used for the application systems of protection weapons against EMI attacks as well as vehicle-shelter.

Key words : TEMPEST, EMI Filter, CM(Common-Mode) Noise, DM(Differential-Mode) Noise

I. 서 론

현대전(現代戰)은 전자정보장비를 활용하여 방해 전파를 능동방사함으로써 적의 통신이나 전자 장비를 교란시키는 등의 치명적인 타격을 주는 새로운 전자전(Electronic Warfare)의 양상으로 전개되고 있다. 한편, 템페스트(TEMPEST: Transient Electromagnetic Pulse Emanation Standard)라는 “전자파를 이용한 음성도청 원리와 같은 수법의 정보 탐지”를 통하여 군사 정보를 유출하는 전자파 도청에 관한 대책이 요구된다^[1].

전기전자기기로부터 직접복사 또는 전도되는 전자파가 다른 기기의 수신기능에 장애를 주는 것을 전자파 간섭(EMI: Electromagnetic Interference)이라 한다. 전자파 간섭 문제가 처음 대두된 것은 1930년

대로써 그 당시에는 전자파가 주로 라디오 방송과 무선통신에 사용되었고, 이 라디오파에 간섭을 일으켜 잡음이 나게 하는 것을 “라디오(또는 무선) 주파수 간섭(RFI: Radio Frequency Interference)”이라고 불렀었다. 그 후 1940년대에 RFI라는 용어 대신에 서술적이며 넓은 의미를 갖는 용어인 EMI가 사용되기 시작하였고, 1960년대 이후에 EMC(Electromagnetic Compatibility)라는 용어가 만들어져 사용되기 시작하였다. 1990년대에 들어서면서 우리나라도 이런 전자전에 사용되고 있는 유해 전자파의 규제를 전자장비에서 시작하였다^[2]. 따라서 전시(戰時)에 전자전을 대비하기 위해 전자기기 및 자동화 기기들을 외부의 전파탐지로부터 완벽히 차폐할 수 있는 쉘터(shelter) 등의 차폐실 운용 및 기기 자체의 전자파 차폐가 반드시 필요하다. 그러나 아무리 완벽한 차폐시설이라

국방품질관리소(Defense Quality Assurance Agency)

*연세대학교 전기전자공학과(Department of Electrical and Electronics Engineering, Yonsei University)

· 논문 번호 : 20041004-132

· 수정완료일자 : 2005년 1월 4일

하더라도 그 곳에는 내·외부를 연결하는 전원선, 통신선, 환기구 등이 필수적이다. 이런 내·외부를 연결하는 통로를 통하여 다양한 형태의 유해 전자파가 유·출입될 수 있으므로 이에 대한 대책은 더욱 중요하다. 특히 전원선으로 유입된 방해전파 차폐를 위해서 셀터의 전원 유입부에 TEMPEST 규격을 만족하는 광대역, 고감쇠의 고성능 전원부 EMI 필터를 설치함으로써 비로소 완벽한 방호시스템을 갖추었다 할 것이다.

지금까지 방전관용 램프의 전원부에 장착되는 노이즈 필터^[3], 영상기용 광대역 EMI 필터 설계^[4], 전송 전자장비용 EMI 필터^[5]와 고주파 대역에서의 노이즈 억제 필터^[6]를 제안하는 등의 각종 전자장비의 전원용 노이즈 필터의 연구가 활발히 진행 중이다. 또한 EMI 노이즈 경로형태를 분석하고 필터제작 절차를 연구한 논문이 발표되었다^[7]. 그러나 수백 MHz 이상의 넓은 주파수 대역에서 고감쇠 전원용 EMI 필터의 구현을 위해서는 각 부품의 최적의 정수를 설계하며 부품의 형상과 위치, 제작 등의 물리적 조건도 배려해야 하는 등의 여러 제한으로 인해 구현을 어렵게 하고 있다.

본 논문은 TEMPEST의 일반적인 규격^[8]인 주파수 10 kHz~1 GHz의 광대역에서 감쇠량 100 dB를 구현할 수 있는 고성능 전원용 EMI 필터 구조를 제안하였다. 먼저 II장에서는 전원라인에서 발생할 수 있는 EMI 노이즈를 분석하고 시뮬레이션 분석을 통해 필터의 구성요소인 캐패시터와 인덕터를 설계하여 최적의 회로정수를 결정하였다. 이를 토대로 III장에서 다단 차폐구조에 대해 실험을 통해 광대역, 고성능의 필터 성능을 증명하였으며 IV장에서 결론을 맺었다.

II. EMI 필터 설계

일반적으로 전자기기에서 발생하는 노이즈는 전달경로의 형태에 따라 DM(differential-mode, 차동모드) 노이즈와 CM(common-mode, 공통모드) 노이즈로 분류된다. 이런 전원선을 따라 전도되는 전도잡음을 제거하는 역할을 하는 것이 EMI 필터이다. 고주파용 EMI 필터는 주파수 대역이 넓고 고주파 영역에 걸쳐 있으므로 OP-AMP 등을 이용한 능동형

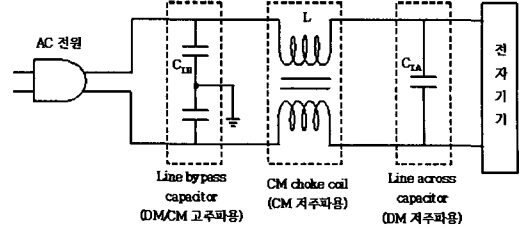


그림 1. 일반적인 전원용 EMI 필터
Fig. 1. EMI filter for general power-line.

필터(active filter)로는 구현에 제약이 있으므로 수동형 LC 필터로 설계하는 것이 일반적이다. 그림 1은 일반적인 전원 라인용 EMI 필터의 구성도를 나타낸다^[9]. 구성요소는 크게 CM 초크 코일(L), Line across 캐패시터(C_{LA}), Line bypass 캐패시터(C_{LB})로 나뉘어진다. 여기에서 CM 초크 코일은 라인의 임피던스를 증가시켜 전원선으로 전도되는 저주파 CM 노이즈를 주로 차단하는 역할을 한다. C_{LA} 는 저주파 DM 노이즈를 차단하며 C_{LB} 는 고주파 DM과 CM 노이즈를 동시에 차단하는 역할을 한다.

전원부에서 발생하는 광대역(10 kHz~1 GHz) 노이즈를 100 dB 이상으로 감쇠시키기 위해 L-C 소자는 낮은 주파수부터 높은 주파수에 이르기까지 고른 주파수 특성을 가져야 하므로 소재와 구조의 결정이 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 최적의 필터 설계를 위해 3가지 측면을 고려하여 분석함으로써 보다 효율적인 설계가 가능하게 했다.

2-1 구성소자의 재질 분석

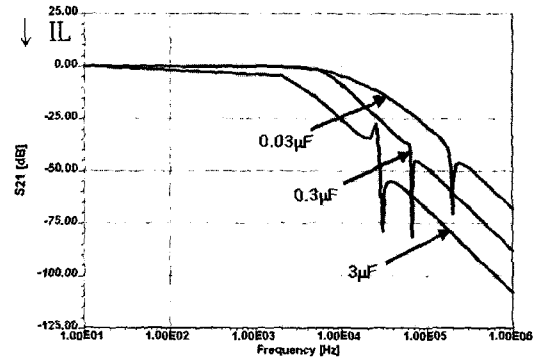
첫 번째로는 캐패시터와 인덕터의 소재 측면에서 고려해야 할 사항들이다. 캐패시터의 경우, 리드선의 형태에 따라 일반 2단자형(lead type)과 관통형(Feed through type)으로 분류되는데, 일반 2단자형의 경우, 리드선의 직렬저항이나 직렬인덕턴스로 인한 공진현상으로 높은 주파수에서 좋은 감쇠 특성을 기대할 수 없다. 따라서 이런 예측할 수 없는 공진현상을 최대한 억제하기 위해 리드선을 배제한 관통형 캐패시터를 채택하였다. 또한 캐패시터 유전체 재질로는 세라믹과 필름 권선형이 주로 사용되는데 세라믹 재질은 고주파 특성은 우수하나 용량이 수십 μF 이 되어야 하는 필터에 적용할 경우 AC 250 V용의

로 구현할 수 없기 때문에 본 논문에서는 금속증착 필름 권선형을 채택하였다.

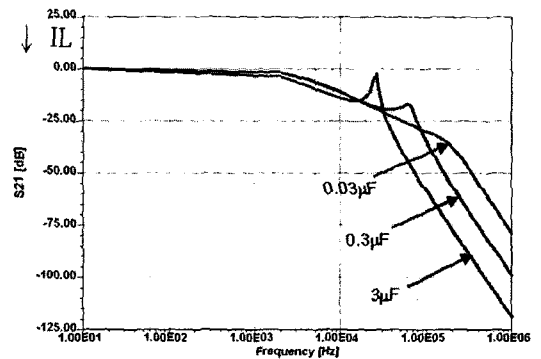
인덕터는 고주파 광대역에서의 동작을 위해 주파수 응답특성이 매우 양호한 코어를 이용하여 분포용량이 매우 적게 발생될 수 있는 구조로 권선하여야 하는 등 그 재질 선정과 권선방법에 많은 고려가 필요하다. 코어는 크게 페라이트(ferrite) 계열의 Mn-Zn계 및 Ni-Zn계와 철압분(powered) 코어 두 종류를 고려하였다. 먼저 페라이트계는 투자율이 높아 큰 인덕턴스를 낼 수 있으나 전류에 의하여 쉽게 포화되고 철압분 자심계의 경우는 부하전류에 의한 포화는 페라이트계에 비해 우수한 특성을 가지나 투자율이 낮아 인덕턴스를 크게 하는 데는 취약할 뿐 아니라 전류 인가 시 발열되는 약점이 있다. 따라서 이들 재질을 주파수 대역별, 전류용량별로 잘 조합해야 하며 캐패시터의 효과를 높이거나 설계 정수치를 최소한으로 하여 누설전류를 최소화하는 데 역점을 두어 설계하였다.

2.2 구성소자의 용량 분석

두 번째로는 구성소자의 용량 측면에서 고려해야 할 사항을 모의실험을 통해 분석하였다. 먼저 Line-bypass 캐패시터(C_{LB})의 용량 특성을 알아보기 위해 그림 1의 일반적인 필터구조에서 CM용 인덕터(L)와 Line-across 캐패시터(C_L)는 각각 2.2 mH와 2.2 μ F으로 고정시켰으며, C_{LB} 는 각각 0.03 μ F, 0.3 μ F, 3 μ F으로 변화시켜가면서 삽입손실 특성을 10 Hz에서 1 MHz까지 CM과 DM을 각각 분류하여 시뮬레이션으로 해석하였다. 시뮬레이션 주파수 범위를 1 MHz까지 선택한 이유는 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션에서는 이 이상의 주파수에서는 더 이상 공진현상이 일어나지 않고 큰 손실만 나타나기 때문이다. 또한 TEMPEST에 대응하는 10 kHz에서 1 GHz까지 100 dB를 얻어야 하므로 일반적으로 사용되는 전자기기용 필터 값보다 큰 정수를 선택하였다. Line-bypass 캐패시터의 역할은 앞에서 언급한 것처럼 고주파 DM/CM 노이즈 제거용이다. 그림 2(a)와 (b)와 같이 캐패시터의 용량을 크게 하면 기울기 변화 없이 왼쪽 하단으로 이동함을 알 수 있으며 일단 저주파에서 보다 10 kHz 이상의 주파수에서 감쇠효과가 크다는 것을 알 수 있다. 특히 CM의 경우, 10 kHz에서



(a) CM(Common mode)



(b) DM(Differential mode)

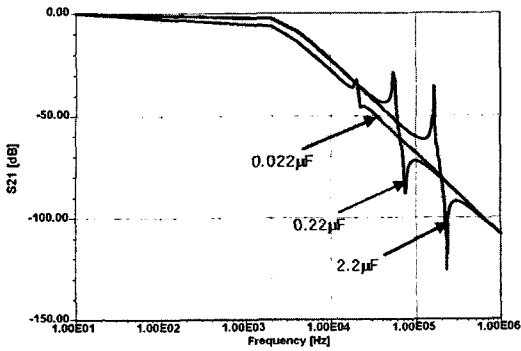
그림 2. Line-bypass 캐패시터 변화에 따른 삽입손실(10 Hz~1 MHz)

Fig. 2. Insertion loss department by Line-bypass capacitance change(10 Hz~1 MHz).

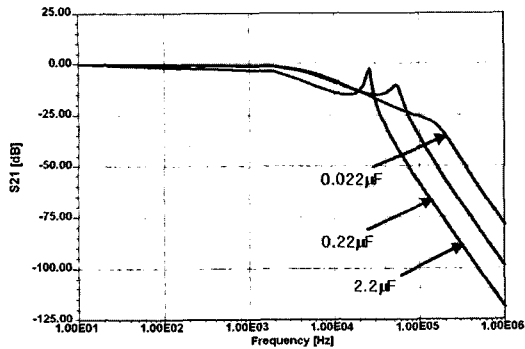
3 μ F의 경우 감쇠량이 약 -25 dB를 나타내어 가장 좋은 특성을 보임을 알 수 있다. 일반적인 캐패시터는 리드선이나 전극에 의해 기생 인덕턴스가 발생하여 공진현상을 일으킨다. 따라서 캐패시터의 리액턴스는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다^[9].

$$|Z_c| = |\omega L - (1/\omega C)| \quad (1)$$

여기에서 L 은 캐패시터의 전체의 잔류 인덕턴스이다. 캐패시터의 리액턴스 X_c 와 기생 인덕턴스의 리액턴스 성분 X_L 의 절대 값이 같은 주파수 f_0 에 공진점이 나타나 공진점을 넘으면 급격히 삽입손실이 증가한다. 그러나 본 절의 시뮬레이션은 편의상 각 소자의 순수 용량에 대한 특성만을 해석하기 위해 위와 같은 캐패시터의 기생 인덕턴스나 인덕터의 기생 캐패시터는 존재하지 않고 이상적인 소자라 간주하였다.



(a) CM(Common mode)



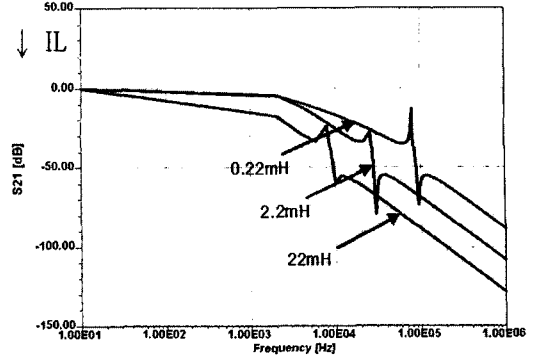
(b) DM(Differential mode)

그림 3. Line-across 캐패시턴스 변화에 따른 삽입손실(10 Hz~1 MHz)

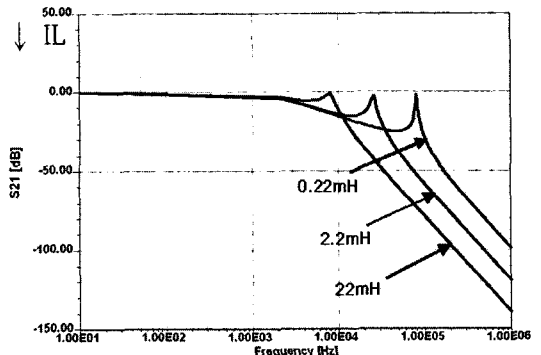
Fig. 3. Insertion loss department by line-across capacitance change(10 Hz~1 MHz).

그림 3은 Line-across 캐패시턴스의 변화에 따른 삽입손실을 나타낸다. 이때의 경우는 CM용 인덕터(L)와 Line-bypass 캐패시터(C_{LB})는 각각 2.2 mH와 3 μ F로 고정시킨 후, 각각 0.022 μ F, 0.22 μ F, 2.2 μ F로 변화시켜 소자의 용량에 따른 특성을 파악하였다. 이 소자는 전형적인 DM 노이즈 제거용이므로 그림 3(a)와 같이 CM의 경우는 10 kHz 이상에서 캐패시턴스에 의해 공진만 일어날 뿐 거의 영향이 없는 것을 알 수 있다. 그러나 DM의 경우는 소자 용량이 커질수록 삽입 손실이 커지는 특성을 나타냈다.

그림 4는 그림 1에서 구성된 CM용 인덕터(L)를 각각 0.22 mH, 2.2 mH, 22 mH로 변화시키면서 C_{LB} 와 C_{LA} 는 각각 3 μ F와 2.2 μ F로 고정시켰다. 이 Common-mode 초크 코일은 저역의 CM 노이즈를 제거하는 역할을 담당하는데 인덕턴스 값이 크면 클수록 그림 4(a)와 같이 10 kHz 이하에서 삽입 손실이 증가



(a) CM(Common mode)



(b) DM(Differential mode)

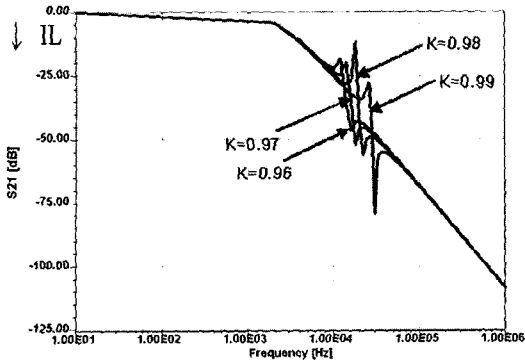
그림 4. CM용 인덕턴스 변화에 따른 삽입손실(10 Hz~1 MHz)

Fig. 4. Insertion loss department by CM inductance change(10 Hz~1 MHz).

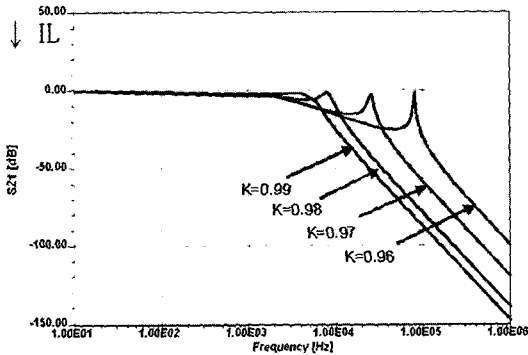
한다. 이때 이 소자의 상호 인덕턴스(M)는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 K는 결합계수, L_1 은 코일 1의 자체 인덕턴스, L_2 를 코일 2의 자체 인덕턴스를 나타내며, K 값은 이상적인 값인 1로 설정하여 누설자속이 없는 것으로 간주하였다.

$$M = K\sqrt{L_1 L_2} \quad (2)$$

그러나 결합계수가 1인 이상적인 인덕터는 존재하지 않으므로 K 값의 변화(K=0.99, 0.98, 0.97, 0.96)에 따른 특성을 시뮬레이션 하였다. 일반적으로 앞에서 설명한 바와 같이 CM용 초크 코일은 CM 노이즈뿐만 아니라 코일이 가지고 있는 결합계수의 변화에 의해 DM 노이즈까지 제거할 수 있다. 그림 5(a)의 CM의 경우는 일정 대역에서 공진만 일어날 뿐 아무런 성능 변화는 없다는 것을 알 수 있다. 그림 5(b)의 경우, 결합계수가 낮아지면 DM 노이즈 제



(a) CM(Common mode)



(b) DM(Differential mode)

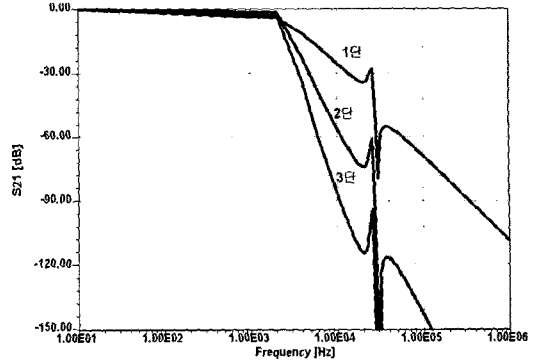
그림 5. CM용 인덕터의 결합계수(K) 변화에 따른 삽입손실(10 Hz~1 MHz)

Fig. 5. Insertion loss department by coefficient of coupling(K) change of CM inductor(10 Hz~1 MHz).

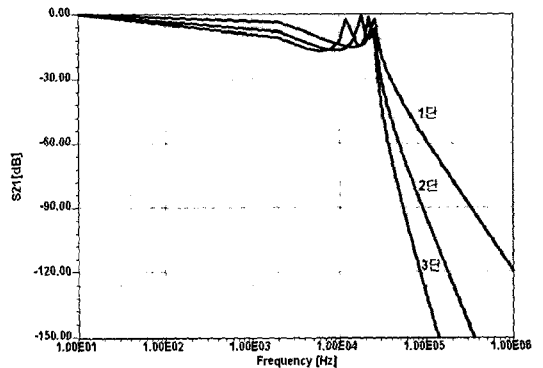
거효과가 있으나 누설자속이 너무 크면 자기포화를 일으키기 때문에 바람직한 방법은 아니다.

2.3 필터 다단 설계 특성 분석

지금까지 시뮬레이터를 이용하여 각 소자의 용량 변화에 따른 삽입손실 특성을 해석하였으나 1단의 기본구조로는 본 논문에서 제시한 10 kHz~1 GHz의 광대역에서 100 dB 이상의 성능은 만족하지 못하였다. 따라서 성능 향상을 위해 소자의 용량의 증가와 동시에 다단(多段) 설계를 하는 것이 필요하다. 그림 1의 구조를 3단으로 연결하여 시뮬레이션을 실시하였으며, 특히 시뮬레이션 특성상 고주파수 특성은 공진이 일어나지 않고 무한대의 감쇠 특성을 나타내므로 저주파 10 kHz 대역에 주안점을 두었다. 그림 6에서 나타낸 것과 같이 3단 연결시 CM의 경우는



(a) CM(Common mode)



(b) DM(Differential mode)

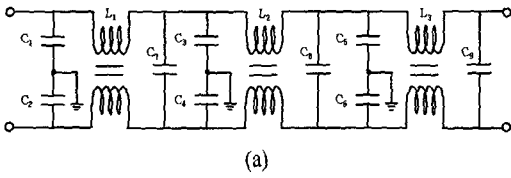
그림 6. 다단 설계시 삽입손실($C_{LB}=3 \mu F$, $L=2.2 \text{ mH}$, $C_{LA}=2.2 \mu F$)

Fig. 6. Insertion loss department at multistage design ($C_{LB}=3 \mu F$, $L=2.2 \text{ mH}$, $C_{LA}=2.2 \mu F$).

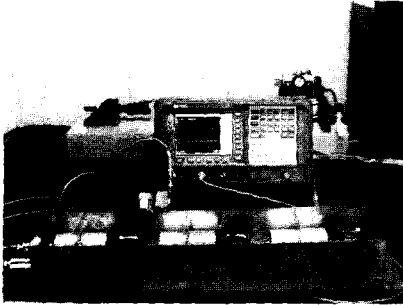
10 kHz에서 90 dB에 근접하였으나 DM의 경우는 약 20 dB 정도로 나타났다. 저주파 대역에서 DM이 CM 보다 감쇠 성능이 저하되는 원인은 시뮬레이션 상에서 CM 초크 코일의 결합계수인 K 값을 1로 설정하여 DM 노이즈 제거에는 영향을 미치지 않게 하였기 때문이다.

III. 실험 및 결과 고찰

앞선 시뮬레이션 결과를 기초로 기본구조의 필터를 3단 직렬로 연결하여 표 1과 같은 용량과 재질로 전원용 EMI 필터를 설계, 제작하였다. 100 dB 이상을 만족하기 위한 대책으로 CM과 DM 동시에 감쇠 가능한 Line-bypass 캐패시터를 3 μF 에서 30 μF 으로 10배 증가시켰으며 소재로는 금속 증착 필름 권선형(Metallized Polypropylene Film) 관통형 캐패시터



(a)



(b)

그림 7. 1차 실험 EMI 필터의 회로도 및 측정 셋업
Fig. 7. Circuit diagram of the first experiment EMI filter and measurement setup.

표 1. 1차 실험용 필터의 회로정수별 용량

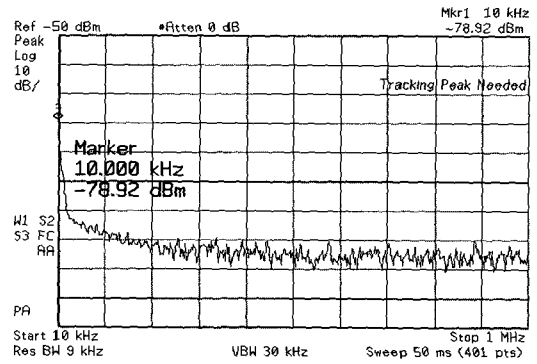
Table 1. Circuit constant capacity of the first experimental filter.

회로정수	용량	형태	재질 및 특성
$C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$	$30 \mu F$	관통형	금속증착 필름권선형, AC275V
L_1, L_2, L_3	$2.2 mH$	CM	Mn-Zn 페라이트 $\mu_i=8,000$
C_7, C_8, C_9	$2.2 \mu F$	lead	금속증착 필름권선형 AC275V

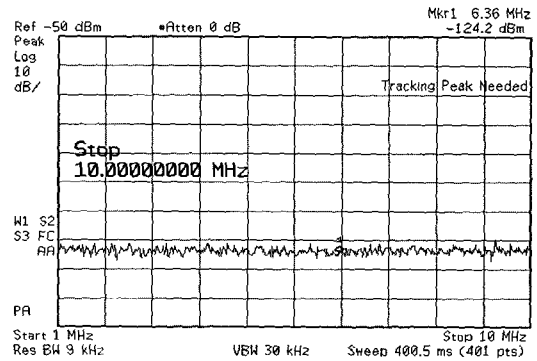
를 사용하였다. 또한 시뮬레이션 값과 같이 $2.2 mH$ 의 인덕턴스를 가진 CM 형태의 페라이트 코어 인덕터를 삽입하였으며 DM용 Line-across 캐패시터는 2단자 리드형태의 $2.2 \mu F$ 를 채택하였다. 그림 7(a)와 (b)는 회로도와 측정 셋업을 나타냈다.

그림 8은 1차 실험의 감쇠결과를 나타냈다. CM의 경우, 그림 8(a)에서 알 수 있듯이 약 $10 kHz$ 근처에서부터 급격한 감쇠가 일어나지만 약 $-78 dB$ 로 만족치인 $100 dB$ 를 만족하지 못하며 그림 8(b)의 $1 MHz \sim 10 MHz$ 에서는 $100 dB$ 이상의 감쇠량을 가지는 것을 볼 수 있었다. 그러나 그림 8(c)에서와 같이

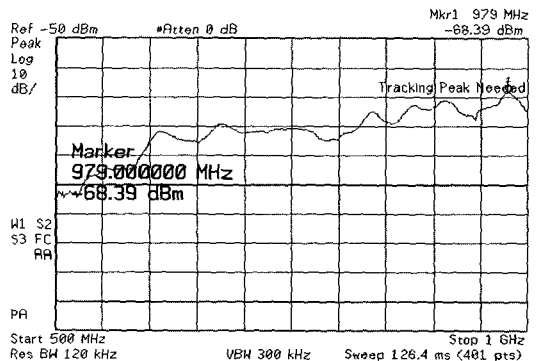
고주파 특성이 다소 불안정한 것으로 나타나며 $500 MHz$ 이상 대역에서는 감쇠량이 $100 dB$ 에 미치지 못하는 다수의 주파수가 관찰되었고 약 $58 \sim 90 dB$ 범위로 만족할 만한 특성을 가지지 못했다. 그림 9에서의 DM 특성은 $10 kHz$ 대역에서 CM과 비교하여 거의 비슷한 감쇠량을 나타냈으며 $500 MHz$ 이상의



(a) $10 kHz \sim 1 MHz$



(b) $1 MHz \sim 10 MHz$

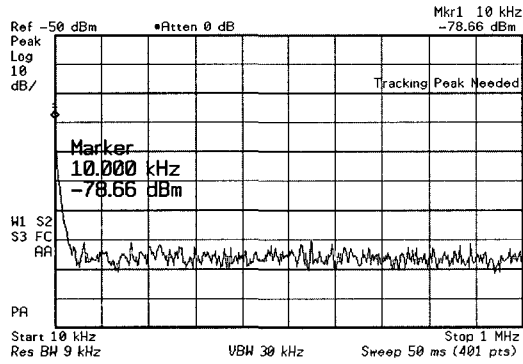


(c) $500 MHz \sim 1 GHz$

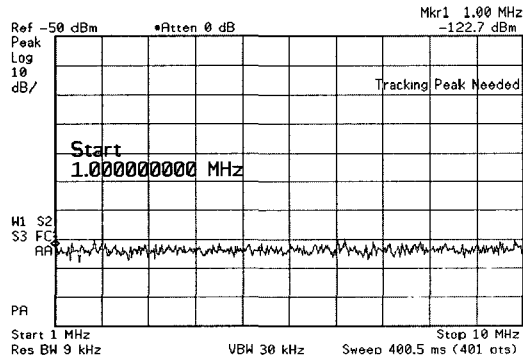
그림 8. 1차 실험 필터의 감쇠특성(CM)
Fig. 8. Attenuation special quality of the first experiment filter(CM).

고주파에서도 100 dB를 만족하지 못하는 주파수 대역이 몇몇 존재함을 알 수 있다.

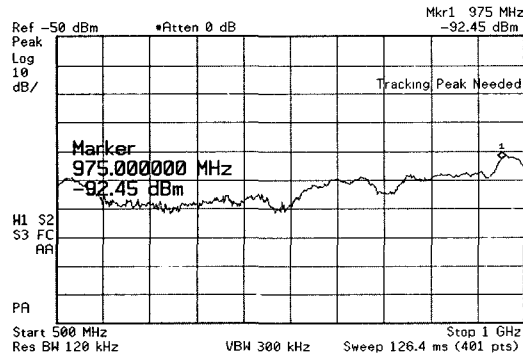
이 같은 현상은 캐패시터의 용량을 줄이고 저주파 감쇠량을 극대화하려고 배치한 큰 인덕턴스의 인덕터의 분포 용량에 기인하는 것으로, 큰 인덕턴스를 얻기 위해 비교적 조밀하게 권선함으로써 권선간



(a) 10 kHz~1 MHz



(b) 1 MHz~10 MHz



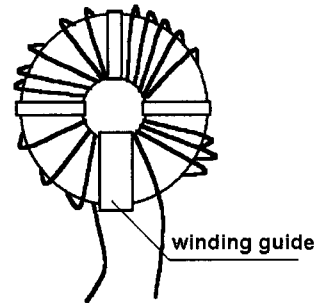
(c) 500 MHz~1 GHz

그림 9. 1차 실험 필터의 감쇠특성(DM)

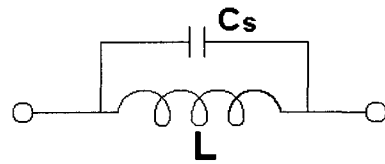
Fig. 9. Attenuation special quality of the first experiment filter(DM).

분포용량이 발생하고 이 분포 용량이 저주파 대역에서는 문제가 없다가 고주파에서는 인덕터의 직렬 임피던스를 감소 또는 분포 용량을 통한 바이패스를 일으켜 감쇠 특성을 저하시키거나 불안정한 결과를 초래하는 것으로 판단되었다. 따라서 이에 대한 대책마련이 요구됨을 알았다.

본 논문에서는 1차 실험에서의 감쇠 저하 특성을 개선하기 위한 방안으로 3가지 관점에 초점을 맞추었다. 첫째는 인덕터의 코어 재질을 변경하였다. 앞의 실험에서는 교류 초기 투자율 $\mu_i=8,000$ 의 Mn-Zn 페라이트 코어는 실용적인 Soft ferrite core 중에는 가장 저주파 손실이 적어 훌륭한 저주파 감쇠 특성을 나타내지만 수차에 걸친 실험 결과 100 kHz 이하 대역에서는 그 효과가 크게 감소하였다. 따라서 이를 보완하기 위해 페라이트 코어 대신 MPP(Molypermanally powered) Core를 채택하였다. 이 코어는 Fe를 중심으로 단독 또는 몇 가지 금속합금을 분말화하여 고압 프레스로 찍어낸 다공질 코어로서 저주파 손실이 매우 적고 포화자속 밀도가 페라이트계에 비해 상당히 높은 것이 특징이다. 또한 Line-across 캐패시터를 배제하여 이로 인하여 발생할 수 있는 리드의 직렬 인덕턴스와 저항 값에 의해 자기공진 발생을



(a)



(b)

그림 10. (a) 개선된 인덕터 개략도, (b) 인덕터 등가 모델

Fig. 10. (a) Improved inductor schematic diagram, (b) Inductor equivalence model.

억제하여 고주파 특성이 급격히 저하됨을 방지하였다. Line-across 커패시터가 담당했던 DM 특성 성능을 보완하기 위해, 앞에서 제시한 MPP 코어를 CM 형태가 아닌 각각이 독립적인 DM 형태로 권선하여 회로에 적용하였다.

둘째로는 인덕터의 분포용량을 현격히 감소시킬

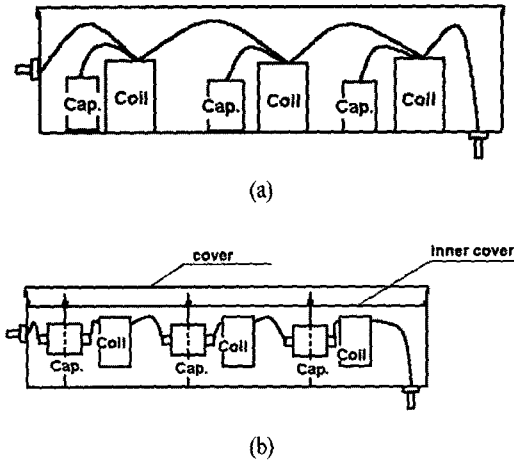


그림 11. (a) 기존의 차폐 기술, (b) 적용된 차폐 기술
Fig. 11. (a) Existent shielding technolog, (b) Applied shieldingng technolog.

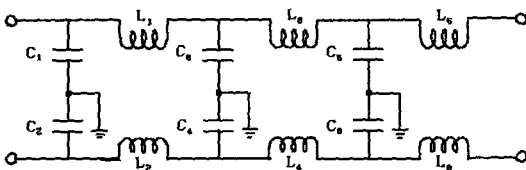


그림 12. 2차 실험 EMI 필터의 회로도
Fig. 12. Circuit of the second experiment EMI filter.

표 2. 2차 실험용 필터의 회로정수별 용량
Table 2. Circuit constant capacity of the second experimental filter.

회로정수	용량	형태	재질 및 특성
$C_1 \sim C_6$	30 μF	관통형	금속증착 필름권선형 AC275V
$L_1 \sim L_6$	0.8 mH	DM	MPP 코어 $\mu_i=125$ (size 57/36/14 stacks)

수 있는 기술을 적용하였다. 그림 10(a)와 같이 권선 간격을 일정하게 유지시키고, 고주파 전류가 인덕터를 거치지 않고 넘어가는 것을 방지하기 위해 권시(start)와 권종(end) 간에는 권선가이드(winding guide)를 설치하였다. 이렇게 함으로써 그림 10(b)의 개선

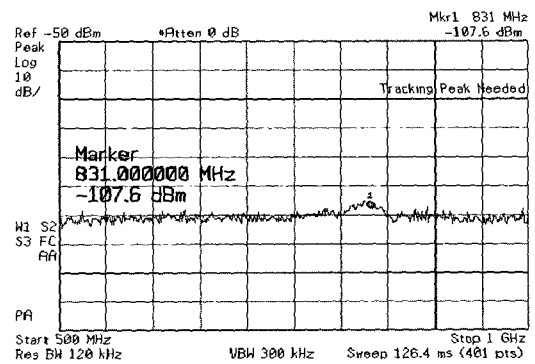
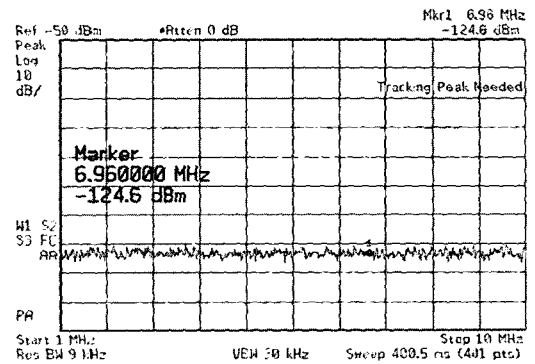
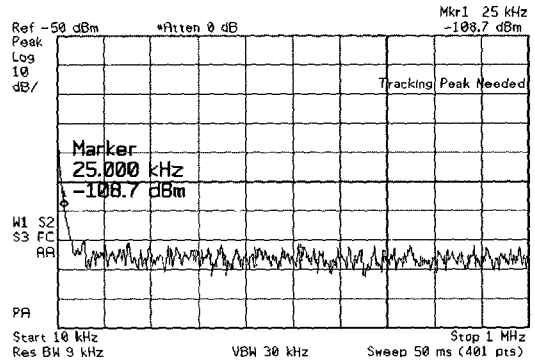
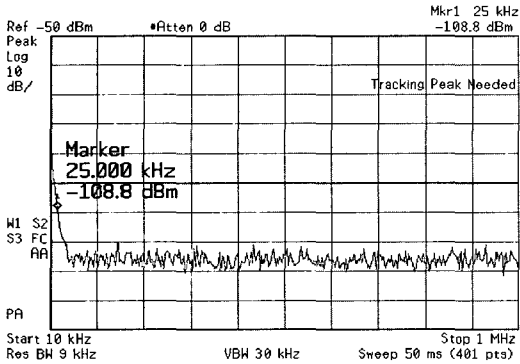


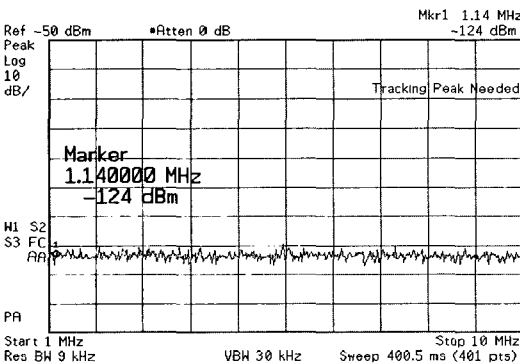
그림 13. 다단 설계 시 삽입손실($C_{LB}=30 \mu\text{F}$, $L=0.8 \text{ mH}$) CM
Fig. 13. Insertion loss department at multistage design ($C_{LB}=30 \mu\text{F}$, $L=0.8 \text{ mH}$) CM.

전 인덕터의 평균 C_s 값이 100 kHz 대역에서 120 pF 로 측정되었으나 개선 후 인덕터의 평균 C_s 값이 10 pF로 권선간의 분포용량이 감소되었음을 알 수 있었다.

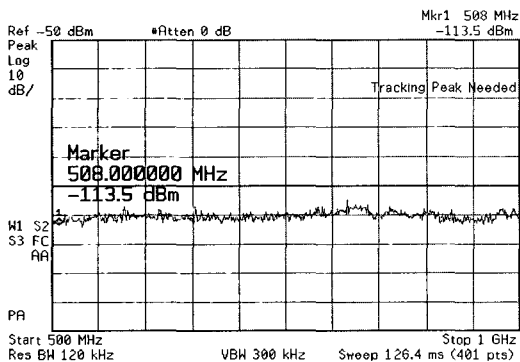
세 번째 방안으로는 각각의 소자를 분리하는 단



(a) 10 kHz~1 MHz



(b) 1 MHz~10 MHz



(c) 500 MHz~1 GHz

그림 14. 다단 설계시 삽입손실($C_{LB}=30 \mu\text{F}$, $L=0.8 \text{ mH}$) DM

Fig. 14. Insertion loss department at multistage design ($C_{LB}=30 \mu\text{F}$, $L=0.8 \text{ mH}$) DM.

별(段別) 차폐 방안의 개선이다. 그림 11(a)와 (b)는 기존의 일반적인 단별(段別) 차폐와 개선된 차폐 모형을 나타낸다. 본 논문에서는 철저한 단별 차폐를 위해 내부 커버와 외부 커버를 적용함으로써 각각의 신호가 옆단으로 전이되는 영향을 차단하였다.

위에서 설명한 세 가지 방안을 적용하여 2차 실험을 하였다. 그림 12와 표 2에서 필터 회로도와 용량 및 재질을 나타냈으며, 이 실험의 결과를 그림 13과 14에서 CM, DM 감쇠 특성곡선으로 나타냈다. 이전의 ferrite 코어재의 2.2 mH 인덕터 조합에 비해 현저하게 우수한 감쇠특성을 보이고 있다. 전반적인 주파수 특성곡선은 2.2 mH 조합에 비해 인덕턴스가 낮으므로 고주파 축으로 옮겨져 있으나 저주파에서 높은 Q 값이 나타나 특성곡선이 아래쪽으로 내려옴으로서 시뮬레이션에서는 만족하지 못한 10 kHz 대역의 감쇠량이 증가하여 CM, DM 양측에 있어 100 dB의 만족한 값을 얻을 수 있었다. 또한 100 MHz 이상의 대역에 있어서도 단별(段別) 차폐를 철저히 실시한 결과 1 GHz까지 100 dB의 고른 특성곡선을 나타냈다.

IV. 결 론

본 논문은 전자장비의 전원공급을 위해 필요한 AC 전력선으로 유입되는 10 kHz에서 1 GHz 대역의 불필요 전자파를 100 dB 이상 감쇠시키기 위해 광대역, 고감쇠 EMI 필터를 제작 및 측정하였다. 시뮬레이션을 이용하여 개별소자의 용량에 대한 분석과 2차에 거친 실험으로 만족스러운 성능을 얻을 수 있었다. 이는 전자전에서 발생할 수 있는 전원선을 통한 방해전파를 사전에 차단하는 동시에 TEMPEST 대응 EMI 필터에 대한 연구개발내용을 심화 발전시키면 장차 각종의 전자파 이용 첨단무기들에 대한 방호기술의 개발에 원용할 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] 최태인, 이응주, 간중만, "무기체계 EMI 대책", 대한전자공학회지, 23(10), pp. 103-111, 1996년 8월.
- [2] 김진성, 김양모, "통신용 전원의 EMI/EMC", 한국통신학회지, 15(8), 1998년 8월.

- [3] 박종연, 방선배, 조계현, "형광등용 전자식 안정기의 EMI 필터 개발", 대한전자공학회 학술대회, pp. 303-306, 2002년 6월.
- [4] 김동일, 구동우, 양은정, 김도연, "PDP용 광대역 EMC 필터의 설계 및 제작에 관한 연구", 한국전자과학기술논문지, 14(5), pp. 437-443, 2003년 5월.
- [5] 윤기방, 유린, 김기두, "페라이트 코어를 이용한 팩시밀리에서의 EMI 제거에 관한 연구", 대한전자과학기술논문지, 37(5), pp. 420-427, 2000년 12월.
- [6] S. Wakamutsu, F. Tilley, G. Hubers, Y. Sakamoto, T. Kaneko, H. Yamamoto, and Y. Kurokawa, "To reinforce immunities around GHz frequencies by

전원용 광대역, 고성능 EMI 필터 개발에 관한 연구

EMI noise suppression filters", *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp. 511-514, Aug. 1996.

- [7] F. Y. Shin, D. Y. Chen, Y. P. Yu, 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, 1996.
- [8] "MIL-STD-188-124, MIL-STD-1542A, MIL-HDBK-419A, MIL-STD-461C, MIL-STD-285", Department of defense, US Army.
- [9] 박선호, 전자회로의 노이즈 대책기술, 국제테크노정보연구소.

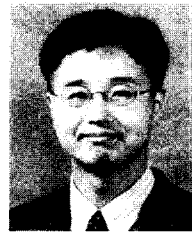
정 영 철



2001년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1993년 4월~현재: 국방품질관리소 선임연구원
 2002년 3월~현재: 연세대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] EMI/EMC, 마이크로

파 해석

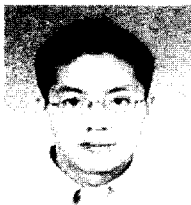
육 중 관



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년: University of Michigan 전기전자공학과 (공학박사)
 1997년 1월~1998년 10월: University of Michigan Research Fellow

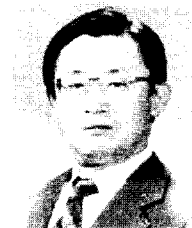
1998년 11월~1999년 2월: Qualcomm Inc. Senior Engineer
 1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 조교수
 2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 조교수
 [주 관심분야] 마이크로파 구조 해석 및 설계, RF MEMS, 박막공진 구조

이 경 원



2003년 2월: 대전대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 3월~현재: 연세대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] EMI/EMC, 마이크로파 해석, SAR

박 한 규



1964년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
 1968년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
 1975년: 불란서 파리 6대학 (공학박사)
 1979년~1980년: 스탠포드 대학교

환교수

1989년~1994년: 대통령 21세기 위원회 위원
 1995년~1997년: 정보통신부 전파위원회 위원장
 1976년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수
 1997년~현재: 한국과학재단 이사
 [주 관심분야] 마이크로파 소자, 스마트 안테나, 전파 전파, SAR