
개선된 EMI Filter 설계 및 제작

배대환*, 구동우**, 김동일**, 송재만***

Design of Improved EMI Filter

Dae-Hwan Bae*, Dong Woo Ku**, Dong Il Kim**, and Jae Man Song***

요약

전자산업 및 전파통신기술의 급속한 발달에 따라 전기, 전자장치의 경량화, 소형화, 저전력화와 더불어 이들은 인위적인 제어가 어려운 자연 현상에 의한 미소한 전자파장해에도 민감하게 감응하여 오동작을 일으키는 사례가 늘고 있다. 본 논문에서는 이에 대한 개선책의 하나로 기존의 EMI 필터보다 150 kHz~30 MHz 대역에서 10 dB~20 dB 감쇠 효과를 더 가지는 개선된 EMI 필터를 설계 제작하여 전자파 노이즈가 내부 또는 외부로 유출·입 되는 것을 방지하고 부하 변동에 따라 특성의 변화가 없는 EMI 필터로 설계·제작하였다.

ABSTRACT

As electronic industry and radio communication technologies progress, the electrical and electronic equipments are lightened, minimized, and operated by low power. At the same time, these equipments react sensitively by electromagnetic wave noise. It is a origine these equipments to wrong-operation. In this paper, we forcused on the design and preperation condition of a advanced EMI filter. This filter sowded superior attenuation effect of 10 dB~20 dB compare with typical filter in the range of frequency from 150 kHz to 30 MHz and superior character over the variation of a load.

1. 서론

전자기기의 발달로 전자파환경에 대한 관심과 보호 대책이 대두 되고 있으며, 여러 선진국에서 규제의 범위와 법규의 강화로 인해 또 다른 무역장벽의 고비를 맞고 있다[1].

1970년부터 출발한 전자파환경대책의 관심과 연구는 그 동안 미국의 CISPR(국제 무선장해 특별위원회), FCC(미연방 통신위원회)와 일본의 VCCI(정보처리 장비 및 전자장해 자주 규제협의회) 및 유럽의 CEN ELEC(유럽 전자기술 표준화위원회)의 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.

* 한국해양대학교 전자통신공학과
*** 산업기술연구소

** 한국해양대학교 전파공학과
접수일자: 2001. 7. 27

II. 모드 해석

전형적인 EMI 필터의 해석을 위하여 그림 1에 보인 바와 같은 그라운드 도체에 대하여 선로의 굵기가 같이 평행 2선 전송선로를 고려하자[3]. 선로 길이는 파장에 비해 긴 것으로 하며, 분포정수회로로 취급한다. 선로의 1차정수로서, 단위길이 당 저항을 R , 자기인덕턴스를 L , 상호 인덕턴스를 M , 자기정전용량을 C_1 , 상호정전용량을 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 전압을 $V_1(z), V_2(z)$ 라 하면,

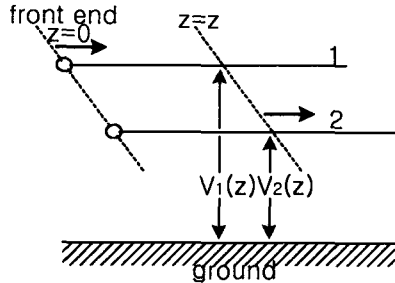


그림 1. 평행 2선 전송 선로
Fig. 1 Transmission line of parallel two-wire line

$$\left. \begin{aligned} -\frac{dV_1(z)}{dz} &= Z_1 I_1(z) + Z_m I_2(z) \\ -\frac{dV_2(z)}{dz} &= Z_m I_1(z) + Z_1 I_2(z) \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

$$\left. \begin{aligned} -\frac{dI_1(z)}{dz} &= Y_1 V_1(z) + Y_m V_2(z) \\ -\frac{dI_2(z)}{dz} &= Y_m V_1(z) + Y_1 V_2(z) \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{단, } Z &= R + j\omega L, \quad Z_m = j\omega M \\ Y_1 &= j\omega C_1, \quad Y_m = j\omega C_{12} \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

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

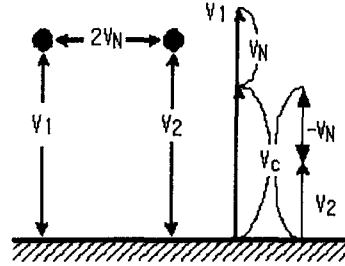


그림 2. Common mode 전류
Fig. 2 Common mode current

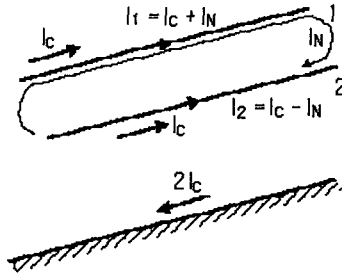


그림 3. Normal mode 전류
Fig. 3 Normal mode current

$$\left. \begin{aligned} V_C(z) &= [V_1(z) + V_2(z)]/2, \\ V_N(z) &= [V_1(z) - V_2(z)]/2, \\ I_C(z) &= [I_1(z) + I_2(z)]/2, \\ I_N(z) &= [I_1(z) - I_2(z)]/2 \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

그림 2 및 3에서 보는 바와 같이 V_C 는 도선과 그라운드 도체간의 전압이며, 도선 1, 2에 동상으로 가한 전압, V_N 은 도선간 전압의 1/2, I_C 는 양 회선을 동상으로 흘러 그라운드 도체를 귀로로 한 전류, I_N 은 양 회선간을 환류하는 전류이다. 위 식(1.1)~(1.4)로부터,

$$\left. \begin{aligned} V_1(z) &= V_C(z) + V_N(z), \\ V_2(z) &= V_C(z) - V_N(z), \\ I_1(z) &= I_C(z) + I_N(z), \\ I_2(z) &= I_C(z) - I_N(z). \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

$$\left. \begin{aligned} -[dV_C(z)/dz] &= (Z_1 + Z_m)I_C(z) \\ -[dI_C(z)/dz] &= (Y_1 + Y_m)V_C(z) \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

$$\left. \begin{aligned} -[dV_N(z)/dz] &= (Z_1 - Z_m)I_M(z) \\ -[dI_N(z)/dz] &= (Y_1 - Y_m)V_N(z) \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

로 되며, (V_C, I_C) 조와 (V_N, I_N) 조로 분리한다. 즉, (V_C, I_C) 와 (V_N, I_N) 는 서로 독자적으로 전송됨을 알 수 있다. (V_C, I_C) 에 의한 전파 모드는 커먼모드(Common Mode; CM)라 하고, (V_N, I_N) 에 의한 전파 모드는 노멀모드(Normal Mode; NM) 또는 차동모드(Differential Mode; DM)라 한다. 식(1.6)과 식(1.7)로부터,

$$\left. \begin{aligned} d^2V_C(z)/dz^2 &= (Z_1 + Z_m)(Y_1 + Y_m)V_C(z) \\ d^2I_C(z)/dz^2 &= (Z_1 + Z_m)(Y_1 + Y_m)I_C(z) \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

$$\left. \begin{aligned} d^2V_N(z)/dz^2 &= (Z_1 - Z_m)(Y_1 - Y_m)V_N(z) \\ d^2I_N(z)/dz^2 &= (Z_1 - Z_m)(Y_1 - Y_m)I_N(z) \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

커먼모드의 전파정수를 γ_C , 노멀모드의 전파상수를 γ_N 이라고 하면,

$$\left. \begin{aligned} V_C(z) &= V_C^{(+)}\epsilon^{-\gamma_C z} + V_C^{(-)}\epsilon^{\gamma_C z} \\ I_C(z) &= I_C^{(+)}\epsilon^{-\gamma_C z} + I_C^{(-)}\epsilon^{\gamma_C z} \\ \gamma_C &= \sqrt{(Z_1 + Z_m)(Y_1 + Y_m)} \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

$$\left. \begin{aligned} V_N(z) &= V_N^{(+)}\epsilon^{-\gamma_N z} + V_N^{(-)}\epsilon^{\gamma_N z} \\ I_N(z) &= I_N^{(+)}\epsilon^{-\gamma_N z} + I_N^{(-)}\epsilon^{\gamma_N z} \\ \gamma_N &= \sqrt{(Z_1 - Z_m)(Y_1 - Y_m)} \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

단, $V_C^{(+)}, V_C^{(-)}, I_C^{(+)}, I_C^{(-)}, V_N^{(+)}, V_N^{(-)}, I_N^{(+)}, I_N^{(-)}$ 는 선로단 조건으로 정해지는 정수이다.

윗 식에서 V_C, I_C, V_N, I_N 의 제1항은 $+z$ 방향에의 진행파, 제2항은 $-z$ 방향에의 진행파이다. 이들 진행파에 대해서,

$$\left. \begin{aligned} I_C^{(+)} &= V_C^{(+)} / Z_{OC}, \quad I_C^{(-)} = -V_C^{(-)} / Z_{OC} \\ I_N^{(+)} &= V_N^{(+)} / Z_{ON}, \quad I_N^{(-)} = -V_N^{(-)} / Z_{ON} \end{aligned} \right\} \quad (1.12)$$

여기서, 커먼모드의 특성 임피던스 Z_{OC} 는

$$Z_{OC} = \sqrt{(Z_1 + Z_m) / (Y_1 + Y_m)} \quad (1.13)$$

이며, 노말모드의 특성 임피던스 Z_{ON} 은

$$Z_{ON} = \sqrt{(Z_1 - Z_m) / (Y_1 - Y_m)} \quad (1.14)$$

이다. 따라서, 식(1.10)과 식(1.11)는,

$$\left. \begin{aligned} V_C(z) &= V_C^{(+)}\epsilon^{-\gamma_C z} + V_C^{(-)}\epsilon^{\gamma_C z} \\ I_C(z) &= [I_C^{(+)}\epsilon^{-\gamma_C z} + I_C^{(-)}\epsilon^{\gamma_C z}] / Z_{OC} \end{aligned} \right\} \quad (1.15)$$

$$\left. \begin{aligned} V_N(z) &= V_N^{(+)}\epsilon^{-\gamma_N z} + V_N^{(-)}\epsilon^{\gamma_N z} \\ I_N(z) &= [I_N^{(+)}\epsilon^{-\gamma_N z} + I_N^{(-)}\epsilon^{\gamma_N z}] / Z_{ON} \end{aligned} \right\} \quad (1.16)$$

III. 기존 EMI Filter의 분석

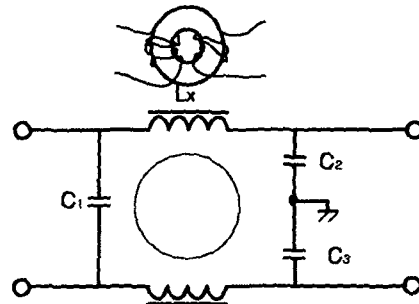


그림 4. 기존의 EMI Filter
Fig. 4 A typical EMI filter topology

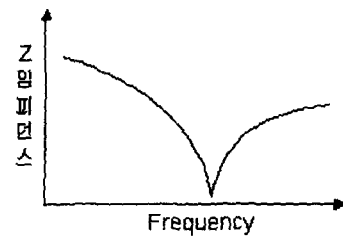


그림 5(a). Capacitor의 고주파 특성
Fig. 5(a) High frequency characteristics of capacitor

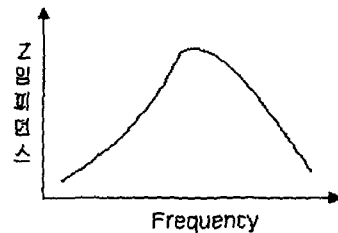


그림 5(b). Inductor의 고주파 특성
Fig. 5(b) High frequency characteristics of inductor.

기존의 EMI필터는 전도성 불요 전자파를 차단하기 위해 그림 4와 같이 전형적인 저역통과 필터 구조를 사용하여 대책하고 있으나, 핵심 소자 중의 하나인 페라이트 코어의 모양이 환형이라 코일의 선간에서 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]. 따라서, 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 필터를 CISPR 규정을 적용하여 150 kHz~30 MHz의 범위에서 CM, DM으로 나누어 그 특성을 분석하였다.

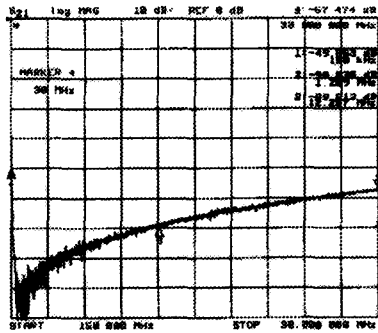


그림 6(a). EMI 필터의 CM 측정(일본A사)
Fig. 6(a) CM test of EMI filter(A made in Japan)

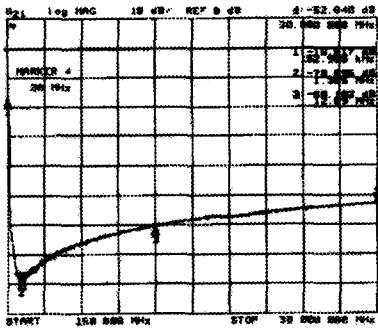
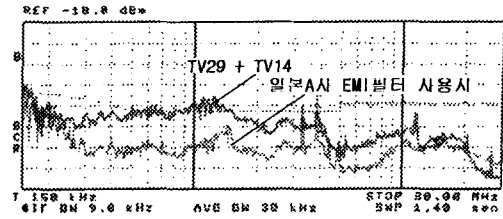
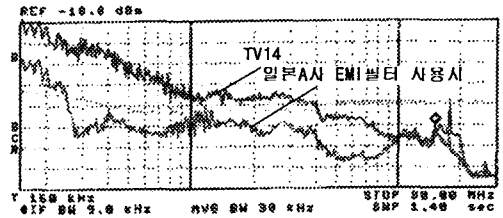


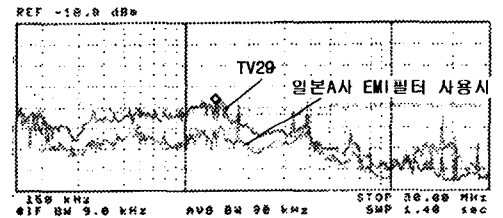
그림 6(b). EMI 필터의 DM 측정(일본A사)
Fig. 6(b) DM test of EMI filter(A made in Japan)



(a)



(b)



(c)

그림 7. 기존의 EMI 필터의 EMI 측정결과(일본A사)
Fig. 7 EMI test result of typical EMI filter(A made in Japan)

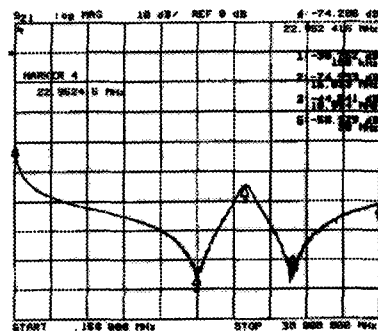


그림 8(a). EMI 필터의 CM 측정(일본 B사)
Fig. 8(a) CM test of EMI filter(B made in Japan)

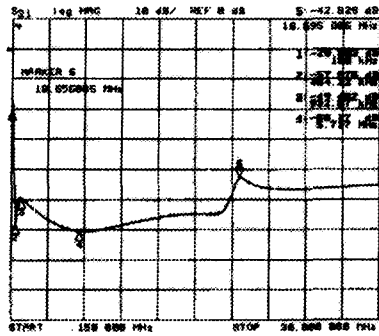


그림 8(b). EMI 필터의 DM 측정(일본 B사)
Fig. 8(b) DM test of EMI filter(B made in Japan)

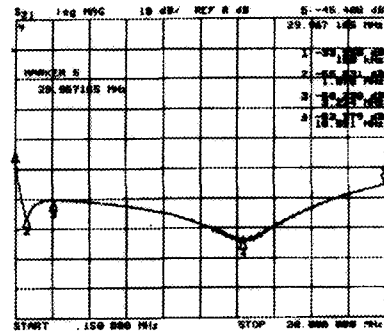
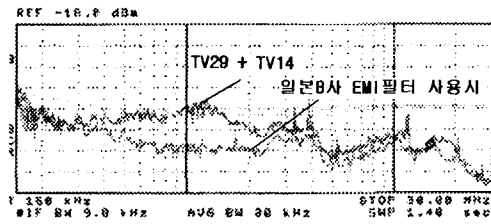
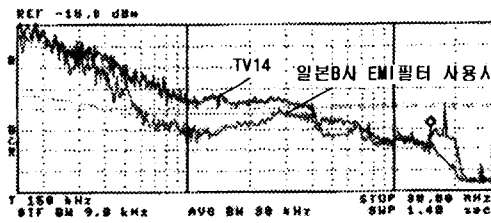


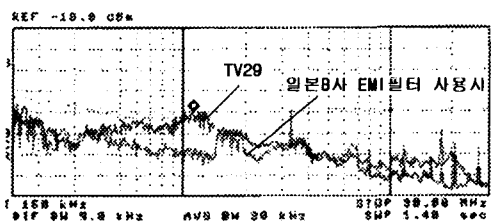
그림 10(a). EMI 필터의 CM 측정(국내A사)
Fig. 10(a) CM test of typical EMI filter(A made in Korea)



(a)



(b)



(c)

그림 9. 기존의 EMI 필터의 EMI 측정결과(일본 B사)
Fig. 9 EMI test result of typical EMI filter(B made in Japan)

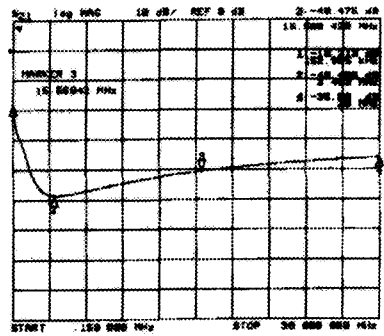
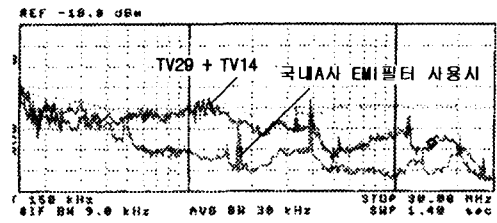
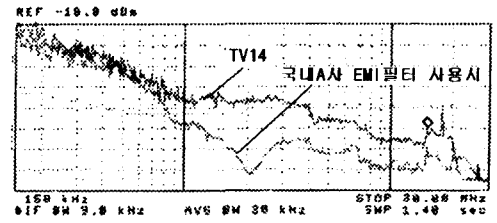


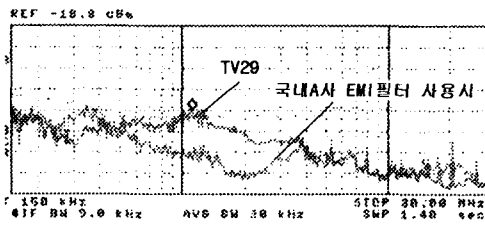
그림 10(b). EMI 필터의 DM 측정(국내A사)
Fig. 10(b) DM test of typical EMI filter(A made in Korea)



(a)



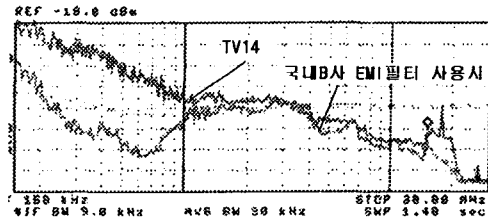
(b)



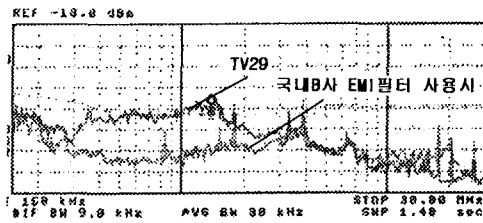
(c)

그림 11. EMI 필터의 EMI 측정결과(국내A사)

Fig. 11 EMI test result of typical EMI filter(A made in Korea)



(b)



(c)

그림 13. EMI 필터의 EMI 측정결과(국내B사)

Fig. 13 EMI test result of typical EMI filter(B made in Korea)

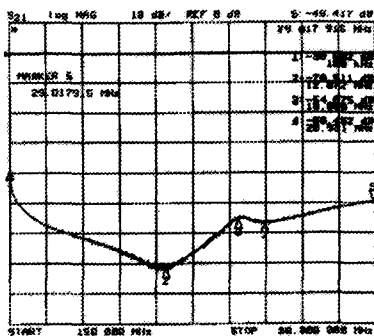


그림 12(a). EMI 필터의 CM 측정(국내B사)

Fig. 12(a) CM test of typical EMI filter(B made in Korea)

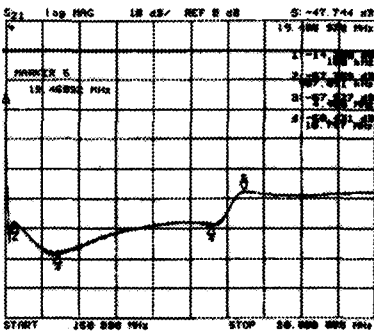
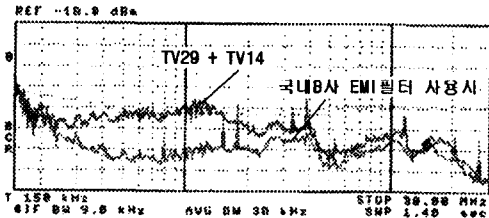


그림 12(b). EMI 필터의 DM 측정(국내B사)

Fig. 12(b) DM test of typical EMI filter(B made in Korea)



(a)

그림 6, 8, 10, 12는 국내·외 전원선 필터들의 삽입 손실을 측정하고 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)로한 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 지역 및 고역으로 구분되어 특성을 나타내고 있으며 국제 기준에 만족 못하는 EMI 필터가 상당수에 이르고 있다.

V. 다기능 EMI Filter 제작 및 분석

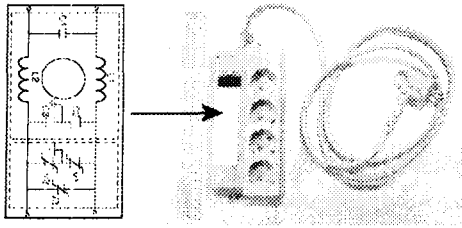


그림 14. 개발된 EMI 필터 사진
Fig. 14 Photographic of development EMI filter

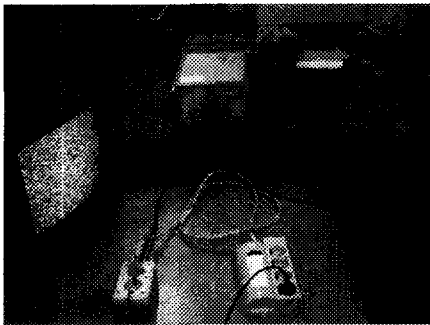


그림 15. 개발된 EMI 필터 측정 (부하 : TV)
Fig. 15 Development EMI filter measurement (load : TV)

그림 14는 실제로 제작한 다기능 EMI 필터의 구성도를 나타내었으며, 그림 15는 제작된 다기능 EMI 필터의 EMI 측정 시스템의 사진이다. 제작된 EMI 필터의 구성 소자의 규격은 다음과 같다.

- Common-mode choke coil : 2.2 mH
- C_1 : 가일러 Type 33 μF
- C_2, C_3 : 적층 Type 0.1 μF
- V_1, V_2, V_3 : 바리캡

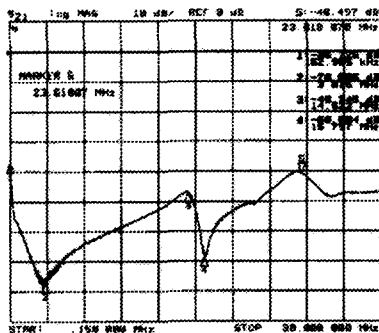


그림 16(a). 개발된 필터의 CM 측정
Fig. 16(a) CM test of development EMI filter

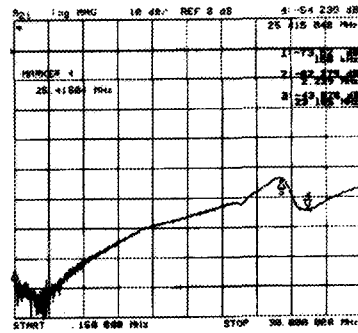
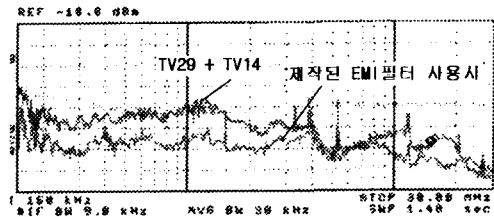
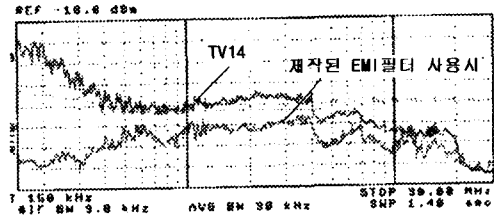


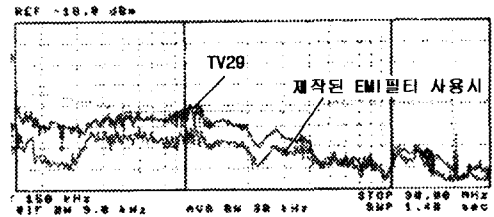
그림 16(b). 개발된 필터의 DM 측정
Fig. 16(b) DM test of development EMI filter



(a)



(b)



(c)

그림 17. 개발된 필터의 EMI 측정결과
Fig. 17 EMI test result of development EMI filter

그림 16은 제작된 필터의 CM 및 DM의 투과 계수를 나타내고, 그림 17 (a)는 전자파장해 시험을 통과한 TV 29 인치와 전자파장해 시험을 통과하지 않은 TV 14 인치를 EUT로 두 개의 부하조건에서의 감쇠특성으로 50 dB~70 dB를 나타내었고, (b)는 무대책의 TV 14인치에서 50 dB~75 dB의 감쇠특성을 나타내고 있

다. 그리고 그림 17(c)는 대책된 TV 29인치에서의 감쇠특성으로 55 dB~75 dB를 나타내고 있다. 국내·외 EMI 필터들과 본 연구에서 제작된 EMI 필터의 삽입손실을 비교하여 표 1과 2에 나타낸다. 제작된 EMI 필터는 국내 제품보다 20 dB 이상 우수하고, 국외의 우수한 제품과 유사한 정도의 성능을 나타냄을 알 수 있다.

표 1. 국내 EMI 필터 삽입손실
Table 1. Made in Korea EMI filter insertion loss

	국내A	국내B	국내C	국내D	국내E	국내F	국내G
CM	-58	-48	-50	-54	-52	-48	-49
DM	-68	-45	-48	-63	-56	-53	-55

* 기준 주파수 3 MHz, 단위 dB

표 2. 제작품과 국외 EMI 필터 삽입손실
Table 2. Development and abroad EMI filter insertion loss

	제작품	국외 A	국외 B	국외 C
CM	-76	-82	-54	-49
DM	-72	-73	-62	-58

* 기준 주파수 3 MHz, 단위 dB

V. 결론

기존의 EMI 필터는 전도성 불요 전자파를 차단하기 위해 라인필터를 사용하여 대책하고 있으나, 페라이트코어의 공진현상과 컨덴서의 기생효과에 의해 광대역에서의 불요 전자파 차단에 어려움이 있다[6], [7]. 따라서 본 논문에서는 기존의 EMI 필터의 성능을 분석하고 새로운 제안을 통해 기존의 EMI 필터보다 150 kHz~30 MHz 대역에서 10 dB~20 dB의 감쇠 효과를 더 나타내는 새로운 EMI 필터를 개발하였다. 또한, 이를 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 Electromagnetic Compatibility", John Wiley & Sons, pp. 457~487, 1992.
 [3] 김재이, "환경전자공학", 도서출판 동서교역, pp. 157~160, 1994.
 [4] V. Prasad Kodal, "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·경남지부 춘계학술발표회 논문집, pp. 107~113, 1995. 6.



배대환(Dae-Hwan Bae)

1995년 2월 : 부경대학교 제어계측공학과(공학사)
 1997년 8월: 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)
 2001년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 박사과정 수료

* 관심분야: EMI/EMC 분석 및 대책, 전자장 수치해석, M/W회로 설계



구동우(Dong Woo Ku)

2001년 2월: 동의대학교 전자통신공학과(공학사)
 2001년 3월~현재: 한국해양대학교 대학원 전파공학과 석사과정

* 관심분야: EMI/EMC 분석 및 대책, M/W회로설계



김동일(Dong Il Kim)

1975년 2월: 한국해양대학교 항해학과(공학사)

1977년 2월: 한국해양대학교 대학원 전파공학전공(공학석사)

1984년 3월: 일본 동경공업대학원 전기전자공학과(공학박사)

1975년 3월~1993년 9월: 한국해양대학교 조교~부교수

1993년 10월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 교수

1990년 3월 10일: 산학협동상 대상 수상

1993년 12월 11일: 한국전자파학회 학술상 수상

1995년 4월 21일: 과학기술진흥 대통령 표창 수상

1998년 9월 30일: 한국항해학회 우수논문상 수상

※ 관심분야: 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파흡수체의 개발, EMI/EMC 대책 등



송재만(Jae Man Song)

1985년 2월: 숭실대학교 물리학과(이학사)

1987년 2월: 숭실대학교 물리학과(이학석사)

1995년 8월: 숭실대학교 물리학과(이학박사)

1990년 2월~1995년 8월: 숭실대학교 물리학과 강사

1996년 3월~1997년 2월: 일본 나가사키대학 객원연구원

1997년 2월~1997년 8월: 숭실대학교 물리학과 강사

1997년 10월~1998년 3월: (주)이수세라믹 생산기술연구소 선임연구원

1998년 4월~2000년 3월: 일본 나가사키대학 객원교수

2000년 9월~현재: 한국해양대학교 전임연구교수

※ 관심분야: 전파흡수체 개발, 소프트 페라이트, 자성박막개발, Nanocomposite 자석 개발