

엘리베이터용 컨버터의 EMI 대책에 관한 연구

강 동우*, 이 근호, 이 정규, 김 현수, 장 철호, 정 종태
LG 산전(주) 빌딩시스템 연구소

A Study of EMI Solution for The Elevator Converter

D.W. Kang, G.H. Lee, J.G. Lee, H.S. Kim, C.H. Jang, J.T. Jeong

LGIS Co., Ltd BUILDING SYSTEM R & D LAB.

Abstract - This paper presents the investigations and the reduction methods for EMI in the Elevator(E/L) system. In the large capacity E/L, Power factor controlled IGBT converter is used, so that the conducted EMI level is mostly determined by a high frequency input current. We suggest the low cost EMI countermeasure for E/L system using by a LCL filter and a low cost noise filter.

회), VCCI(정보 처리기기등 전파 장애 자주규제 협의회, 일본) 등이 있다.

1. 서론

2. 본론

통신 장비의 보급이 확대되어 전자파 장애에 대한 규제도 강화되면서 전력전자 분야에서도 전원단에서의 EMI 규제가 강화되고 있다. 대용량 엘리베이터에는 반도체 스위칭 소자를 이용하여 역률 및 전압을 제어하는 컨버터 제어 방식이 이용되는데, 컨버터의 스위칭 작용에 의해 EMI가 크게 발생되어 이에 대한 대책이 요구되고 있다.

전력 반도체 소자의 스위칭에 의하여 발생하는 Noise는 전원선을 통하여 전달되는 전도성이 대부분이다. IGBT의 경우 5-10KHz의 스위칭을 하는데 범용 EMI 필터를 이용할 경우 MHz대역에서는 규정 레벨 이내로 충분히 낮지만 150KHz에서 1MHz에서 주로 문제시 된다.

본 논문은 IGBT의 스위칭 전류와 다이오드 역회복 전류에 의해 주로 발생하여 전원 선로에서 측정되는 DM(differential mode) 노이즈와 컨버터 시스템과 접지 사이의 기생 커패시턴스에 의해 발생되어 선로와 접지 사이에서 측정되는 CM(common mode) 노이즈를 줄이기 위한 방법에 관한 연구이다. 1MHz 이상의 고조파 저감에 대해서는 주로 파워스텍과 관련된 하드웨어적인 방법을 기술하였으며 1MHz 이하의 대역에 대해서는 컨버터 입력단 필터와 연계하여 접근하였다.

엘리베이터의 경우 소용량은 비제어식 컨버터(다이오드 정류형)를 이용하고 대용량은 회생전력의 처리 및 역률제어가 가능하도록 IGBT 소자를 이용한 전압 제어식 컨버터를 이용하며 시스템 구성을 그림 1에 나타내었다. EMI의 측정시 선로의 임피던스 영향을 제거하기 위하여 LISN(line impedance stabilisation network)을 이용한다.^[1]

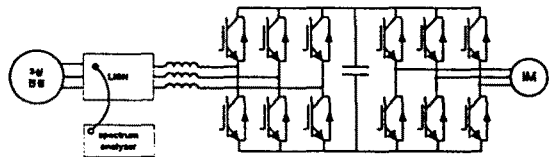


그림 1. 컨버터 시스템 및 측정 구성도

EMC 규격은 크게 EMI(Electromagnetic interference)와 EMS(Electromagnetic susceptibility)로 나뉘며 EMI는 무선 주파수에 대한 잡음, 단자 전압, 잡음 전계 강도와 저주파에 대한 고조파, 전압 변동으로 한계치를 규정하며 EMS는 정전기 방전과 방사 전자계, 서지등으로 한계치를 규정하고 있다. EMC 규격으로는 CISPR(국제 무선장애 특별위원회), VDE(독일 전기 기술자 위원회), EN(유럽 통일 규격), FCC(미연방 통신 위원

컨버터 시스템의 EMI 특성은 전력 반도체 소자의 스위칭 시 발생하는 di/dt와 dv/dt에 의해 주로 결정되는데 IGBT의 형태(NPT형, PT형), IGBT 게이트의 저항값, 직류링크의 스너브, Heatsink의 접지상태, 선로와 접지 사이의 기생 커패시턴스, IGBT와 방열판 사이의 절연물질등에 따라서 그 크기가 달라진다.^[2] 또한 직류링크전압의 크기, 스위칭 주파수와 스

위칭 방법에 따라 EMI 레벨이 달라질 수 있다.

그림 1 과 같이 구성된 엘리베이터 시스템의 EMI 특성을 측정한 결과를 그림 2 에 나타내었다. CISPR 22 의 CLASS A 규격은 150kHz - 500kHz 에서 79dB μ V 이하이고 500kHz - 30MHz 에서 73 dB μ V 이하이므로 약 20 dB μ V 의 감쇄를 가지는 EMI 대책이 필요하다.

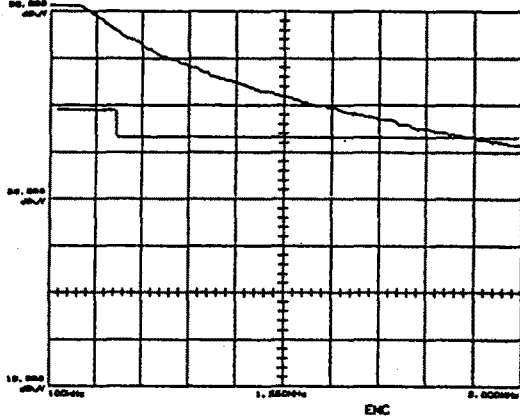


그림 2. 기존 E/L 시스템의 EMI 특성
(100kHz - 3MHz; max:100dB μ V, 10dB μ V/Div)

2.1 EMI 필터를 이용한 대책

게이트의 저항의 크기와 직류링크 전압 크기는 dv/dt 에 큰 영향을 미치므로 저항이나 직류전압의 크기를 조절하여 저감할 수 있지만 게이트 저항의 크기는 스위칭 손실에 큰 영향을 미치므로 Heatsink 의 설계에 제한이 따르며 직류전압의 크기가 낮을 경우 역률제어가 어려워지므로 제한을 받는다.

DM 노이즈는 10kHz 에서 1MHz 사이의 EMI 는 부하전류에 의해서, 1MHz 에서 30MHz 사이의 EMI 는 역병렬 다이오드의 역회복 전류에 의해 크게 영향을 받는다. 또한 200kHz 이상에서는 직류링크 커패시터의 기생 인덕턴스가 DM 노이즈 전달 임피던스에 영향을 미치므로 EMI 가 증가한다. 그러나 직류링크 커패시터와 병렬로 스너버 커패시터를 연결하면 직류링크 커패시터의 기생 인덕턴스와의 공진 주파수 이상의 주파수 (약 2MHz)에서 EMI 를 저감시킬 수 있다. 그리고 Heat-sink 를 접지하면 200kHz 에서 8MHz 까지의 EMI 가 접지하지 않은 경우의 75dB μ V 에서 약 92dB μ V 로 증가한다.^[2] di/dt 는 입력단 리액터에 의해 주로 결정되는데 이를 줄이기 위해서는 입력단 리액터의 크기를 크게 설계하므로써 가능하지만 비용이 많이 들고 대용량의 경우 리액터에서의 전압강하로 인하여 직류링크전압을 크게 설계해야 하므로 제한이 따른다.

컨버터의 역률을 "1"로 제어하기 위하여 요구되는 컨버터

전압강정식은 다음 수식으로 계산될 수 있으므로 DC link 단의 직류전압이 결정되면 컨버터가 출력할 수 있는 전압(Vqs)이 결정된다. 고조파 전류 억제 측면에서는 인덕턴스가 클수록 유리하지만 리액터에서의 전압강하가 상당히 크게 되어 전원전압의 크기가 Eqs 일 때 식(1)과 같이 선정할 수 있는 크기는 제한되고 대용량의 경우 전류리플이 매우 크게 된다.

$$L \leq \frac{\sqrt{V_{gs}^2 - E_{qs}^2 + (I * R)^2}}{2\pi f l} \quad (1)$$

수 MHz 대역 EMI 는 범용 EMI 필터만을 이용하여도 가능하며 비용도 저렴하게 구성할 수 있다. 그러나 EMI 크기를 전 주파수 대역에서 규정치 이하로 저감하기 위해서는 EMI 필터와 리액터의 크기로는 대책을 수립하기 곤란하며 고감쇄 특성을 가지는 EMI 의 필터는 그 비용이 막대하다.

2.2 EMI+LCL filter 를 이용한 대책

엘리베이터용 3상 컨버터 제어를 위해서는 리액터(L1)가 필요하다. 리액터(L1)만 있을 경우, 컨버터 전압에 대한 전원으로 흐르는 전류의 보드선도를 그려보면 이득이 20dB/dec 의 기울기로 감소한다. 송압용 인덕터를 L1 과 L2 로 분리하고 작은 용량의 커패시터를 추가하여 LCL 필터를 구성한 3상 컨버터를 그림 3 에 나타내었다. 그림 4 는 LCL 필터를 사용할 때, 컨버터 전압에 대한 전원 전류의 보드선도를 나타낸 것으로 이득은 공진주파수 이상에서 -60dB/dec 의 기울기를 가짐으로 L1 있는 경우와 비교해 우수한 저역통과필터를 구성할 수 있다.

그림 4 의 시뮬레이션에서 나타난 LCL 필터의 공진 주파수는 식(2)와 같이 구해진다.

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} C}} \quad (2)$$

LCL 필터가 고조파 감쇄 효과측면에서 L 만 있는 경우와 비교해 매우 유리하나, 주파수가 증가함에 따라 인덕턴스와 커패시턴스가 변동하여 LCL 필터의 특성을 잃게 된다. 그러므로 높은 대역 주파수의 EMI 감쇄를 위해 EMI 필터를 추가해야 한다.

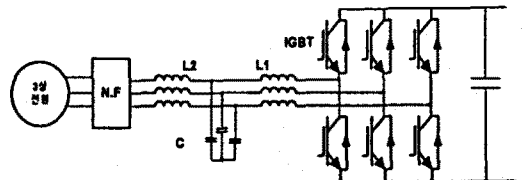


그림 3. EMI 대책 및 고조파 리플 저감대책 System

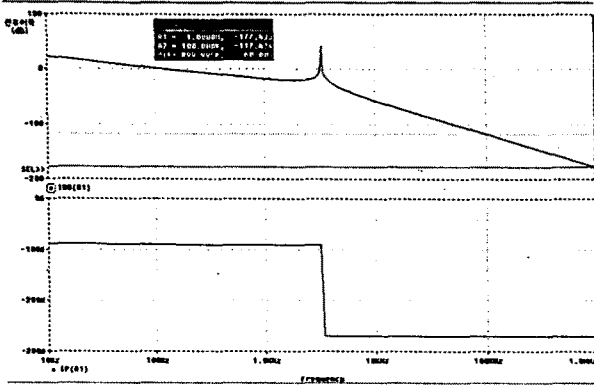
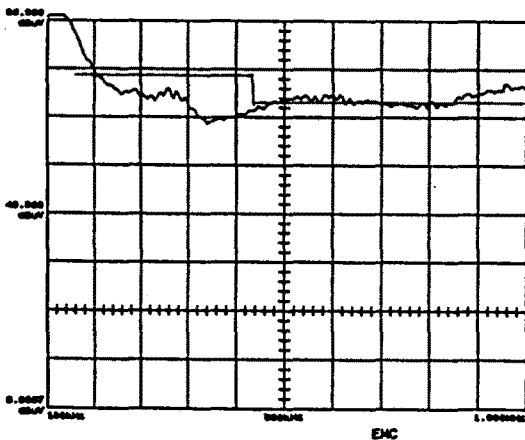


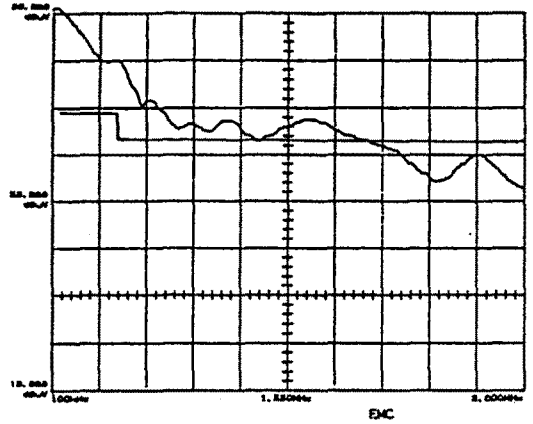
그림 4. LCL 필터의 보드선도

3. 실험 결과

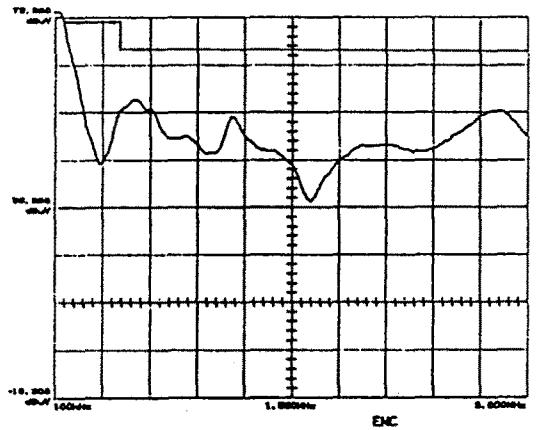
컨버터의 EMI 대책을 수립하기 위해 75kW, 420m/min 엘리베이터 시스템에 대해 실험을 행하였다. 그림 5는 주파수에 따른 EMI를 나타낸 것이다. 그림 5(a), (b), (c)는 각각 고감쇄 EMI 필터, LCL 필터, LCL 필터와 범용 EMI 필터를 사용한 경우이다. 실제 3MHz 이상의 주파수 대역에서는 EMI 레벨이 낮으므로 생략하였다. 그림 5(a)의 고감쇄 EMI 필터를 사용하였을 때는 그림 2의 L만 있는 경우와 비교해 100kHz에서 100dB μ V에서 90dB μ V로 약 10dB μ V의 감쇄 효과를 가져왔으나 규격은 만족하지 못한다. 그림 5(b)의 LCL 필터를 사용한 경우도 100kHz에서 약 10dB μ V의 감쇄를 가져오지만 EMI 규정은 만족시키지 못한다. 그러나 EMI 필터와 LCL 필터를 같이 사용한 그림 5(c)의 경우에서 EMI 규정이 적용되는 전 주파수 대역에서 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다.



(a) 고감쇄 EMI 필터 사용시(max:100dB μ V, 10dB μ V/Div)



(b) LCL 필터 사용시(max:100dB μ V, 10dB μ V/Div)



(c) EMI+LCL 필터 사용시(max:80dB μ V, 10dB μ V/Div)

그림 5. 주파수에 따른 EMI 레벨

4. 결론

실험결과 고감쇄 EMI 필터만으로는 E/L 시스템의 노이즈 대책이 불가능하였다.

컨버터의 스위칭에 의한 EMI는 주로 1MHz 미만의 저주파 대역이 문제시되므로 컨버터 제어를 위하여 필요한 리액터와 별도의 작은 값의 리액터 및 콘덴서를 이용한 LCL 필터를 구성하여 저가로 EMI 대책을 수립할 수 있었다. 또한 이런 방식은 전류의 고조파 저감에도 효과가 있으므로 산업계에서 유용하리라 판단된다.

[참고 문헌]

- [1]. R. Scheich, J. Roudet, V. Handel, "EMI Conducted Emission in Differential Mode Emanating from a SCR : Phenomena and Noise Level Prediction", 0-7803-0982-0/93 \$3.00 1993 IEEE, pp.815-821
- [2]. Frank Klotz, Jurgen Petzoldt and Holger Volker, "Experimental and Simulative Investigation of Conducted EMI Performance of IGBTs for 5-10kVA Converters", IAS 1996, pp.1986-1991