

향상된 EMI Filter 설계 및 제작

김동일¹⁾ · 구동우¹⁾ · 손준영¹⁾ · 배재영¹⁾ · 송재만²⁾

Design of Improved EMI Filter

Dong Il Kim¹⁾ · Dong Woo Ku¹⁾ · Jun Young Son¹⁾ · Jae Young Bae¹⁾ · Jae Man Song²⁾

ABSTRACT

As electronic industry and radio communication technologies progress, mankind enjoys its abundant life. On the other hand, it becomes possible that the electrical and electronic equipments are on light weight, small size, high speed, broad bandwidth, and operation by small energy. At the same time, many social problems like EMI/EMS by electromagnetic waves occur. Therefore, the organizations such as CISPR, FCC, ANCI, etc., have provided the standards of electromagnetic wave environments for the countermeasure of the EMC. In this paper, we designed and studied a new EMI filter for multi-tap in the frequency band from 150 kHz to 30 MHz.

1. 서론

전자산업 및 전파통신기술의 급속한 발달에 따라 인간의 생활은 풍요로워졌다. 또한 전기, 전자장치의 경량화, 소형화, 고속화와 광대역화가 가능하게 되고, 또한 이들을 적은 구동 에너지로도 동작시킬 수 있게 되었다. 반면에 이들은 인위적인 제어가 어려운 자연 현상을 원인으로 하는 미소한 전자파장해에도 민감하게 감응하여 오동작을 일으키기 쉽고, 또 많은 전기, 전자장치가 사회 각 분야에 보급됨에 따라 전자파 밀집도가 증가하여 전자파환경을 나쁘게 만드는 경우가 늘어나게 되었다. 열악한 환경에 설치된 기기가 원래의 목표로 동작치 않아 사회에 혼란을 일으키거나, 인체장해의 가능성이 제시되고 있는 등 많은 문제점들이 나타나고 있다. 이러한 전자파환경에 대한 관심과 보호대책이 대두되고 있으며, 여러 선진국에서 규제의 범위와 범규의 강화로 인해 또 다른 무역장벽의 고비를 맞고 있다. [1] 1970년부터 출발한 전자파환경대책의 관심과 연구는 그 동안 미국의 CISPR(국제무선장해특별위원회), FCC(미연방통신위원회)와 일본의 VCCI(정보처리장비 및 전파장해자주규제협의회) 및 유럽의 CENELEC(유럽 전자기술표준화위원회), CE mark 등 까다로운 규정과 엄격한 시험을 통해 자국의 제품은 물론 수입 제품의 모든 전자정보기기의 환경 평가를 실시하고 있다. [2] 우리나라에서도 1980년부터 꾸준히 준비하여 EMI(전자파장해)를 1996년 유럽연합에 이어 두 번째로 적용하였으며, 2000년 1월 EMS(전자파내성)를 시행하여 그 문제의 심각성을 인식하게 되었다. 본 논문에서는 기존의 EMI 대책용 전원필터보다 성능이 우수한 EMI 필터를 설계하여 멀티탭에 장착하여 제작하였으며, 이는 150 kHz~30 MHz의 주파수 대역에서 기존의 필터보다 10 dB~20 dB의 감쇠효과를 더 가지며 부하변동에 따른 좋은 특성을 나타냄을 확인하였다.

1) 한국해양대학교 전파공학과

2) 한국해양대학교 산업기술연구소

2. 모드 해석

전형적인 EMI 필터의 해석을 위하여 그림 1에 보인 바와 같은 그라운드 도체에 대하여 선로의 굵기가 같은 평형 2도선 선로를 고려하자. 선로 길이는 파장에 비해 긴 것으로 하며, 분포정수회로로 취급한다. 선로의 1차정수로서, 단위길이 당 저항을 R , 자기인덕턴스를 L , 상호 인덕턴스를 M , 자기정신용량을 C_1 , 상호정신용량을 C_{12} 라 한다. 그라운드 도체에 대해 평행한 2회선이므로, R , L , C_1 는 양선로 모두 동일하며, 그라운드 도체가 저항을 갖는 경우에는, 그것도 포함한 값으로 한다. 선로의 방향을 z 축으로 취하고, 전단($z=0$)에서 거리 z 의 점에 있어서 각 회선의 전류를 $I_1(z)$, $I_2(z)$, 전위가 0인 그라운드 도체에 대한 각 회선의 선압을 $V_1(z)$, $V_2(z)$ 라 하면,

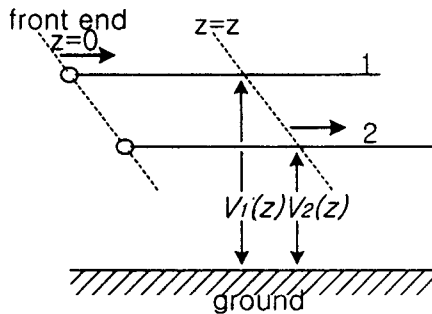


그림 1 평형 2선 전송 선로

$$-\frac{dV_1(z)}{dz} = Z_1 I_1(z) + Z_m I_2(z) \tag{1}$$

$$-\frac{dV_2(z)}{dz} = Z_m I_1(z) + Z_1 I_2(z)$$

$$-\frac{dI_1(z)}{dz} = Y_1 V_1(z) + Y_m V_2(z) \tag{2}$$

$$-\frac{dI_2(z)}{dz} = Y_m V_1(z) + Y_1 V_2(z)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{단, } Z &= R + j\omega L, Z_m = j\omega M \\ Y_1 &= j\omega C_1, Y_m = j\omega C_{12} \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

V_1 , V_2 , I_1 , I_2 를 취급하는 대신에, 이들을 1차 변환한 다음의 전압, 전류를 고려하자.

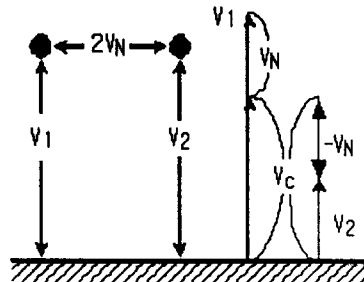


그림 2 common mode

3. 기존의 EMI 필터 분석

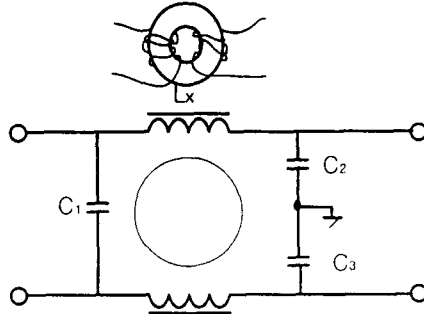
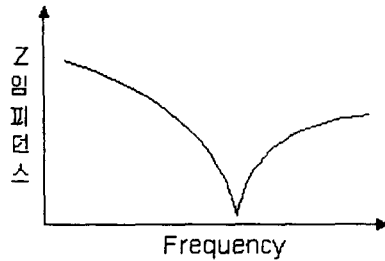
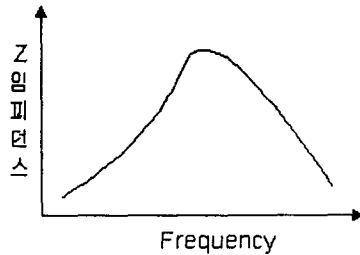


그림 4 기존의 EMI 필터



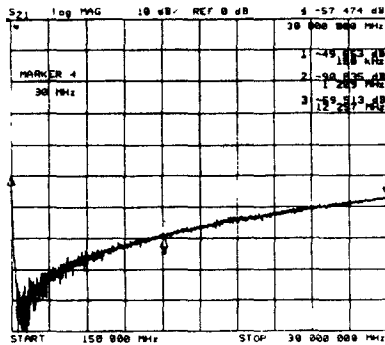
(a) Capacitor의 고주파 특성



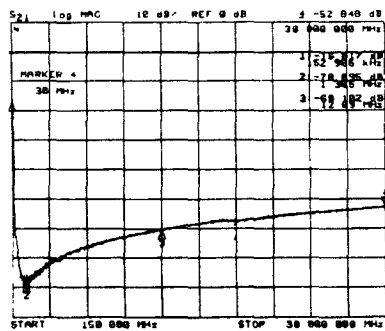
(b) Inductor의 고주파 특성

그림 5 EMI 구성 수동소자의 고주파 특성

기존의 EMI 필터는 전도성 불요 전자파를 차단하기 위해 그림 4와 같이 전형적인 지역통과 필터 구조를 사용하여 대책하고 있으나, 핵심 소자 중의 하나인 페라이트 코어의 모양이 환형이라 코일의 선 공간에서 발생하는 기생값을 해결하지 못해 공진현상이 발생하여 그림 5 (b)와 같이 인덕턴스 값이 달라지게 된다 그리고 C_1 , C_2 , C_3 컨덴서의 경우 원반형태와 적층형태를 주로 적용하여 설계하고 있으나 부하 조건과 컨덴서의 주파수 특성을 고려하여 제작해야 한다[4],[5] 그러나, 일반적으로 인덕턴스의 공진현상과 컨덴서의 주파수 특성을 고려하지 않고 환형형태를 적용하여 제작된 필터의 주파수에 따른 감쇠특성은 450 kHz에서 30 MHz의 주파수 대역에서 20~40 dB 정도이다. 따라서 현재 전기전자 회로 및 장치에 장착되고 있는 국내·외 EMI 필터와 상술된 부분을 고려한 필터를 제작하여 CISPR 규정을 적용하여 150 kHz~30 MHz의 범위에서 CM, DM으로 나누어 그 특성을 분석하였다

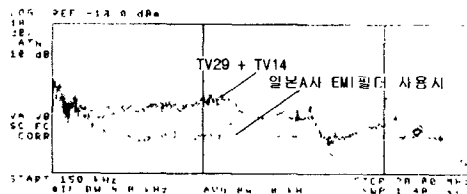


(a) CM 투과계수

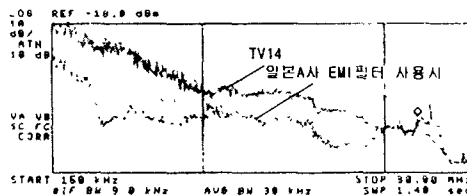


(b) DM 투과계수

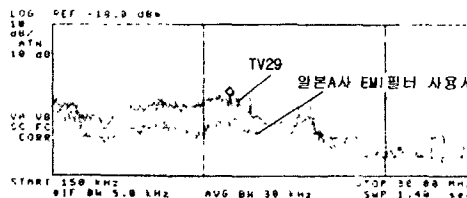
그림 6 일본A사 EMI 필터의 투과계수



(a) TV 29인치와 TV 14인치 부하시

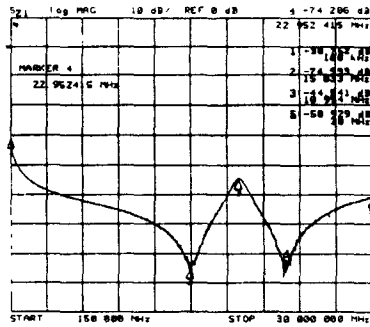


(b) TV 14인치 부하시

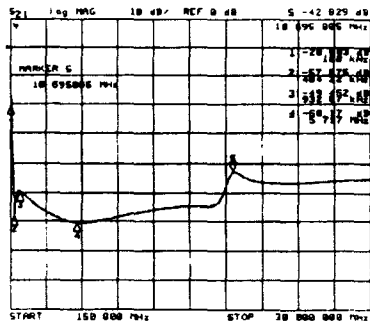


(c) TV 29인치 부하시

그림 7 일본 A사 EMI 필터의 전도노이즈 측정결과

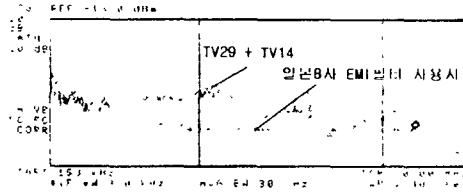


(a) CM 투과계수

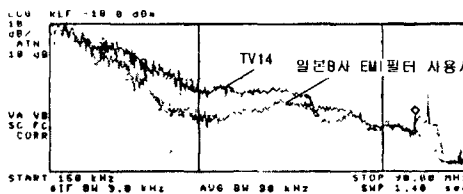


(b) DM 투과계수

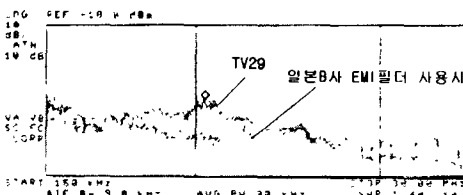
그림 8 일본B사 EMI 필터의 투과계수



(a) TV 29인치와 TV 14인치 부하시

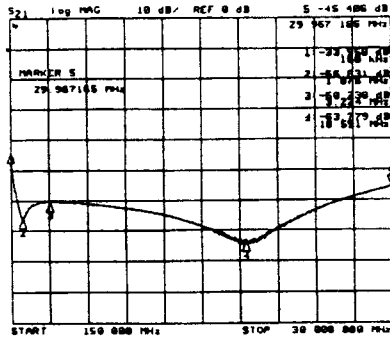


(b) TV 14인치 부하시

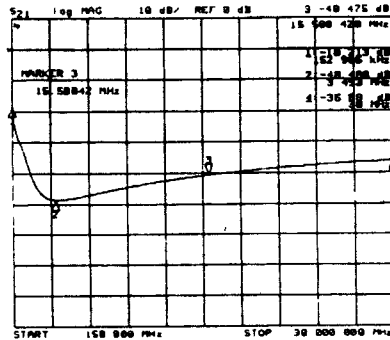


(c) TV 29인치 부하시

그림 9 일본 B사 EMI 필터의 부하변동에 따른 전도노이즈 측정결과

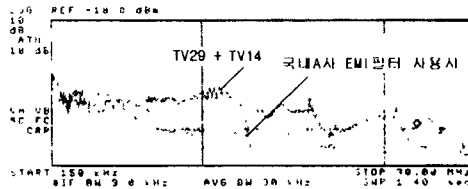


(a) CM 투과계수

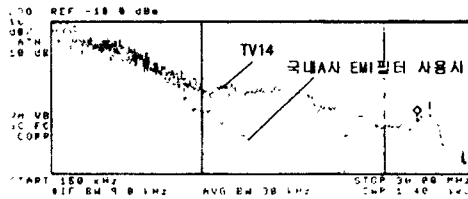


(b) DM 투과계수

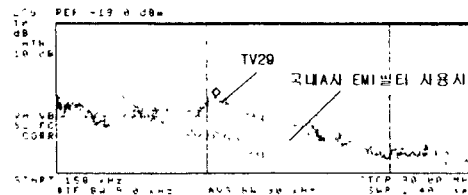
그림 10 국내A사 EMI 필터의 투과계수



(a) TV 29인치와 TV 14인치 부하시

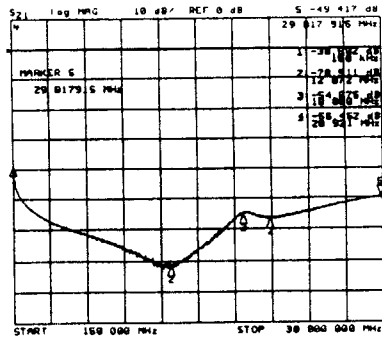


(b) TV 14인치 부하시

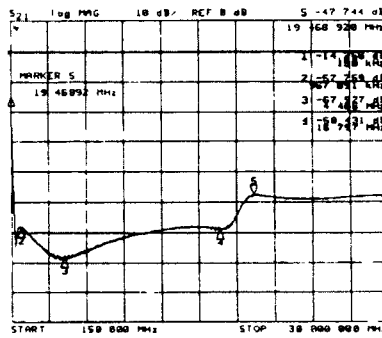


(c) TV 29인치 부하시

그림 11 국내 A사 EMI 필터의 부하변동에 따른 전도노이즈 측정결과

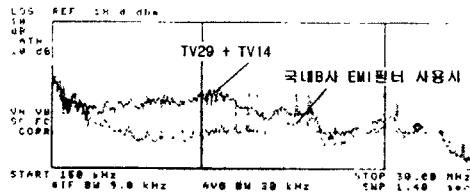


(a) CM 투과계수

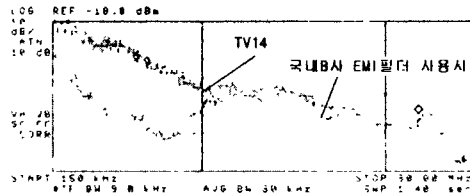


(b) DM 투과계수

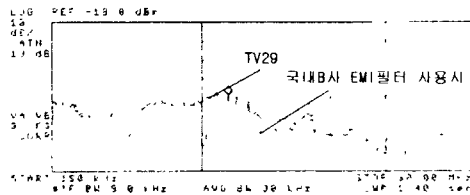
그림 12 국내 B사 EMI 필터의 투과계수



(a) TV 29인치와 TV 14인치 부하시



(b) TV 14인치 부하시



(c) TV 29인치 부하시

그림 13 국내 B사 EMI 필터의 부하변동에 따른 전도노이즈 측정결과

그림 6, 8, 10, 12는 국내·외 전원선 필터들의 투과계수를 측정된 것이고 그림 7, 9, 11, 13은 이러한 필터들에 대한 EMI를 분석을 한 것이다. 여기서 그림 7, 9, 11, 13의 각 (a)는 전자파장해 시험을 통과한 29인치 TV와 전자파장해 시험을 통과하지 않은 14인치 TV를 측정시료(EUT)로 두 개의 부하 조건에서의 EMI 특성이고 각 그림(b)는 무대책의 EUT로 측정된 EMI 특성이다. 그리고 그림(c)는 대적된 29인치 TV에 대한 EMI 특성을 나타내고 있다

그림 7(a), (b), (c)의 경우 20 dB~75 dB로 우수한 감쇠 특성을 나타내고 있으나 국제 기준에는 미치지 못하고 있다 반면 그림 9(a), (b), (c)의 경우 5 dB~75 dB의 감쇠 특성을 나타내고 있으나 외국의 우수제품임에도 불구하고 부하 변동에 따른 특성이 좋지 못하다 국내 EMI 필터의 경우 그림 11, 그림 13의 분석 결과와 같이 감쇠 특성이 각각 10 dB~75 dB 및 20 dB~75 dB의 서역 및 고역으로 구분되어 특성을 나타내고 있으며 국제 기준에 만족 못하는 EMI 필터가 상당수에 이르고 있다

4. 향상된 EMI 필터의 제작 및 분석

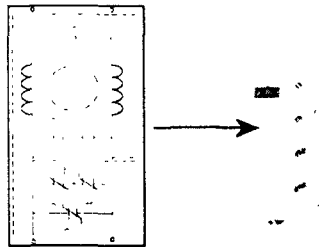


그림 14 설계·제작된 EMI 필터 시작품



그림 15 시작품 EMI 측정 set-up(부하 : TV)

그림 14는 실제로 제작한 EMI 필터의 구성도를 나타내었으며, 그림 15는 제작된 EMI 필터의 EMI 측정 시스템의 사진이다.

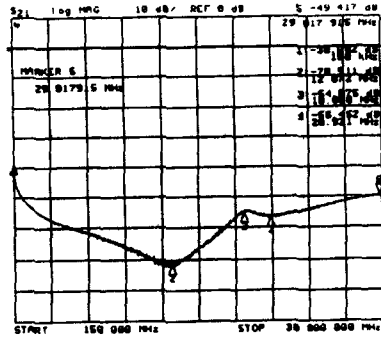
제작된 EMI 필터의 구성 소자의 규격은 다음과 같다.

common-mode choke coil · 2.2 mH

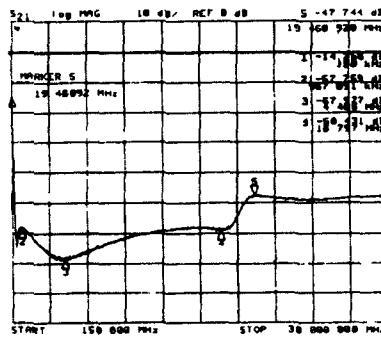
C_1 · 마일러 Type 33 μF

C_2, C_3 · 적층 Type 0.1 μF

V_1, V_2, V_3 · 바리캡

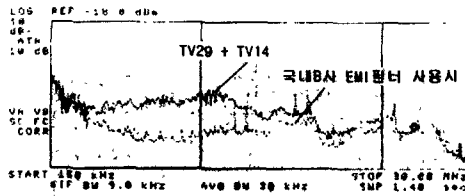


(a) CM 투과계수

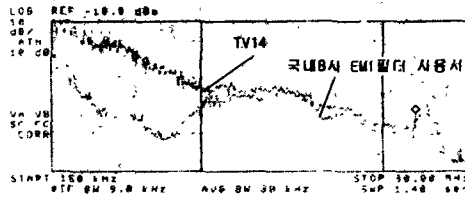


(b) DM 투과계수

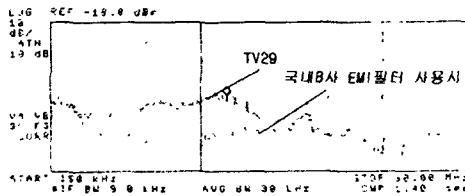
그림 12 국내 B사 EMI 필터의 투과계수



(a) TV 29인치와 TV 14인치 부하시



(b) TV 14인치 부하시



(c) TV 29인치 부하시

그림 13 국내 B사 EMI 필터의 부하변동에 따른 전도노이즈 측정결과

그림 6, 8, 10, 12는 국내·외 전원선 필터들의 투과계수를 측정된 것이고 그림 7, 9, 11, 13은 이러한 필터들에 대한 EMI를 분석을 한 것이다. 여기서 그림 7, 9, 11, 13의 각 (a)는 전자파장해 시험을 통과한 29인치 TV와 전자파장해 시험을 통과하지 않은 14인치 TV를 측정시료(EUT)로 두 개의 부하 조건에서의 EMI 특성이고 각 그림(b)는 무대책의 EUT로 측정된 EMI 특성이다. 그리고 그림(c)는 대책된 29인치 TV에 대한 EMI 특성을 나타내고 있다.

그림 7(a), (b), (c)의 경우 20 dB~75 dB로 우수한 감쇠 특성을 나타내고 있으나 국제 기준에는 미치지 못하고 있다. 반면 그림 9(a), (b), (c)의 경우 5 dB~75 dB의 감쇠 특성을 나타내고 있으나 외국의 우수제품임에도 불구하고 부하 변동에 따른 특성이 좋지 못하다. 국내 EMI 필터의 경우 그림 11, 그림 13의 분석 결과와 같이 감쇠 특성이 각각 10 dB~75 dB 및 20 dB~75 dB의 저역 및 고역으로 구분되어 특성을 나타내고 있으며 국제 기준에 만족 못하는 EMI 필터가 상당수에 이르고 있다.

4. 향상된 EMI 필터의 제작 및 분석

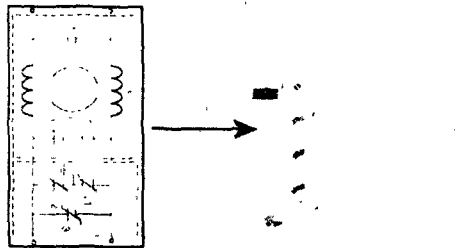


그림 14 설계·제작된 EMI 필터 시제품

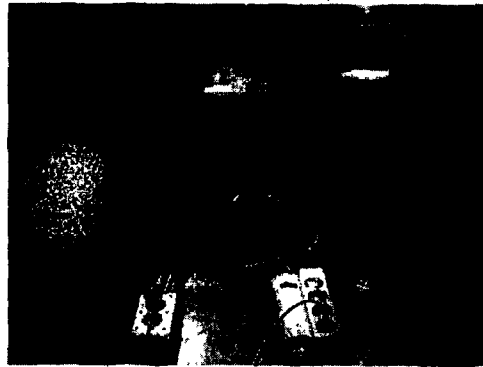


그림 15 시제품 EMI 측정 set-up(부하 : TV)

그림 14는 실제로 제작한 EMI 필터의 구성도를 나타내었으며, 그림 15는 제작된 EMI 필터의 EMI 측정 시스템의 사진이다.

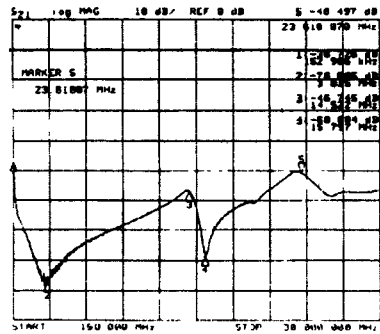
제작된 EMI 필터의 구성 소자의 규격은 다음과 같다.

common-mode choke coil : 2.2 mH

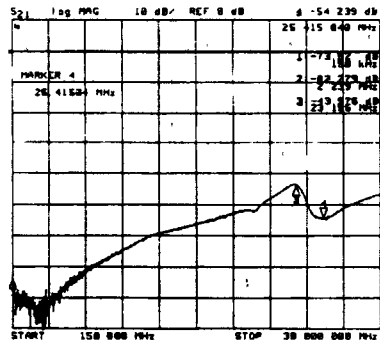
C_1 : 마일러 Type 3.3 μ F

C_2, C_3 : 적층 Type 0.1 μ F

V_1, V_2, V_3 :バリキャ

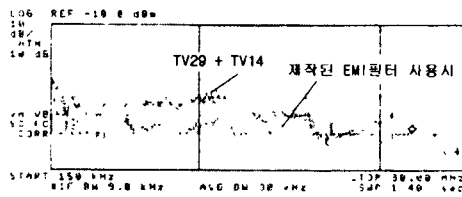


(a) CM 투과계수

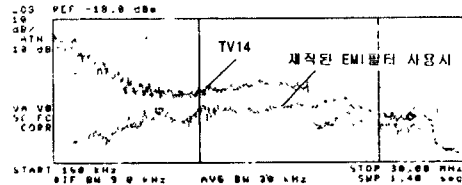


(b) DM 투과계수

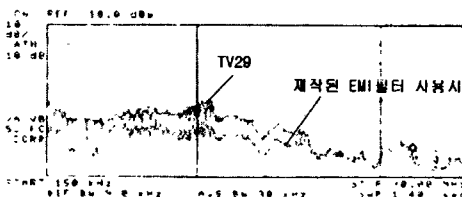
그림 16 제작된 EMI 필터의 투과계수



(a) TV 29인치와 TV 14인치 부하시



(b) TV 14인치 부하시



(c) TV 29인치 부하시

그림 17 제작된 EMI 필터의 부하변동에 따른 전도노이즈 측정결과

그림 16은 제작된 필터의 CM 및 DM의 투과 계수를 나타내고, 그림 17 (a)는 전자과장해 시험을 통과한 TV 29인치와 전자과장해 시험을 통과하지 않은 TV 11인치를 EMI로 두 개의 부하조건에서의 감쇠특성으로 50 dB~70 dB를 나타내었고, (b)는 무대책의 TV 14인치에서 50 dB~75 dB의 감쇠 특성이 얻어졌다. 그리고 그림 17(c)는 대책된 TV 29인치에서의 감쇠특성은 55 dB~75 dB를 나타내었다. 국내·외 EMI 필터들과 본 연구에서 제작된 EMI 필터의 투과계수를 비교하여 표 1에 나타내었다. 제작된 EMI 필터는 국내 제품보다 20 dB 이상 우수하고, 국외의 우수한 제품과 유사한 정도의 성능을 나타냄을 알 수 있다. 그리고 부하변동에 따른 전도노이즈는 필터를 삽입하지 않았을 경우 CISPR 규격을 만족하고 있지 못하나 필터를 삽입하였때 CISPR 규격의 전대역(150 kHz~30 MHz)을 만족하는 우수한 특성을 나타내었다.

표 1. 국내 EMI 필터 투과계수

	국내 A	국내 B	국내 C	국내 D	국내 E	국내 F	국내 G	국외 A	국외 B	국외 C	제작품
CM	-58	-48	-50	-54	-52	-48	-49	-82	-54	-49	-76
DM	-68	-45	-48	-63	-56	-53	-55	-73	-62	-58	-72

* 기준 주파수 3 MHz, 단위 dB

5. 결론

기존의 EMI 필터는 전도성 불요 전자과를 차단하기 위해 라인필터를 사용하여 대책하고 있으나, 페라이트코어의 공진현상과 컨덴서의 기생효과에 의해 광대역에서의 불요 전자과를 차단은 어려움이 있다[6],[7]. 본 논문에서는 기존의 EMI 필터의 성능을 분석하고 개선된 EMI 필터를 사용하여 150 kHz~30 MHz 대역에서 기존의 EMI 필터보다 10 dB~20 dB의 감쇠 효과를 더 나타내는 향상된 EMI 필터를 개발하였다. 또한, 멀티탭에 장착하여 부하 변동에도 특성이 좋은 EMI 필터를 제작하였다.

참고문헌

[1] Henry W. Ott, *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems*, John Wiley & Sons, pp. 137~157, 1988.
 [2] Clayton R. Paul, *Introduction to Electro-magnetic Compatibility*, John Wiley & Sons, pp. 457~487, 1992.
 [3] 김재이, 환경전자공학, 도서출판 동서교역, pp. 157~160, 1994.
 [4] V. Prasad Kodali, *Engineering Electromagnetic Compatibility*, IEEE PRESS, pp. 171~176, 1996.
 [5] Richard Lee Ozenbaugh, *EMI Filter Design*, Marcel Dekker, Inc., pp. 56~100, 1996
 [6] 민경찬, 노이즈 종합 대책, 성안당, pp. 117~128, 1991.
 [7] 김형근, 배대환, 민경찬, 김동일, EMC 대책용전원케이블의 개발, 한국통신학회·대한전자공학회 부산·경남 지부 춘계학술발표회 논문집, pp. 107~113, 1995. 6.