

# 멀티레벨 인버터를 이용한 3상 유도전동기 구동 시스템의 EMI 필터 설계

論 文
55B-5-4

## Design of EMI filters for an Induction Motor Drive System with Multi-level Inverters

金 倫 鎬<sup>†</sup> · 金 洙 弘<sup>\*</sup> · 安 永 五<sup>\*\*</sup> · 方 相 石<sup>\*\*\*</sup> · 金 光 燮<sup>§</sup>

(Yoon-Ho Kim · Soo-Hong Kim · Young-Oh Ahn · Sang-Seok Bang · Kwang-Seob Kim)

**Abstract** - In this paper EMI problems with induction motor drive system using multi-level inverters are investigated. The high power multi-level inverter usually operates with low switching frequency and produces large noises. Generally, EMI consists of the conduction component through source lines and emission component emitted to the space. This conduction component can be classified to the common-mode between source line and ground, and the normal-mode between lines. The EMI filters for the induction motor drive system are designed and implemented to reduce EMI noise. Finally the designed system is verified by the experiment. The experimental results show that both the normal mode and common mode noises are greatly reduced compared to the system without filters.

**Key Words** : EMI Filter, Common-Mode Inductor

### 1. 서 론

전력변환 시스템에 있어서 EMI는 가장 큰 문제 중의 하나이며 EMI는 전력 반도체 스위치의 스위칭 때문에 발생하는 높은 dv/dt나 di/dt로 인해서 넓은 주파수 대역에서 많이 발생한다. 보통 EMI는 전원선을 타고 나가는 전도성분과 공중으로 방사되는 성분으로 나뉘는데, 전력변환 시스템에서는 일반적으로 전도성분을 줄이는데 많은 시간을 요한다. 전도성분은 접지선과 두 전원선 사이의 공통모드(common-mode) 성분과 두 전원선 사이의 노멀모드(normal-mode) 성분으로 구분된다[1]. 이러한 고속 스위칭에 의한 급격한 dv/dt 변화로 인해 발생한 커먼모드 전압은 모터 내부의 부유 커패시터를 통하여 대지로 흐르는 고주파 누설 전류의 발생 및 베어링 전류, 축 전압 등을 발생시킨다. 그 결과 전동기의 수명 저하 및 EMI등의 문제를 발생시킨다.

본 논문에서는 최근 중·대용량 시스템에 많이 이용되고 있는 멀티레벨 Cascaded H-bridge 인버터를 갖는 3상 유도전동기 시스템에 멀티레벨 Cascaded H-bridge 인버터 방식에 출력 필터를 설계, 적용하여 전도성 EMI의 감소를 분석하였다. 멀티레벨 인버터 중에서 7-레벨 H-bridge 인버터 시스템을 채택하였고 출력 노이즈 필터 설계에 대해 기술하였다. 7-레벨 인버터 토폴로지에 대해 제안된 필터 접속을 통해 전도성 노이즈 저감을 실험을 통해 확인하였다.

### 2. 시스템 구성

그림. 1은 일반적인 3상 유도전동기 구동 시스템의 EMI 시험장비의 블록 다이어그램을 보여준다. 유도전동기 구동 시스템은 입력, 컨버터, PWM제어기를 포함한 인버터, 유도전동기로 이루어져 있다.

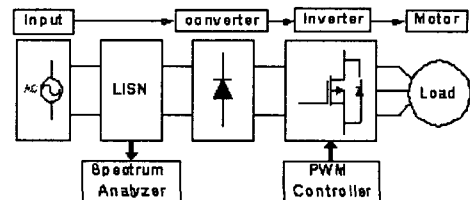


그림. 1 유도전동기 시스템의 블록 다이어그램

Fig. 1 Block diagram of 3phase induction motor drive system

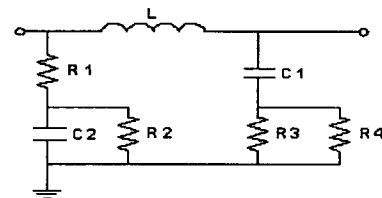


그림. 2 LISN의 내부 등가회로

Fig. 2 Inner equivalent circuit of LISN

인버터에 의해 발생하는 고주파수 EMI 노이즈를 측정하기 위해 입력 전원과 인버터 사이에 그림. 2의 LISN(Line impedance stabilization network)을 설치한다[2,3]. LISN의 출력은 스펙트럼 분석기와 연결하여 노멀모드 노이즈와 커먼모드 노이즈를 측정하며 입력 전원부와 부하 사이에 삽입된

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 中央大. 電子電氣工學部 正教授. 工博  
E-mail : yhkim@cau.ac.kr

<sup>\*</sup> 非會員 : 中央大. 電子電氣工學部 博士課程

<sup>\*\*</sup> 非會員 : 中央大. 電子電氣工學部 碩士卒業

<sup>\*\*\*</sup> 非會員 : POSCON 技術研究所 首席研究員

<sup>§</sup> 正會員 : POSCON 技術研究所 先任研究員

接受日字 : 2006年 1月 12日

最終完了 : 2006年 4月 17日

인덕터 L은 파워소스와 노이즈 사이의 절연 역할을 한다.

일반적으로 멀티레벨 인버터는 시스템에서 고전력, 대용량화에 주로 사용하며 스위칭 주파수가 낮다. 본 논문에서 채택한 7-레벨 인버터는 상전압 출력이 7개의 레벨로 나타나는 인버터를 말한다. 이러한 7레벨의 출력 상전압을 구현할 수 있는 인버터 구성은 다양하며, 또한 인버터의 PWM제어 방법도 다양하다.

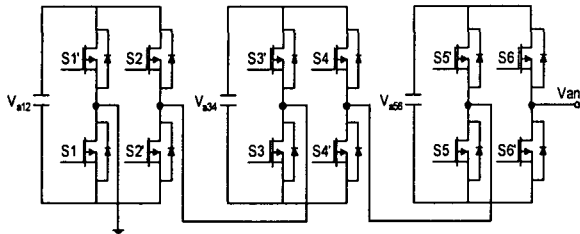


그림. 3 H-bridge Cascaded 7-level 인버터의 한 상  
Fig. 3 One phase of H-bridge Cascaded 7-level inverter

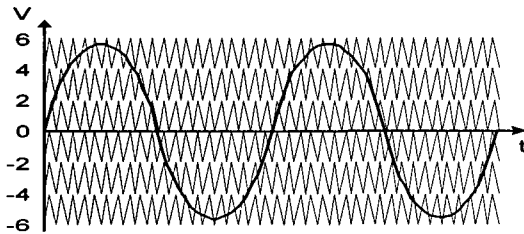


그림. 4 H-bridge Cascaded 7-level 인버터의 멀티캐리어 스위칭 방법 (기준신호:60Hz, 캐리어신호:1.2kHz)  
Fig. 4 Multi-carrier switching method of H-bridge Cascaded 7-level inverter (reference signal : 60Hz, carrier signal : 1.2kHz)

H-bridge Cascaded 7-레벨 인버터는 다이오드 정류기와 2-레벨 H-bridge 인버터로 구성된 파워셀이 각 상마다 3개씩 직렬로 연결되어 있는 형태이다. 그림. 3은 이러한 인버터 각 상의 회로를 보여준다. 그림. 4는 이 7-레벨 인버터에서의 멀티 캐리어 스위칭 방법을 보여주고 있다. 본 논문에서는 스위칭 소자를 위한 PWM 게이트 신호를 만들기 위해 스위칭 입력 신호는 하나의 기준신호(60Hz)와 6개의 캐리어 신호(1.2kHz)와 비교되어 발생되었다[4]. 인버터의 6개의 캐리어 신호에 의해  $+V_{dc}/2$ ,  $+V_{dc}/3$ ,  $+V_{dc}/6$ ,  $0$ ,  $-V_{dc}/6$ ,  $-V_{dc}/3$ ,  $-V_{dc}/2$ 의 7-레벨 출력을 발생 할 수 있다.

### 3. 수동 EMI 필터설계

그림. 5는 앞에서 언급된 H-bridge Cascaded 7-레벨 인버터의 출력에 수동 EMI 필터를 연결한 시스템의 구성을 나타낸다. EMI 필터는 3개의 노멀모드 인덕터와 하나의 커먼모드 인덕터, 커패시터, 저항으로 구성된다. 노멀모드 필터의 형태에서 3개의 인덕터, 3개의 커패시터와 3개의 저항들은 3상 선간전압으로부터 고주파 노멀모드 전압을 제거한다. 커먼모드 인덕터  $L_c$ 는 common magnetic core로 커플링 권선 구조이며 이 같은 구조는 높은 커먼모드 임피던스와 거의 제로에 가까운 노멀모드 임피던스를 제공한다[5]. 그림. 6은 커먼모드 전압과 전류에 대한 커먼모드 필터 등가회로를 보여준다.

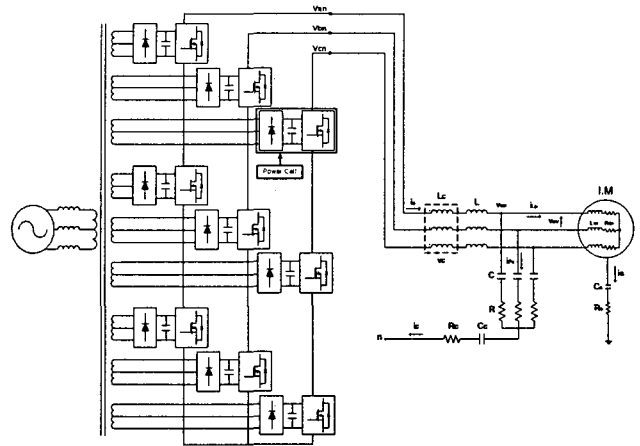


그림. 5 EMI 필터를 갖는 7-레벨 인버터 시스템  
Fig. 5 7-level inverter system with EMI filter

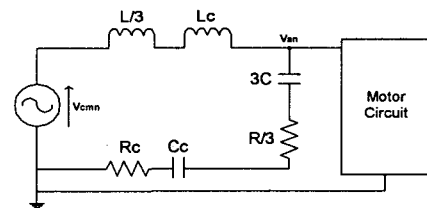


그림. 6 커먼모드 필터에 대한 등가회로  
Fig. 6 Equivalent circuit for common-mode filter

등가회로에서 인덕터  $L_c$ , 커패시터  $C_c$ 와 저항  $R_c$ 는 커먼모드 필터 구성요소들이고 이러한 구성요소들은 인버터에 의해 생성되는 고주파 커먼모드 전압을 감소시킨다. 또한 이것은  $L_c \gg L/3$ 일 때  $L_c$ 와  $C_c \ll 3C$ 일 때  $C_c$ 값을 선택함으로써 노멀모드 필터와 커먼모드 필터들의 독립적인 동작을 가능케 할 수 있으며 그림. 7의 등가회로는  $L_c$ ,  $C_c$ ,  $R_c$ 로 구성된 2차 low-pass 필터라고 말할 수 있다. 나아가 캐리어 주파수 1.2kHz에서  $C_c$ 의 용량성 리액턴스가  $L_c$ 의 유도성 리액턴스에 비해 매우 작기 때문에  $L_c$ 에 걸처서 커먼모드 전압이 나타나고 전동기 터미널에는 커먼모드 전압이 거의 나타나지 않는 것은 이러한 필터의 배치 결과이다. 이것은 커먼모드 라인에서 커먼모드 전류  $i_c$ 가 흐르는 동안 전동기 터미널에서 나타나는 커먼모드 전압이 거의 없다는 의미이다.

### 3.1 노멀모드 필터

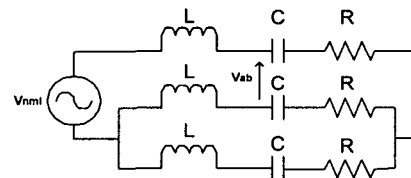


그림. 7 노멀모드에 대한 등가회로  
Fig. 7 Equivalent circuit for normal-mode

노멀모드 필터 설계 시 크기, 무게, 가격면에서는 인덕턴스 L을 가능한 작게 만드는 것이 중요하다. 그림. 7은 노멀모드에 대한 등가회로를 보여주며 이는 노멀모드 회로에서 인덕턴스와 커패시턴스 값들이 각각  $3L/2$ 과  $2C/3$ 임을 의미하고

1.2kHz의 캐리어 주파수에서  $3\omega L/2 \gg 3/2\omega C$ 의 관계가 존재하기 때문에 전류의 진폭은 커패시터 C가 아닌 인덕터 L이 결정한다. 그림. 8에서 노멀모드 전압이  $V_{dc}/2$ 의 크기와 1.2kHz의 캐리어 주파수를 갖는 정현파라고 가정할 때 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$2\pi \times f_{sw} \times \frac{3L}{2} \times I_M > \frac{V_{dc}}{2\sqrt{2}} \quad (1)$$

여기서, L값은  $L > 2.43\text{mH}$  이므로 인덕턴스 값은 2.5mH가 되고 노멀모드 필터의 공진 주파수 범위는 60Hz의 인버터 출력 주파수와 1.2kHz의 캐리어 주파수를 고려했을 때 500Hz~1.5kHz로 한다. 공진 주파수는 580Hz이고 따라서 커패시터 C의 값을 계산하면 30uF이 된다.  $Z_0 = \sqrt{L/C}$ 에 의해 주어진 임피던스 특성은 거의 9Ω이고 세 개의 뎀핑저항 값이 1Ω이면 Q factor의 결과는 9이다.

### 3.2 커먼모드 필터

커먼모드 필터는 인버터와 전동기 사이의 커먼모드 인덕터  $L_c$ 와 인버터의 중성점인 H-bridge Cascaded 인버터의 각 상의 한 leg의 중성점으로 연결된 커패시터  $C_c$ 와 저항  $R_c$ 로 구성된다. 그림. 7의 등가회로에서 커먼모드 전압원은 인버터로 인해 발생하는 커먼모드 전압  $V_{cinv}$ 와 정류기로부터 발생하는 커먼모드 전압  $V_{crec}$ 의 두 개의 커먼모드 전압이 존재한다. 주파수 성분의 대부분은 인버터의 스위칭 주파수 1.2kHz 성분이 가장 크고, 나머지 정류기를 통해 발생한 커먼모드 전압 주파수는 180Hz 혹은 그의 배수 주파수 성분이 포함된다. dc와 ac성분을 갖는 커먼모드 전압은 PWM 동작에 의해 단계적으로 변하는 전압(step-changed voltage)의 특성을 갖게 된다. ac 성분의 기본파는 캐리어 주파수 1.2kHz와 같고 ac 성분이 인덕터  $L_c$ 에 나타나는 반면, dc성분은 커패시터  $C_c$ 에 나타난다. 커먼모드 전압에 포함된 캐리어 주파수 성분은 실제 다음과 같은 조건하에 스펙트럼 분석기를 통해 측정이 가능하며; (1.2kHz 캐리어주파수, 60Hz의 출력주파수, volt/hertz 제어) 그 결과 H-bridge 7-레벨 인버터의 커먼모드 전압의 크기는 약 30V 정도가 된다. 크기가 30V, 1.2kHz의 주파수를 갖는 정현파가 된다면, 패러데이 법칙은 인덕터의 자속  $\phi$ 와 커먼모드 전압  $V_{cm}$  사이의 관계식은 다음과 같다.

$$\phi = \frac{1}{N} \int V_{cm} dt \quad (2)$$

여기서, N은 인덕터의 상당 권선수를 나타내며 자속밀도 B는 다음과 같다.

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{1}{AN} \int V_{cm} dt \quad (3)$$

여기서, A는 코어의 단면적이다. 캐리어 주파수 값과 커먼모드 전압의 값이 주어지면  $B_{max}$ 의 값은 AN의 곱으로 표현된다. 다시말해, AN의 곱은 코어 물질의 포화 자속밀도  $B_{sat}$ 을 초과하지 않도록 설계해야 한다. 또한, 일반적으로 공극이 없는 인덕터의 인덕턴스 값은 다음과 같이 주어진다.

$$L_c = \frac{\mu AN^2}{l} \quad (4)$$

여기서, l은 코어의 길이를 의미하고,  $\mu$ 는 코어의 투자율이 다. 커먼모드 전류의 피크 값  $I_{peak}$ 는  $L_c$ 의 인덕턴스 값의 역

의 비로 나타난다. 그러므로, 그것은 AN이 상수이기 때문에  $1/N$  값의 비가 된다. 코어의 길이가 짧을수록 턴수 N은 증가하고 커먼모드 전류의 피크 값은 작아지게 된다. 그러나 턴수는 특정 값 미만에서만 커질 수 있는데 이는 턴수가 커지면 더 큰 코어가 필요하고, 그 결과 코어의 길이가 더 커지게 되기 때문이다. 이것은 사용하는 코일의 직경에 따라 좌우되는, 다시 말해 인덕터의 전류정격에 좌우되는  $1/N$ 의 최적 비율이 존재한다는 것을 의미한다. 위의 논의를 바탕으로 본 논문의 실험에서는 0.44T의 최대 자속 밀도를 갖는 인덕터를 제작, 사용하였다. 코어는 OR 63-25-38H로서 ferrite SM100을 채택하였다. 표. 1은 이 제작된 커먼모드 인덕터의 사양과 파라미터를 나타낸다.

표 1 커먼모드 인덕터의 파라미터

Table 1 Specifications of common-mode inductor

내용	Inductor Lc
Inductance	29 [mH]
Outer diameter	63 [mm]
Height	25 [mm]
Cross-sectional area	306 [mm <sup>2</sup> ]
Mean core length	152 [mm]
AL value	25700 [nH/N <sup>2</sup> ]
Turn number per phase	34

본 논문에서는 커먼모드 회로의 공진 주파수는 140Hz로 선택하였고 따라서,  $C_c$ 의 실제 값은 45uF으로 설계하였다. 임피던스 특성은 25Ω이고  $R_c$ 의 저항값은 3Ω이다. 그러므로 Q factor는 8이 된다. 그림. 8은 위와 같은 논의를 바탕으로 제작되어 실험에 사용된 커먼모드 인덕터와 필터이다.

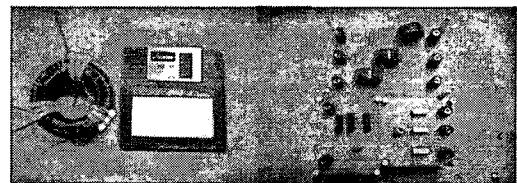


그림. 8 제작된 커먼모드 인덕터와 노멀모드필터

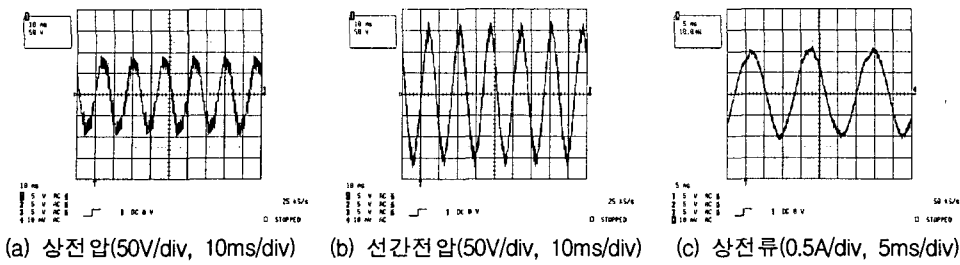
Fig. 8 Common-mode inductor and normal-mode filter

## 4. 실험결과

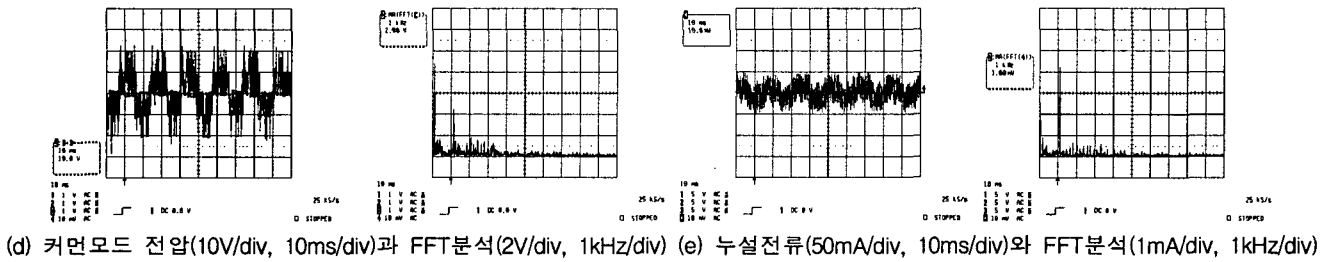
H-bridge Cascaded 7-레벨 인버터를 이용한 3상 유도전동기 구동 시스템의 커먼모드 노이즈 측정에 관한 실험을 하였다. 실험 시스템 구성은 3상 입력, LISN등가회로, 컨버터, H-bridge 7-레벨 인버터, 유도전동기로 구성되었으며 컨버터는 브릿지 정류기를 사용한 컨버터이다. 부하인 유도전동기는 농형 유도전동기이며 상전압 120V, 선간전압 208V, 60Hz, 1.2A의 정격을 가지고 있다.

### 4.1 EMI 필터를 접속하지 않은 7-레벨 인버터 시스템

그림. 9는 인버터와 유도전동기 사이에 EMI 필터를 접속하지 않은 7-레벨 인버터 시스템의 실험 결과 파형이다.



(a) 상전압(50V/div, 10ms/div) (b) 선간전압(50V/div, 10ms/div) (c) 상전류(0.5A/div, 5ms/div)



(d) 커먼모드 전압(10V/div, 10ms/div)과 FFT분석(2V/div, 1kHz/div) (e) 누설전류(50mA/div, 10ms/div)와 FFT분석(1mA/div, 1kHz/div)

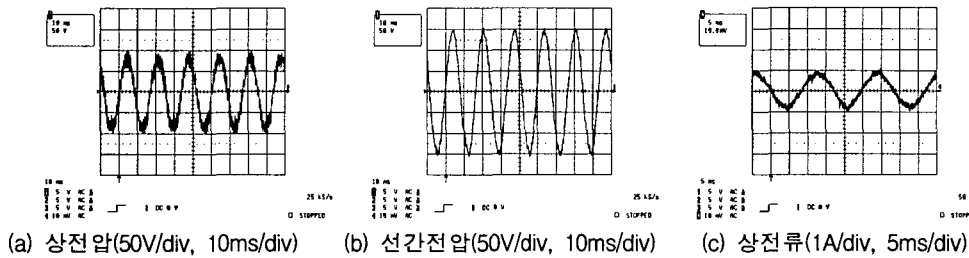
그림. 9 필터를 갖지 않는 7-레벨 인버터 시스템의 실험 결과 파형  
Fig. 9 Experimental waveform without the filter

4.2 EMI 필터를 접속한 7-레벨 인버터 시스템

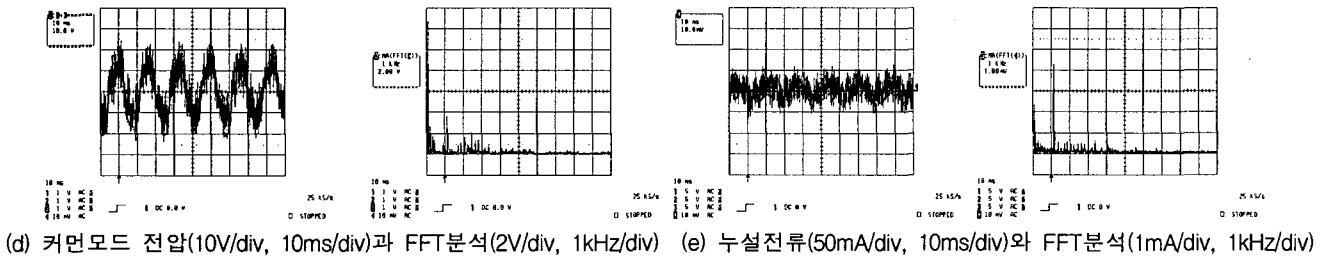
4.2.1 노멀모드 필터만 연결했을 때의 7-레벨 인버터

그림. 10은 7-레벨 인버터 시스템에서 L, C, R로 구성된 노멀모드 필터만 연결했을 때의 실험 결과 파형이다. 그림. 10은 7-레벨 인버터 시스템에서 노멀모드 필터만 연결했을 때 실험 결과 파형들을 보여준다. 위에서 논의한 대로 설계된 노멀모드 필터의 영향으로 (b)선간전압은 노멀모드 전압이 감소함에 따라 거의 정현적인 파형으로 바뀌었지만 (a)상

전압은 여전히 많은 양의 캐리어 주파수 커먼모드 전압을 포함하고 있다.(d)커먼모드 전압은 노멀모드 필터에 영향을 받지 않으므로 필터를 접속하지 않을 때의 커먼모드 전압과 큰 차이가 없다. 그리고 전동기 부유 커패시터를 통해 접지로 흐르는 (e)누설전류  $i_g$ 의 값 또한 노멀모드 필터에 영향을 받지 않기 때문에 필터를 접속하지 않았을 때보다 약간 감소하였지만 3개의 노멀모드 커패시터들의 중성점이 인버터의 중성점과 분리되어 있으므로 rms값은 감소되지 않는다.



(a) 상전압(50V/div, 10ms/div) (b) 선간전압(50V/div, 10ms/div) (c) 상전류(1A/div, 5ms/div)



(d) 커먼모드 전압(10V/div, 10ms/div)과 FFT분석(2V/div, 1kHz/div) (e) 누설전류(50mA/div, 10ms/div)와 FFT분석(1mA/div, 1kHz/div)

그림. 10 노멀모드 필터 연결 시 7-레벨 인버터 시스템의 실험 결과 파형  
Fig. 10 Experimental waveform when only the normal-mode filter is connected

4.2.2 노멀모드와 커먼모드 필터를 연결했을 때의 7-레벨 인버터

그림. 11은 7-레벨 인버터 시스템에서 노멀모드 필터와 커먼모드 필터(EMI필터)를 접속했을 때의 실험 결과 파형이다.

그림. 12는 (a)상전압, (b)선간전압, (c)상전류, (d)커먼모드 인덕터  $L_c$ 에 걸리는 커먼모드 전압, (e)커먼모드 커패시터  $C_c$ 를 통해 인버터 중성점으로 흐르는 커먼모드 전류, (f)전동기 터미널 단자에 나타나는 커먼모드 전압,(g)누설전류  $i_g$ 를 나

타낸다. 그림. 11은 EMI 필터를 접속했을 때 7-레벨 인버터 시스템의 실험 결과 파형들이다. 실험 파형에서 살펴보면 회로에서 커먼모드 전압과 전류에 대해 낮은 임피던스 루프의 형태를 이루므로 인버터에 의해 생성되는 커먼모드 전압이 커먼모드 인덕터  $L_c$ 에 가해지기 때문에 전동기 터미널 단자에 나타나는 커먼모드 전압의 값은 매우 작다. 이것은 전동기 단자의 각 (a)상전압에서 보듯이 고조파 성분이 없는 정현적인 파형이 됨을 의미하므로 커먼모드 전압이 감소됨을

확인 할 수 있다. (d)의 파형은 제작된 common magnetic 권선 구조의 29mH 커먼모드 인덕터  $L_c$ 에 나타나는 전압이고 이것은 인버터에 의해 생성된 커먼모드 전압이라 할 수 있다. 결과적으로, (f)커먼모드 전압의 rms값은 2.65V, (g)누설 전류  $i_g$ 의 rms값은 2.1mA로 필터를 접속하지 않은 시스템에 비해 전도성 노이즈인 커먼모드 전압과 누설전류가 현저하게 감소함을 각 실험 결과 파형들과 FFT분석을 통해 알 수 있다.

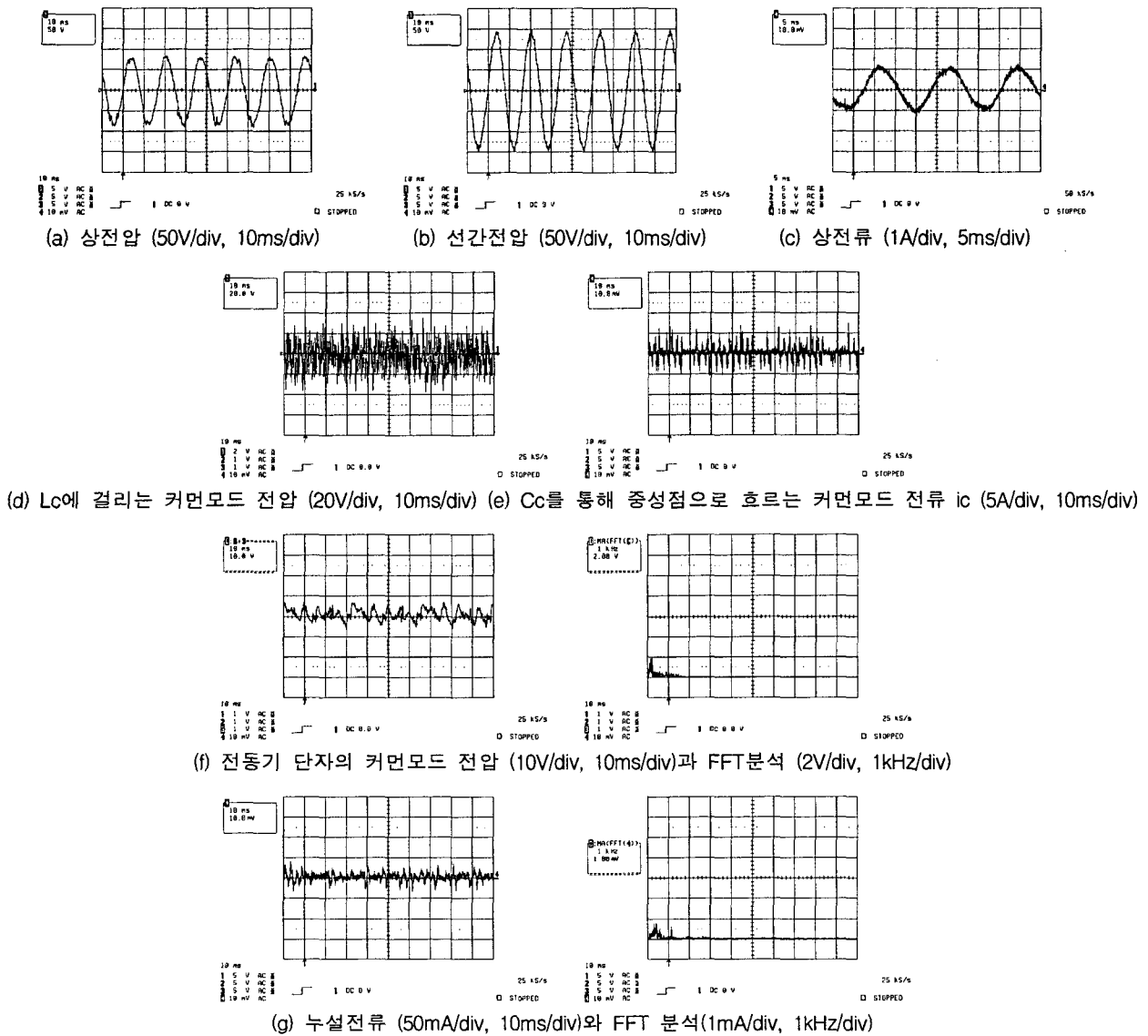


그림. 11 EMI 필터를 갖는 7-레벨 인버터 시스템의 실험 결과 파형  
Fig. 11 Experimental waveforms with CM and NM filter

### 5. 결 론

고전력 PWM 인버터 시스템에서는 스위칭 주파수를 높이는 것은 한계가 있어 멀티레벨 인버터를 적용하고 낮은 스위칭 주파수로 운전하여 스위칭 손실을 줄인다. 따라서 인버터가 낮은 스위칭 주파수와 고전력으로 운전하게 되어 높은 고조파 성분과 노이즈를 발생하게 된다. 이 같은 문제를 해결

하는 대표적인 방법으로는 필터를 이용하는 것이다. 시스템에 필터를 추가하게 되면 부피나 가격 등이 증가하게 되는 단점이 있으나 원하지 않는 EMI 노이즈를 확실하게 제거할 수 있다.

본 논문에서는 최근 중·대용량 시스템에 많이 사용되고 있는 3상 유도전동기 구동을 위한 H-bridge Cascaded 7-레벨 인버터 시스템의 EMI 필터를 설계 하였다. 설계된 EMI

필터를 제작하여 시스템을 구성하고 전동기 터미널 단자의 상전압, 선간전압, 상전류, 커먼모드 전압, 누설전류 등을 측정하여 EMI 필터를 접속하지 않았을 때의 7-레벨 인버터와 전도 노이즈를 비교 분석하였다. 그 결과, 각 실험 파형들을 통해 3상 유도전동기 구동을 위한 H-bridge Cascaded 7-level 인버터 시스템에 EMI 필터를 접속한 결과 필터가 없는 시스템에 비해 노멀모드 노이즈가 감소되었고, 전도성 노이즈인 커먼모드 노이즈가 크게 저감됨을 실험을 통해 확인하였다.

**참 고 문 헌**

[1] Parker, W.H., "Electromagnetic interference : a tutorial", Aerospace Applications Conference, 1996. Proceedings., 1996 IEEE , Volume: 3 , 3-10 Feb. 1996, pp. 177 -186 Vol.3.

[2] Jih-Sheng Lai; Xudong Huang; Shaotang Chen; Nehl, T.W., "EMI characterization and simulation with parasitic models for a low-voltage high-current AC motor drive Industry Applications", IEEE Transactions on ,40 ,1 ,Jan.-Feb. 2004, Pages:178 185

[3] Clayton R. Paul, Introduction to Electromagnetic Compatibility, John Wiley & Sons, Inc. 1992.

[4] H.S. Park, K.H. Park, .H. Kim, S.Y. Han, C.Y. Won, Y.R. Kim, " A Switching Technique for Common Mode Voltage Reduction of PWM-Inverter System using the DSP320F240", 2002 Power electronics Annual Conference, Volume 2, July. 2002, pages: 355 363

[5] Akagi, H.; Hasegawa, H.; Doumoto, T.; "Design and performance of a passive EMI filter for use with a voltage-source inverter having sinusoidal output voltage and zero common-mode voltage" Power Electronics, IEEE Transactions on Volume: 19,4,2004 Page(s):1069 - 1076



**김 수 홍(金洙弘)**

1976년 8월 11일생. 2002년 삼척대 제어계측공학과 졸업. 2004년 중앙대 전자전기공학부 대학원 졸업(석사). 2006년 현재 동대학원 전자전기공학부 박사과정.

Tel : 02-820-5290

E-mail : powerlab76@wm.cau.ac.kr



**안 영 오(安永五)**

1978년 2월 18일생. 2004년 전주대학교 정보통신공학과 졸업(학사). 2006년 중앙대학교 일반대학원 전자전기 공학부 졸업(석사).

Tel : 02-820-5290

E-mail : yoan21@nate.com



**방 상 석(方相石)**

1963년 11월 13일생. 1989년 중앙대 전기공학과 졸업. 2003년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년~현재 ㈜포스콘 기술연구소 수석연구원.



**김 광 섬(金光燮)**

1970년 10월 3일생. 1994년 한양대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~현재 ㈜포스콘 기술연구소 선임연구원.

**저 자 소 개**



**김 윤 호(金倫鎬)**

1949년 6월 20일생. 1974년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 미국 Texas A&M대학 졸업(공학). 2003년 당 학회 회장 역임. 2004년~현재 중앙대 전자전기공학부 교수, 당 학회 교문.

Tel : 02-820-5290

E-Mail : yhkim@cau.ac.kr