

선박 탑재 전자기기용 EMC 필터 개발

김동일† · 김은미* · 전미화**

*,**,† 한국해양대학교 전파공학과

Development of EMC filter for electronic equipments mounted on ships

Dong-Il Kim† · Eun-Mi Kim* · Mi-Hwa Jeon**

*,**,† Dept. of Radio Sciences and Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 본 논문에서는 선박 탑재 전자기기들이 외부의 전자파에 의한 장애와 과도 전압에 의해 전자파 간섭 또는 오동작을 방지하기 위한 목적으로 EMC 필터를 설계 및 제작하였다. 먼저 필터를 구성하는 인덕터의 경우 높은 투자율을 가진 Ni-Zn계열 페라이트 비드와 커패시터의 경우 공진현상을 최대한 억제하기 위해 공진점이 없는 관통형 커패시터를 이용하여 EMC 필터를 설계 제작하고, 그 특성을 평가하였다. 그 결과 0 kHz ~ 1.5 GHz 광대역에서 25 ~ 70 dB의 우수한 감쇠특성을 얻을 수 있었으며, 과도전압의 경우, IEC 61000-4-4에서 규정하는 level 4에서 4 kV를 인가 시 600 V로 과도전압이 감쇠되는 특성을 얻음으로써, 선박 탑재 전자기기들 간의 전자파 간섭을 억제할 수 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 전자파장해, 전자파내성, EMC 필터, 전달계수, 페라이트 비드, 관통형 커패시터

Abstract : It is very important to prevent the electromagnetic interference and to prevent malfunction of electronic equipments mounted on ships. To solve these problems, in this paper, the EMC filter was designed, fabricated, and tested. The Ni-Zn ferrite beads with high permeability were used to make large inductance as the inductor and the feed-through capacitors without any resonance points. As a result, excellent attenuation characteristics of 25 ~ 70 dB were obtained from the 0 kHz ~ 1.5 GHz band. In addition, when the Electric Fast Transient (EFT) of 4 kV in the level 4 of IEC 61000-4-4 was induced the EFT reduced to 600 V. Therefore, it was clearly shown that the developed EMC filter can be used for suppressing the electromagnetic interference on-board electronic devices and equipments.

Key words : EMI, EMS, EMC filter, transmission coefficient, ferrite beads, feed-through capacitors

1. 서 론

최근의 전자통신기술의 발달은 인간의 생활을 윤택하게 해주는 반면, 전자파 발생요인의 증가와 함께 심화되고 있는 전자파 환경에 대한 대책이 사회적으로 큰 관심을 끌고 있다. 이에 대책으로, 국제적으로 미국의 CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques ; 국제무선장해특별위원회), FCC (Federal Communications Commission ; 미연방통신위원회)와 일본의 VCCI (Voluntary Control Council for Interference by Information Technology Equipment ; 정보처리장비 및 전자파 장해 자주 규제 협의회) 및 유럽의 CENELEC (Comité Européen de Normalisation Électrotechnique ; 유럽 전자기술 표준화 위원회), CE mark 등의 규제를 만들게 되었으며(Paul, 1992), 우리나라에서도 전자통신용 장비의 전자파장해(EMI: Electromagnetic Interference)/ 전자파 양립성(EMI: Electromagnetic Compatibility)) 규제를 만들어 수출에 대비하고 있다. 이에 관련하여 선박 탑재용에 대한 IMO(국제해사기구)의 결의에서 항해안전에 관한 SOLAS(국제

해상인명안전협약) 제 5장 7절의 전자파 양립성 개정에 따라 무선통신, 항해 관련기기에 대한 전자파 장해 방지 및 내성의 규격을 강제 적용하고 있다(조, 2004).

일반적인 노이즈원의 전달경로로 자유공간을 통한 방사파와 전선선 또는 신호선을 이용한 전도가 있으며, 그 중 전도에 의한 노이즈는 다양한 형태의 노이즈로 인해 대책이 어렵다. 특히 전도성 노이즈의 원인인 과도성 노이즈는 고전압과 빠른 상승시간을 가지고 있으며, 전자 통신기기에 유입될 경우 회로의 오동작 및 부품이 파손되며, 기존의 필터에 적용되었던 수동소자들은 과도전압 유입시 소자 고유특성을 발휘하지 못하여 필터의 기능에 치명적인 결과를 초래하게 된다(김 외, 1995).

따라서, 본 논문에서는 선박 탑재 전자기기용 EMC 필터를 전도성 노이즈 대책 방법으로 제안한다. 본 논문에서 제안한 선박 탑재 전자기기용 EMC 필터는 0 kHz ~ 1.5 GHz 광대역에서 25 ~ 70 dB의 감쇠특성을 나타내며, IEC 61000-4-4의 level 4에서 4 kV의 과도전압을 인가시, 600 V로 감쇠되는 특성을 나타내어 CISPR 규격을 만족함과 동시에 IEC 61000-4-4의 level 4까지 만족시키는 우수한 필터이다.

† 대표저자·교신저자 : 김동일(중심회원), dikim@hhu.ac.kr 011)582-4343

* 정희원, rladmsak@hanmail.net 010)4183-8560

** 정희원, sadrain0528@nate.com 010)4165-6997

2. EMC 필터 설계 이론

일반적인 EMI에 대한 대책방법으로 FCC, CISPR에서는 전도성 노이즈의 모드에 따라 150 kHz ~ 30 MHz 대역에서 40 dB이상의 감쇠특성을 가지는 EMI용 대책 필터를 권고하고 있다. EFT는 IEC(국제 전기기술 위원회)에서 프로세서 제어 기기 및 전자·통신기기의 EFT에 대한 내성을 시행하도록 하고 있으며, 선박용 기기나 승강기 제어장치와 공장자동화장치등과 같이 인체의 안전과 깊은 상관관계가 있는 기기의 경우 Level 4까지 견딜 수 있도록 설계되어야 한다(Ozenbaugh, 1996). 그러나 전자기기의 사용 증가로 광대역 및 고전압 특성을 가진 새로운 형태의 전자과장해가 발생하고, 이들 장해원들은 전기적인 특성이 서로 달라 수십 MHz에서 공진이 일어나는 기존의 EMI 필터로 대책하기엔 한계가 있으며, 내성 필터로 적용하여 사용할 경우 3 kV 이상 인가시 견디지 못하고 오동작을 일으켜 대책이 힘들다. 따라서 이를 만족할 수 있는, 제안된 선박 탑재 전자기기용 EMC 필터를 Fig. 1에 나타내었다.

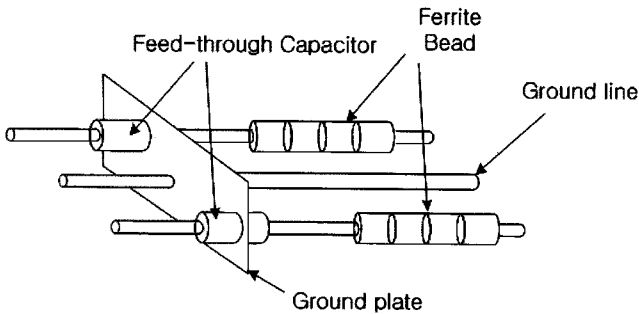


Fig. 1 Actual composition of EMC filter

Fig. 2는 EMC 필터와 전원전송선로의 간단한 등가회로를 보여준다. Fig. 3(a)는 차동모드 노이즈에 관한 것으로서 EMC 필터 부분의 신호선(H)과 접지선(G), 중성선(N)과 접지선(G) 사이의 등가회로를 보여준다.

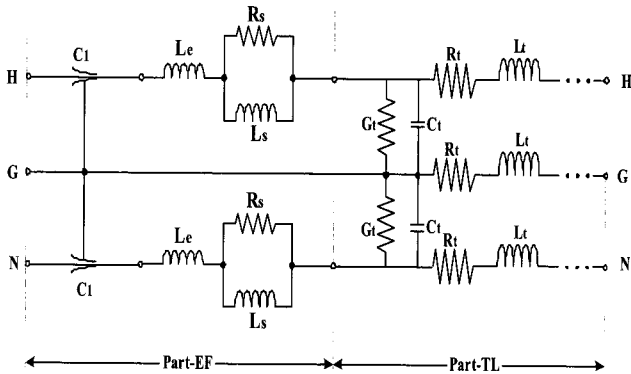
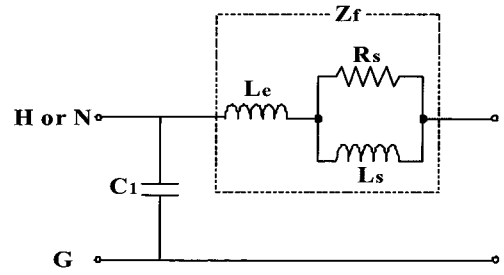
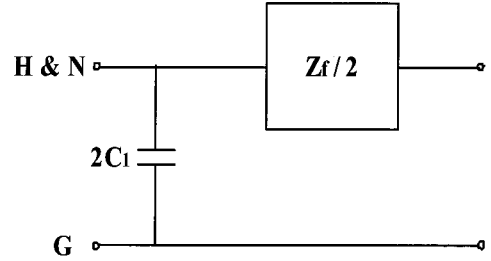


Fig. 2 Equivalent circuits of EMC filter and Transmission line



(a) For differential-mode(DM)



(b) For common-mode(CM)

Fig. 3 Equivalent circuits of EMC filter(Part-EF)

차동모드에 관한 ABCD 매트릭스는 식(1)에 의해 구할 수 있다.

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

여기서,

$$Y_G = j2\pi f C_1, \quad Z_f = j\omega L_e + \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{j\omega L_s} \right)^{-1} \quad (2)$$

그 반면, 공통모드 노이즈에 관한 등가회로는 Fig. 3(b)에 보여지는 것과 같다. 그리고, 공통모드 노이즈에 관한 ABCD 매트릭스는 식(3)과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} A_{DM} & B_{DM} \\ C_{DM} & D_{DM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y_G & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z_f \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_f \\ Y_G & Y_G Z_f + 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

비투자율 μ_r 은 식(4)에 의해 표현될 수 있다(Yoshiyuki, 1997).

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

여기서 μ_i 는 초 투자율, f_m 은 완화주파수, f 는 측정 주파수, μ_0 는 자계상수로 $4\pi \times 10^{-7}$ [H/m], μ' 는 인덕티브 투자

율, μ'' 는 저항성 투자율이다. 본 논문에서는 $\mu_i = 2000$, $f_m = 3.12$ MHz의 페라이트 비드를 사용하였다. 또한, 다른 파라미터들은 식(5)에 주어진다.

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

여기서, a와 b는 페라이트 비드의 내경과 외경이고, l은 페라이트 비드의 길이이며, k는 페라이트 비드의 치수에 의해 결정되는 값이며, 그 값은 0.003이다. 식(2)와 (4)에 의해, 전달계수 T는 식(6)과 같이 얻을 수 있다(Alexander, 1975).

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

$i = DM \text{ or } CM$

α_p 는 전원선에서의 손실(dB)이다.

따라서 전달계수 T로부터 0 kHz ~ 1.5 GHz의 광대역 특성을 가지는 선박 탑재 전자기기용 EMC 필터의 최적형상, 최적치수등을 결정함으로써 최적설계를 하였다.

3. EMC 필터 제작 과정에 따른 측정 결과 및 특성 분석

3.1 EMC 필터 구성요소 탐색

3.1.1 페라이트 비드

일반적으로 인덕터의 공진점을 높이기 위해서 자성재료를 사용한다. 자성재료는 재료특성에 따라 최대자속밀도(Bmax)는 작고 보자력(Hcm)이 큰 영구자석용으로 사용되는 강자성재료가 있고, 트랜스나 전원용 필터에 사용되는 재료로 최대자속밀도가 크고 보자력이 작은 연자성 재료로 구분된다(이 외, 2006). 여기서는 전원의 트랜스나 노이즈 필터에 사용되는 연자성 재료를 선택하였다. 전자통신 사업 분야에 응용되고 있는 연자성 페라이트는 저손실 재료로서 금속성분에 따라 Mn-Zn Ferrite, Ni-Zn Ferrite등으로 주로 사용되고 있으며 Mn-Zn Ferrite는 초투자율이 대부분 2500 이상이며, 저주파에서 고투자율을 가지는 반면, 손실값이 높고 저항율이 낮다. 이에 반해 Ni-Zn Ferrite는 초투자율이 2500 이하의 제품이 주류이며 투자율이 비교적 낮은 반면 고주파에서 손실이 낮고, Mn-Zn계열에 비해 높은 주파수까지 사용 할 수 있는 장점이 있다(민, 2003).

3.1.2 관통형 커패시터

관통형 커패시터(Feed through capacitor)는 원통형 도체의 가운데 도선을 삽입하고 2개의 도체사이에 유전체를 삽입한 구조이다. 따라서 전극은 중심도선과 외부 원통형 도체가 각각 커패시터의 전극이 된다. 관통형 커패시터가 공진을 일으키지 않는 이유는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 관통형 커패시터 외부전극이 합체에 취부 되는 부분, 즉 빗금부분의 면적은 유한도체인 반면, 합체는 무한도체에 가까우므로 공진이 일어나지 않는 것이다. 이는 관통형 커패시터를 합체에 접속시 커패시터 접속점의 금속부 임피던스가 일정값을 가지다, 접속점에서 증가하여 합체의 무한도체에서 임피던스가 접속점의 금속부보다 낮아져 공진이 일어나지 않는다(민, 2003).

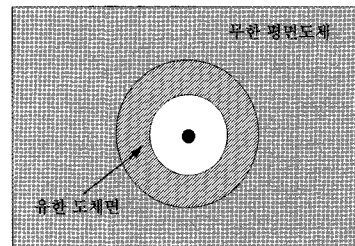


Fig. 4 Mounting on metal enclosure of the Feed-through capacitors.

따라서 광대역화를 위해 인덕터의 경우 투자율이 높아 큰 인덕턴스를 낼 수 있는 Ni-Zn 페라이트 비드를 사용, 커패시터의 경우 공진현상을 최대한 억제하기 위해 공진점이 없는 관통형 커패시터를 사용하여 선박 탑재 전자기기용 EMC 필터를 설계하였다.

3.2 시뮬레이션

선박 탑재 전자기기용 EMC 필터의 전달계수를 예측하기 위하여 식 (1) ~ (6)을 MATLAB 프로그램으로 계산하였고, 공통모드와 차동모드에 대한 최적의 전달계수 값을 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 그 결과 공통모드는 0 kHz ~ 1.5 GHz 대역에서 38 dB ~ 80 dB 감쇠 특성을 얻었으며, 차동모드의 경우 30 dB ~ 70 dB의 감쇠 특성을 얻을 수 있었다.

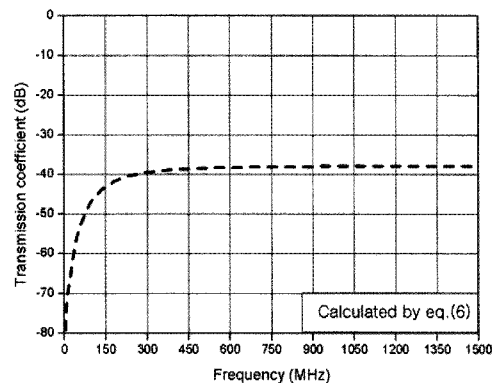


Fig. 5 Common-mode calculation value of EMC filter

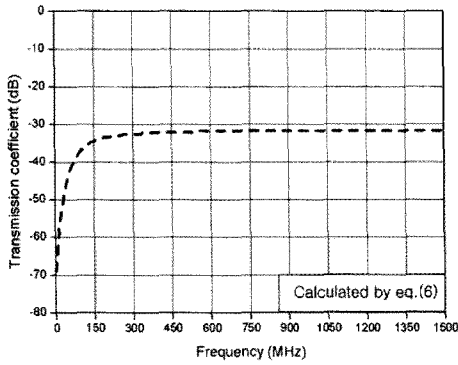


Fig. 6 Differential-mode calculation value of EMC filter

3.3 EMC 필터 제작

계산을 통해 선박 탑재용 전자기기간의 간섭을 최소화 할 수 있는 최적의 소자는 페라이트 비드의 경우 각 변수 값들은 $l=9.5\text{ mm}$, $D=9.5\text{ mm}$, $d=5.75\text{ mm}$ 이고, 초 투자율은 2000인 Ni-Zn계열 페라이트 비드를 사용하였으며, 관통형 컨덴서는 80 A / 220 V 인 용량 2000 pF, 케이블은 굵기가 18 mm이며 일반적인 3심 15 [A]용 전원선을 사용하여, 제작하였다. Fig. 7은 제작한 선박 탑재 전자기기용 EMC 필터 사진이다.

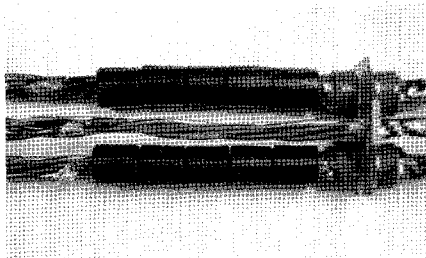


Fig. 7 The photograph of the fabricated EMC filter

3.4 측정 시스템

선박 탑재 전자기기용 EMC 필터 특성 실험은 0 kHz ~ 15 GHz 대역에서 HP사의 회로망 분석기(HP 8753D)를 사용하여 주파수 특성을 측정해 보았고, Time Domain에서 Tektronix TDS 340A(100MHz,500Ms/s)와 burst-generator(EMV-System SFT-4000)로 EFT 특성을 측정해 보았다. Fig. 8은 주파수 특성 실험 모습이고, Fig. 9는 EFT 특성 실험 모습이다.

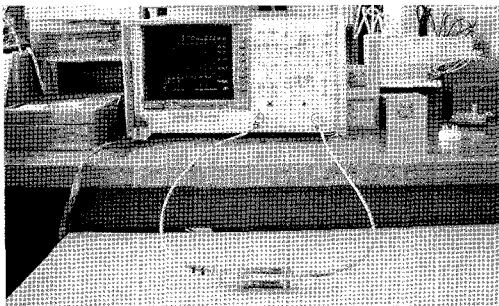


Fig. 8 Set-up for the analysis of the frequency characteristics of the EMC filter

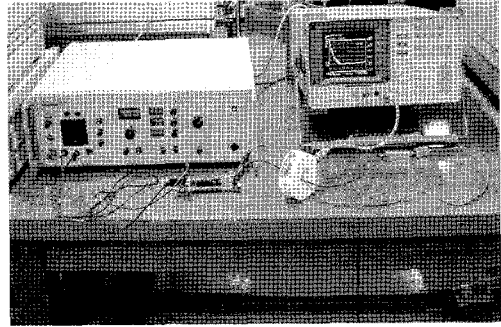


Fig. 9 Set-up for the analysis of the EFT characteristics of the EMC filter

3.5 EMC 필터 측정 결과 비교

선박 탑재 전자기기용 EMC 필터의 계산치와 실측치를 비교하여 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. 그 결과, 0 kHz ~ 1.5 GHz 대역에서 공통 모드의 경우 33 dB ~ 55 dB 감쇠 특성을 얻었고, 차동모드의 경우 25 dB ~ 70 dB의 감쇠 특성을 얻을 수 있었다. 대체적으로 계산치와 실측치는 비슷하였으나, 저주파 대역에서 계산치와 실측치가 차이가 나는 것은 페라이트 비드의 자벽 운동에서 발생하는 부하효과를 고려하지 않았기 때문이다.

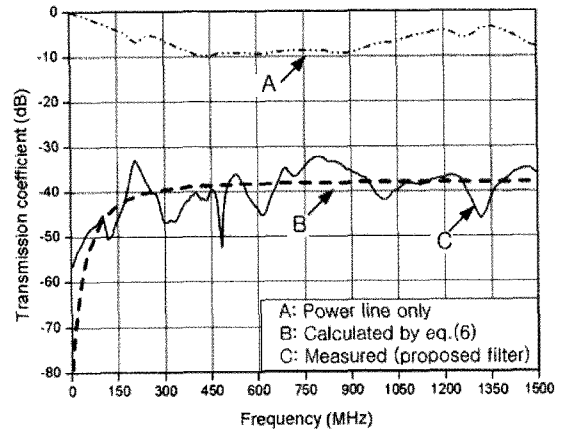


Fig. 10 Filtering characteristics for common-mode(CM)

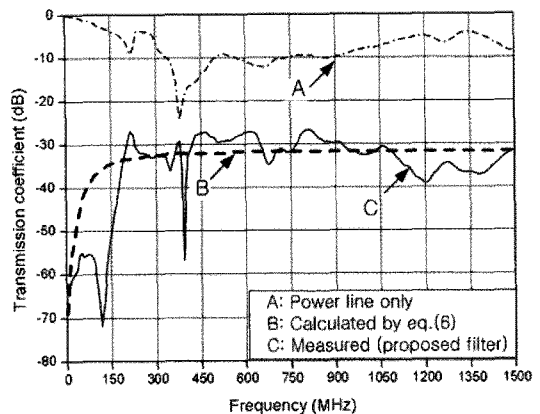
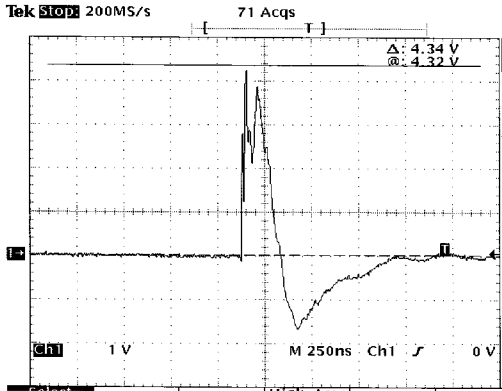


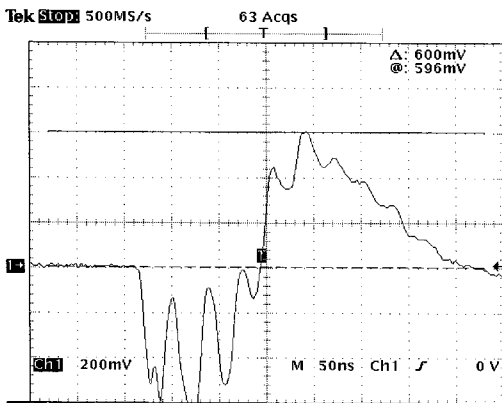
Fig. 11 Filtering characteristics for differential-mode(DM)

그리고 IEC 61000-4-4의 규정에 따라 EFT 내성시험을 수행하기 위해, 무대책시와 제안한 EMC 필터를 연결하고 IEC 61000-4-4의 level 4를 각각 인가한 경우를 비교하여, 그 결과를 Fig. 12와 같이 나타내었다. Fig. 12(a)의 y축은 1 V이고, 1 : 1000 프로브를 사용하여 환산하면 전압파형의 최대값은 4340 V이다. Fig. 12(b)의 y축은 200 mV이고, 1 : 1000 프로브를 사용할 경우 전압파형의 최대값을 환산하면 600 V이다. 즉, 4 kV를 인가시 600 V로 과도전압이 감쇠되는 특성을 나타내었다.



(a) In case of there is no filter

(Y axis: 1 V/Div, X axis: 250 ns/Div, Vmax= 4.34 V)



(b) In case of there is filter

(Y axis: 200 mV/Div, X axis: 50 ns/Div, Vmax= 600 mV)

Fig. 12 The measured results of immunity test at level 4 of IEC61000-4-4(Time Domain)

4. 결 론

조선기자재와 IT 기술의 융합으로 선박에 다양한 기능을 가진 최첨단의 전자장비 등이 갖추어지게 되었다. 이러한 전자 장비의 내부 혹은 외부의 전자파에 의한 전자파 간섭 현상을 일으키게 되며 심각한 경우 장비의 오동작을 유도하여 중대한 사고로 이어질 수 있다

따라서 본 논문에서는 선박 탑재 전자 장비의 전자파 장애 및 내성에 관한 성능을 향상시키기 위해 전도성 노이즈 대책 방법으로 EMC 필터에 관한 연구를 하였다. 선박에 장착된 장

비의 주파수가 높아지면서 고주파 대역의 노이즈가 늘어남에 따라 광대역화를 위해 높은 투자율을 가지는 Ni-Zn 페라이트 비드(초투자율 2000)와 공진점이 없는 판통형 커패시터(2000pF)를 적용하여 실험하였다. 그 결과 0 kHz ~ 1.5 GHz 광대역에서 25 ~ 70 dB의 감쇠특성을 얻을 수 있었고, 과도전압의 경우 IEC 61000-4-4에서 규정하는 level 4에서 4 kV를 인가시 600 V로 과도전압이 감쇠되는 우수한 특성을 얻음으로써 선박 탑재 전자기기의 내부 혹은 외부의 전자파에 의한 전자파 간섭과 오동작을 억제할 수 있음을 확인하였다.

향후 과제로 실제 선박 탑재 전자기기 적용환경에서, 본 EMC 필터를 사용하여 불요전자파가 감쇠됨을 확인하는 동시에 전자파 간섭이 발생하는 선박 탑재 전자기기 통신환경에 EMC 필터를 적용하여 전자파 간섭 방지를 확인하는 것을 남겨둔다.

후 기

“본 연구는 중소기업청과 부산광역시 지원하는 2008년도 산학협력실시지원사업의 지원으로 이루어졌습니다.”

참 고 문 헌

- [1] 김형근, 배대환, 민경찬, 김동일(1995), “EFT IEC801-4대책 전원 케이블의 개발에 관한 연구”, 한국항해학회, PP.107 ~ 114.
- [2] 민경찬(2003), 전자파(EMC)환경공학, 한국기술연구소, pp. 81~98.
- [3] 이종한, 정용채(2006), “페라이트 코어의 기술 및 시장 동향”, 전력전자학회지 Vol.11, No.2, pp. 20~25.
- [4] 조형래, 정삼영, 김희수(2004), “선박 탑재용 전기전자기기 EMC 규격 연구”, 한국전자파학회 전자파기술, Vol.15 No.1, pp. 72~84.
- [5] Alexander, D.R.(1975), “EMP Susceptibility of Semiconductor Components,” U.S. Air Force Weapons Laboratory, AFWL-TR-74-280.
- [6] Ozenbaugh, R. L.(1996), EMI Filter Design, Marcel Dekker, Inc., pp. 56~100.
- [7] Paul, C. R.(1992), Introduction to Electromagnetic Compatibility, John Wiley & Sons, pp. 457~487.
- [8] Yoshiyuki, N.(1976), “Formulation of frequency dispersion of ferrite permeability”, IECE of Japen, Vol. J59-C, No.5, pp. 297~304.

원고접수일 : 2009년 5월 28일

심사완료일 : 2010년 2월 18일

원고채택일 : 2010년 2월 22일