

# 고조파 저감을 위한 단상 NPC 멀티레벨 PWM 인버터의 LC트랩 필터 설계

金洙弘<sup>†</sup>, 金倫鎬<sup>\*</sup>, 李在鶴<sup>\*\*</sup>

## LC Trap Filter Design of Single Phase NPC Multi-Level PWM Inverters for Harmonic Reduction

Soo-Hong Kim, Yoon-Ho Kim and Jae-Hak Lee

### 요 약

본 논문에서는 단상 NPC 멀티레벨 인버터의 출력단 고조파 저감을 위한 LC트랩 필터의 설계 방법을 제시하였고, 출력전압 THD와 출력전류 고조파 FFT분석을 수행하였다. 제시된 LC트랩 필터는 일반적인 LCR필터와 중속 접속된 구조를 가지며, 스위칭 주파수에 동조되었다. 인버터 시스템은 고전력 응용에 적합한 NPC 멀티레벨 인버터를 사용하였으며, 제어기는 DSP(TMS320C31)을 사용하여 구성하였다. 제안된 시스템의 효용성은 시뮬레이션과 실험 결과를 통하여 증명하였다.

### ABSTRACT

In this paper, a design approach of LC trap filter for output side harmonic reduction of single phase NPC multilevel inverter is proposed, and THD of the output voltage and harmonic FFT of the output current are analyzed. The proposed filter consists of a conventional LCR filter cascaded with an LC trap filter and it is tuned to inverter switching frequency. A NPC multilevel inverter is used an inverter system for high power application and DSP(TMS320C31) is used for the controller. The effectiveness of the proposed system confirmed through simulation and experimental results.

**Key Words** : NPC multi-level inverter, LC filter, LC trap filter

### 1. 서 론

일반적으로, 단상 전압원 PWM인버터는 저전력 또는 중전력 UPS(uninterruptible power supply)시스템에 주로 사용되었다. PWM인버터는 고스위칭 주파수를 사용하므로 출력단에 많은 고조파 성분을 포함하게 되며, 이 고조파 성분들을 감소시키기 위해 출력단에

필터링 시스템을 연결하는 방법들이 연구되었다<sup>[1]</sup>.

LCR을 이용한 필터 회로는 특정 주파수에서 전압 고조파의 크기가 차단주파수와 제동 저항에 의한 제동량에 따라 달라지게 된다. 제동 저항이 인덕터에 직렬 연결된 필터 시스템은 차단주파수가 감소하고 제동 저항값이 증가함으로써 필터링이 향상된다. 제동저항이 커패시터와 직렬 연결된 필터 시스템은 제동 효과는 향상되지만, 차단주파수가 증가되어 필터링 효과는 감소하게 된다. 그러나 제동량의 증가는 제어루프의 지연 발생이나 시스템의 전압강하가 발생하여 효율을 감소시키는 문제를 유발하게 된다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서는 고전력 시스템에 적합한 NPC 멀티레벨 인버터를 사용한 출력단 LC트랩 필터 설계기법을

<sup>†</sup>교신저자 : 정희원, 중앙대 전자전기공학부 박사과정

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

<sup>\*</sup>정희원, 중앙대 전기전자공학부 교수

<sup>\*\*</sup>정희원, 중앙대 전기공학과 박사과정 수료

접수일자 : 2006. 3. 20      1차 심사 : 2006. 4. 24

2차 심사 : 2006. 5. 12      심사완료 : 2006. 5. 15

제시하였다. 제시된 LC트랩 필터는 스위칭 주파수에 동조되었으며, 이는 스위칭 주파수에서 전압 고조파 필터링에 매우 효과적이다. 또한 스위칭 주파수영역에서 LC트랩 필터는 개방회로와 같이 동작되므로 일반적인 LCR필터의 특성인 낮은 차단주파수에서 필요로 하는 큰 값의 제동 저항을 요구하지 않는다. LC트랩 필터를 연결한 경우 차단주파수의 범위를 좀 더 증가시키도 필터링 효과가 감소되지 않으므로 필터의 크기를 감소시킬 수 있다. 또한 LCR필터는 스위칭 주파수 대역뿐만 아니라 그 이상의 주파수에서 전압 고조파를 감쇠시킨다. 제시된 LC트랩 필터의 효용성을 출력전압과 출력전류의 THD 및 FFT분석을 통하여 증명하였다. 그리고 LCR필터의 차단주파수 영역을 증가시킨 경우에도 LC트랩 필터를 설치함에 따라 고조파가 감소되었음을 실험결과와 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다.

## 2. 단상 멀티레벨 PWM인버터 시스템

그림 1은 출력 필터 시스템을 갖는 단상 NPC 멀티레벨 인버터 시스템을 보여주고 있다.

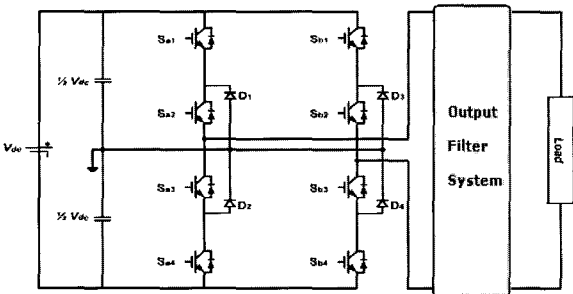


그림 1 출력 필터 시스템을 가진 단상 NPC 멀티레벨 인버터 시스템

Fig. 1 Singlephase NPC multi-level inverter system with output filter system

인버터 동작은 a상의 경우 스위치 Sa1, Sa2가 ON되고 Sa3, Sa4가 OFF되면 a상에는 1/2Vdc의 전압이 인가된다. 스위치 Sa2, Sa3가 ON되고, Sa1, Sa4가 OFF되면 영전위의 전압이 인가된다. 또한 스위치 Sa3, Sa4가 ON될 때, Sa1, Sa2가 OFF되면 중성점에 대하여 a상에는 -1/2Vdc의 전압이 인가되게 된다. 이와 같은 스위칭이 반복되면 a상의 전압레벨은 1/2Vdc, 0, -1/2Vdc가 나타나게 되며, a상과 b상의 전압레벨을 모두 고려한 경우 인버터의 출력 전압은 Vdc, 1/2Vdc,

0, -1/2Vdc, -Vdc의 5레벨 전압이 나타난다. NPC PWM인버터는 일반적인 PWM인버터에 비해 스위치의 수가 2배로 증가하는 단점은 있으나, 출력용량이 2배로 증가되는 장점을 가지고 있어서 고전력 시스템에 적합하다.

### 2.1 LCR출력 필터 설계

그림 2는 LCR 저역통과 필터 토폴로지를 보여주고 있다. 필터 시스템에서 필터 인덕터  $L_f$ 는 고차 고조파를 차단하기 위해 사용되었고, 필터 커패시터  $C_f$ 는 고조파들의 바이패스(bypass)를 제공하며, 제동저항  $R_d$ 는 인덕터와 커패시터의 공진을 막기 위한 제동기의 역할을 수행한다. 만약 필터 회로에서 필터 인덕터  $L_f$ 와 필터 커패시터  $C_f$ 가 충분히 큰 값이라면, 출력 전압은 정현파 형태로 출력될 것이다. 그러나 이들 필터 파라미터는 고전력 시스템의  $RL$ 부하를 위해 전압강하, 능동전력 손실, 전류 고조파와 공진 문제 등을 포괄적으로 고려하여 설계되어야만 한다.

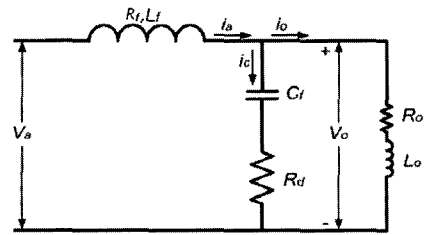


그림 2 LCR필터 등가회로

Fig. 2 Equivalent circuit of LCR filter

$RL$ 부하단 임피던스는 식 (1)과 같다.

$$Z_{Load} = \sqrt{\omega^2 L_o^2 + R_o^2} \tag{1}$$

그리고 LCR필터의  $CR$ 단 임피던스는 식 (2)와 같다.

$$Z_{C,R_d} = \sqrt{\frac{1}{\omega^2 C_f^2} + R_d^2} \tag{2}$$

일반적으로 출력필터는 필터의 차단주파수와 제동비, 필터 커패시터와 출력단 인덕터의 공진주파수 등에서  $Z_{Load}$ 와  $Z_{C,R_d}$ 의 비에 의해 결정된다. 출력필터 인덕터의 임피던스는 대개 기본주파수에서 부하단 임피던스의 비에 의해 설계되고 이는 5%보다 작아야 한다. 인덕터 내부 등가저항  $R_f$ 를 고려하여 필터 인덕터의

임피던스를 구하면 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$Z_{L_f} = \sqrt{\omega^2 L_f^2 + R_f^2} \quad (3)$$

여기서, 필터 인덕터의 등가 저항  $R_f$ 는 작은 값이므로 무시될 수 있다. 이들 임피던스를 이용하여 전체 임피던스  $Z_T$ 를 구하면 식 (4)와 같다.

$$Z_T = Z_{L_f} + (Z_{C_f} R_d // Z_{Load}) = \sqrt{\frac{L_o^2 \omega^2 (L_f C_f \omega^2 - 1)^2 + R_o^2}{(L_o C_f \omega^2 - 1)^2}} \quad (4)$$

일반적으로 필터 인덕터는 기본주파수에서 인덕터 양단의 전압강하는 정격 출력 전압의 5%보다 더 작은 값이 요구되고, 필터 커패시터는 기본주파수에서 필터 커패시터를 통하여 흐르는 전류가 출력단 정격 전류 용량의 10%보다 작아야 한다는 제약조건을 가지고 있다. 이들 조건을 수식으로 표현하면 식 (5)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} V_{L_f} &\leq 0.05 V_{o\_rat} \\ i_c &\leq 0.1 i_{o\_rat} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서,  $V_{o\_rat}$ ,  $i_{o\_rat}$ 는 각각 출력단 정격 전압과 정격 전류를 의미한다. 그림 2에서 인버터 출력전압  $V_a$ 와 출력전류  $i_a$ 를 이용하여 식 (6)과 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$\begin{pmatrix} V_a = V_{L_f} + V_o \\ i_a = i_c + i_o \end{pmatrix} \quad (6)$$

여기서  $V_a$ ,  $V_{L_f}$ ,  $V_o$ 는 각각 인버터 출력전압, 필터 인덕터의 양단 전압강하, 부하 출력단 전압을 나타내고  $i_a$ ,  $i_c$ ,  $i_o$ 는 인버터 출력전류, 필터 커패시터단 유입전류, 부하 출력단 전류를 나타낸다. 필터 시스템의 필터링 특성은 식 (7)과 같이 표현된다.

$$\frac{V_o}{V_a} = \frac{j\omega \frac{R_d}{L_f} + \frac{1}{L_f C_f}}{(j\omega)^2 + j\omega \frac{R_d}{L_f} + \frac{1}{L_f C_f}} \quad (7)$$

식 (7)의  $j\omega$ 를 Laplace 함수로 변환 후 다시 정리하면 식 (8)과 같이 표현된다.

$$\frac{V_o}{V_a} = \frac{2\xi\omega_o s + \omega_o^2}{s^2 + 2\xi\omega_o s + \omega_o^2} \quad (8)$$

제동비 ( $\xi$ )가 1보다 큰 경우 낮은 주파수에서 일정한 감쇠비를 가진다. 따라서 제동비는 일반적으로 1보다 더 작은 값을 선택하여 높은 주파수에서 일정한 감쇠비를 갖도록 한다. 왜냐하면 고주파수에서는 필터 인덕터의 임피던스가 필터 커패시터의 임피던스보다 크고 낮은 주파수에서는 이와 반대의 현상이 일어나기 때문이다.

논문의 실험 조건인 인버터 시스템의 변조비 0.85, 부하 출력 정격전압은  $80 V_{rms}$ , 정격 전류는 5A인 경우 식 (5)에 의해 필터 인덕터 양단 전압강하는 4V, 필터 커패시터단을 통하여 흐르는 전류는 0.5A로 제한할 수 있다. 또한 식 (8)을 이용하여 차단주파수는 -3dB에서 800Hz, 제동비는 1보다 작게 설정한다. 그림 3은 제동비에 따른 LCR필터의 주파수 특성을 보여주고 있다. 그림과 같은 주파수특성 그래프에서 원하는 감쇠비를 얻기 위해 적절한 차단주파수를 선정할 수 있으나, 낮은 차단주파수 선정은 필터 구성요소의 큰 값이 요구되고 이는 기본주파수에서 필터커패시터를 통하여 큰 값의 전류가 흐르게 하는 원인이 된다 [3,4].

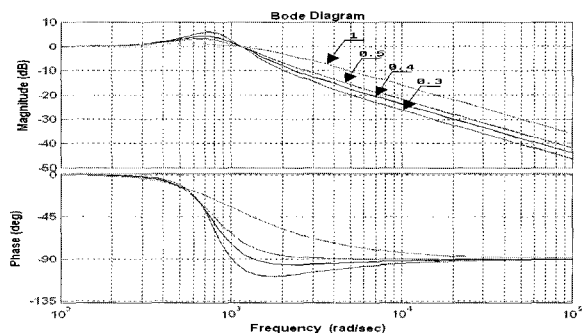


그림 3 LCR 필터의 주파수 특성  
Fig. 3 Frequency characteristics of LCR filters

앞에서 서술된 것과 같이 식 (5), 식 (8), 그림 3을 이용하여 다음과 같은 필터 파라미터 값을 구하였다.

$$\therefore L_f = 2 \text{ mH}, C_f = 19.79 \text{ } \mu\text{F}, R_d = 9.8 \Omega$$

### 2.2 LC트랩 필터 설계

그림 4는 LC전압 트랩 필터의 회로를 보여주고 있다. 제시된 LC트랩필터의 주된 목적은 스위칭 주파수 대역의 전압 고조파를 차단하는 것이다.

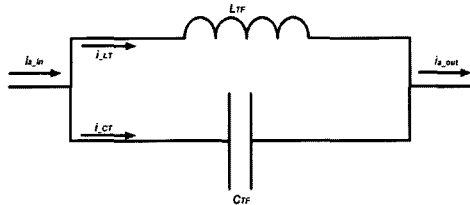


그림 4 LC트랩필터의 등가회로  
Fig. 4 Equivalent circuit of LC trap filters

LC트랩 필터의 임피던스는 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z(s) = \frac{(1/C_{TF})s}{s^2 + (1/L_{TF}C_{TF})} \quad (9)$$

스위칭 주파수에서 무한대의 필터 임피던스를 갖도록 적절한 LC트랩 필터값을 갖기 위한 필터의 코너 주파수는 식 (10)에 의해 결정된다.

$$f_{Tc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{TF}C_{TF}}} \quad (10)$$

식 (10)에서  $f_{Tc}$ 는 일반적으로 인버터 시스템의 스위칭 주파수와 동일한 값을 선택하면 된다. 비록 우리가 원하는 차단주파수를 가진 적절한 LC트랩필터의 값을 선택하여 이들 조합에 의해 차단주파수에서 무한대의 임피던스를 나타낼지라도 그 이외의 주파수에서는 임피던스값이 변화되므로, LC트랩필터의 값도 변화될 것이다. LC병렬공진회로 분석은 기존에 제시된 근사적 기법을 사용하는 것이 효과적이다<sup>[5]</sup>.

그러므로  $Q \geq 10$ 의 근사적 기법을 사용하여 LC트랩 필터의 필터 인덕터 값을 구한 후 식 (10)에 대입하여 필터 커패시터의 값을 구할 수 있다. 3레벨 인버터의 경우  $f_{Tc}$ 는 스위칭 주파수의 2배가 되므로, 본 시스템의  $f_{Tc}$ 는 4.8kHz를 선택하면 된다. 따라서 근사적 기법을 이용하여 얻어진 LC트랩 필터의 값은 다음과 같다.

$$\therefore L_{TF} = 2.8mH, C_{TF} = 0.4\mu F$$

그림 5는 식 (9)를 사용하여 스위칭 주파수가 고려된 트랩필터의 임피던스를 보여주고 있다.  $C_{TF}$ 값을 변화시켜 기본파 주파수와 코너주파수 주위에서 충분한 필터 밴드폭을 갖도록 트랩필터 값을 선택하면 되고, 본 실험에서는 트랩필터 커패시터의 값을  $0.4\mu F$ 으로 선택하여 실험을 수행하였다.

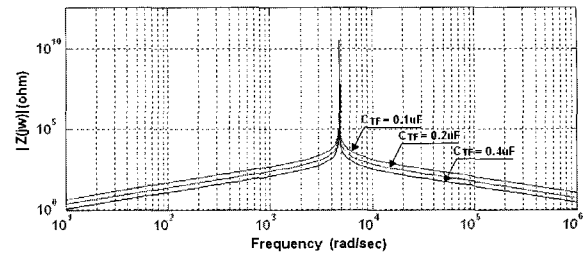


그림 5 커패시터 가변에 따른 LC트랩 필터의 임피던스 변화  
Fig. 5 Impedance of the LC trap filter with capacitor variation

### 2.3 LC트랩 필터와 LCR필터

효과적인 출력전압 필터링을 위해 앞에서 제시된 LCR필터와 LC트랩필터를 연결하여 사용할 수 있다. LC트랩필터가 인버터 스위칭 고조파를 제한함으로써 LCR필터단은 스위칭 주파수뿐만 아니라 여러 대역에서 고조파를 억제할 수 있다. 또한 LC트랩 필터를 이용하여 스위칭 고조파를 억제함으로써 LCR필터는 낮은 차단주파수와 큰 제동 저항값을 사용하지 않아도 되어 필터링에 효과적이다. 그림 6은 LCR필터와 종속 접속된 LC트랩 필터회로를 보여주고 있다.

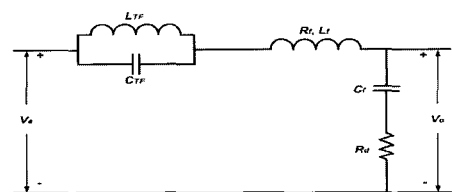


그림 6 LCR필터와 종속 접속된 LC트랩 필터회로  
Fig. 6 LC trap filter circuit with LCR filter

### 3. 시뮬레이션 결과

앞장에서 논의된 필터시스템 설계방법을 통하여 얻어진 필터 파라미터를 사용하여 시뮬레이션 회로를 구성한 후 그 결과를 검토하였다. 표 1은 시뮬레이션과 실험에 사용된 시스템의 파라미터를 보여주고 있다. 여기서, 출력단 부하는 저항 ( $20\Omega$ )과 인덕터 ( $6mH$ )가 직렬로 연결된 RL부하를 사용하였다.

표 1 시스템 파라미터  
Table 1 The system parameter

Parameter	Value
출력전압	80 [Vrms]
출력전류	5 [A]
스위칭 주파수	2.4 [kHz]
트랩필터 인덕터	2.8 [mH]
트랩필터 커패시터	0.4 [ $\mu$ F]

그림 7은 LCR 출력필터를 설치하지 않은 경우의 인버터 출력 파형을 보여준다. 그림 8은 LCR 출력필터를 설치한 경우 인버터 출력 파형을 보여주며 설계된 LCR필터회로에 의해 출력단 전압과 전류 고조파가 감소되었음을 알 수 있다. 그림 9는 LC트랩 필터를 LCR 필터와 함께 설치한 경우의 인버터 출력 파형을 보여주며 LCR필터만 설치한 경우인 그림 7의 출력파형과 비교하면 LC트랩필터를 설치한 경우 CR단 필터커패시터의 유입 리플 전류값이 감소하였고, 부하단 출력전압의 고조파가 감소됨을 알 수 있다.

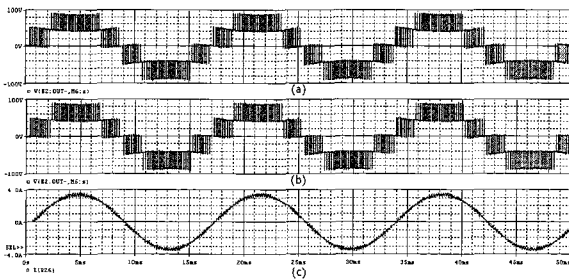


그림 7 LCR필터를 설치하지 않은 인버터 출력파형  
(a)  $V_a$  (b)  $V_o$  (c)  $i_c$  (d)  $i_o$   
Fig. 7 Inverter output waveforms with LCR filter  
(a)  $V_a$  (b)  $V_o$  (c)  $i_c$  (d)  $i_o$

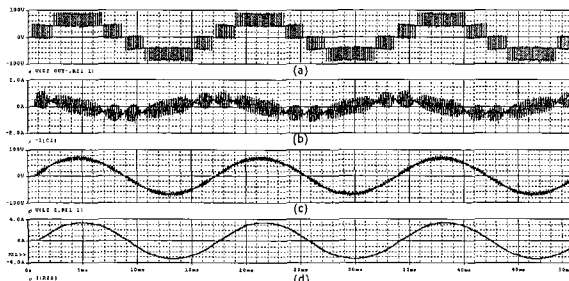


그림 8 LCR필터를 설치한 인버터 출력파형( $f_c=800\text{Hz}$ )  
(a)  $V_a$  (b)  $i_c$  (c)  $V_o$  (d)  $i_o$   
Fig. 8 Inverter output waveforms with LCR filter  
(a)  $V_a$  (b)  $i_c$  (c)  $V_o$  (d)  $i_o$

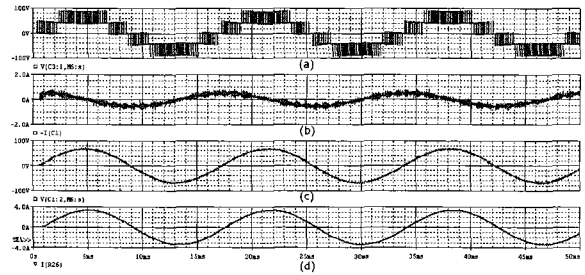


그림 9 LC트랩과 LCR필터를 함께 설치한 인버터 출력파형  
(a)  $V_a$  (b)  $i_c$  (c)  $V_o$  (d)  $i_o$   
Fig. 9 Inverter output waveforms with LC trap and LCR filter  
(a)  $V_a$  (b)  $i_c$  (c)  $V_o$  (d)  $i_o$

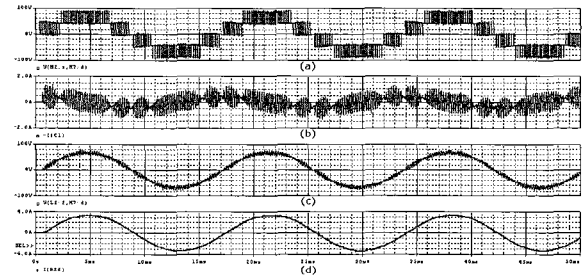


그림 10 LCR필터를 설치한 인버터 출력파형 ( $f_c=1200\text{Hz}$ )  
(a)  $V_a$  (b)  $i_c$  (c)  $V_o$  (d)  $i_o$   
Fig. 10 Inverter output waveforms with LC trap and LCR filter  
(a)  $V_a$  (b)  $i_c$  (c)  $V_o$  (d)  $i_o$

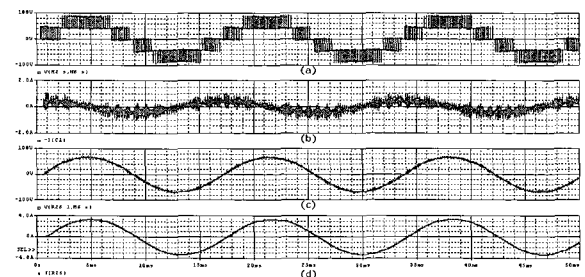


그림 11 LC트랩과 LCR필터를 함께 설치한 인버터 출력파형  
(a)  $V_a$  (b)  $i_c$  (c)  $V_o$  (d)  $i_o$   
Fig. 11 Inverter output waveforms with LC trap and LCR filter  
(a)  $V_a$  (b)  $i_c$  (c)  $V_o$  (d)  $i_o$

그림 10은 LCR필터만 설치한 경우 LCR필터의 차단 주파수를 증가시켜 필터 인덕터는  $1.5\text{mH}$ , 필터 커패시터는  $16\mu\text{F}$ 으로 설정하고, 계동 저항값을  $6\Omega$ 으로 감소시켰을 때 인버터 출력 파형을 보여주고 있다. LCR필터의 차단주파수를 증가시킬 경우 출력단 고조

파가 다소 증가하였다.

그림 11은 그림10과 같은 LCR필터 조건을 갖는 LCR 필터와 LC트랩 필터를 함께 설치한 경우의 인버터 출력 파형을 보여주고 있다. 그림 10과 그림11의 시뮬레이션 결과에서 보듯이 LC트랩 필터를 설치하여 스위칭 고조파를 억제함으로써 LCR필터는 낮은 차단 주파수와 큰 제동 저항값을 사용하지 않아도 효과적인 필터링을 나타냄을 확인하였다. 결과적으로 차단주파수를 증가시키고, 제동 저항값을 감소시켜도 LCR필터와 LC트랩필터를 함께 사용한 경우 부하 출력단 고조파가 감소됨을 알 수 있다. 또한 제동 저항값이 감소되므로 필터단의 효율을 증가시킬 수 있다.

#### 4. 실험 결과

그림 12는 인버터 출력필터를 설치하지 않은 경우의 출력파형을 보여주며, 많은 고조파를 포함하고 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 13은 LCR필터의 차단주파수를 800Hz로 설정한 경우의 출력파형을 보여준다. 인버터 출력단에 LCR필터를 설치한 경우가 설치하지 않은 경우에 비해 부하 출력단의 고조파가 감소됨을 알 수 있다. 그림 14는 LC트랩필터와 LCR필터를 함께 설치된 경우의 출력파형을 보여준다. LC트랩필터를 함께 설치한 경우 부하 출력단 전압 고조파가 감소됨을 확인하였다.

그림 15는 그림 9에 제시된 필터 파라미터를 기반으로 LCR필터의 차단주파수를 1200Hz로 설정하고 제동 저항을 감소시킨 경우의 출력파형을 보여준다. 차단주파수를 800Hz로 설정한 경우의 그림13과 비교하여 출력 전압과 전류의 고조파가 다소 증가되었다.

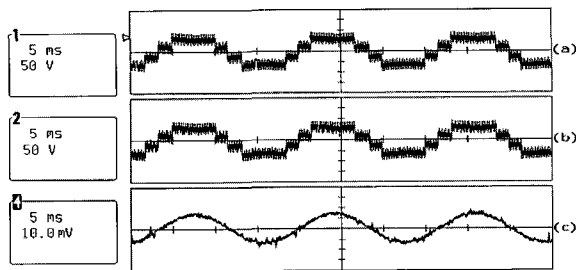


그림 12 LCR필터를 설치하지 않은 인버터 출력파형  
 (a)  $V_a$ (b)  $V_o$ (c)  $i_o$ [5A/div]  
 Fig. 12 Inverter output waveforms with LCR filter  
 (a)  $V_a$ (b)  $V_o$ (c)  $i_o$ [5A/div]

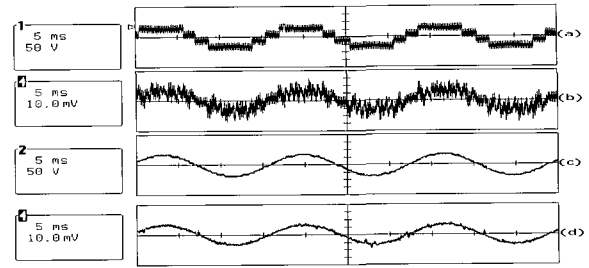


그림 13 LCR필터를 설치한 인버터 출력파형( $f_c=800\text{Hz}$ )  
 (a)  $V_a$ (b)  $i_c$ [1A/div](c)  $V_o$ (d)  $i_o$  [5A/div]  
 Fig. 13 Inverter output waveforms with LCR filter  
 (a)  $V_a$ (b)  $i_c$ [1A/div](c)  $V_o$ (d)  $i_o$  [5A/div]

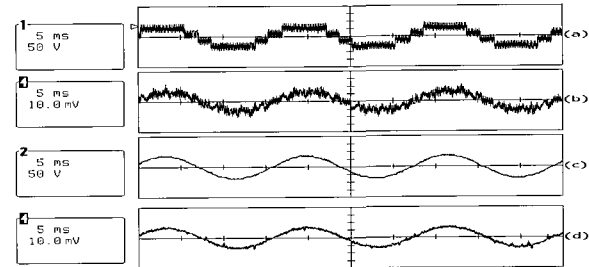


그림 14 LC트랩과 LCR필터를 함께 설치한 인버터 출력파형  
 (a)  $V_a$ (b)  $i_c$ [1A/div] (c)  $V_o$  (d)  $i_o$  [5A/div]  
 Fig. 14 Inverter output waveforms with LC trap and LCR filter  
 (a)  $V_a$ (b)  $i_c$ [1A/div](c)  $V_o$  (d)  $i_o$  [5A/div]

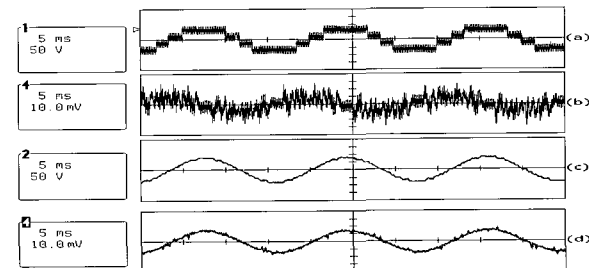


그림 15 LCR필터를 설치한 인버터 출력파형( $f_c=1200\text{Hz}$ )  
 (a)  $V_a$ (b)  $i_c$ [1A/div] (c)  $V_o$  (d)  $i_o$  [5A/div]  
 Fig. 15 Inverter output waveforms with LC trap and LCR filter  
 (a)  $V_a$ (b)  $i_c$ [1A/div](c)  $V_o$  (d)  $i_o$  [5A/div]

그림 16은 LC트랩필터와 LCR필터를 함께 설치한 경우의 출력파형을 보여준다. 이 경우 부하 출력단 고조파가 차단주파수가 800Hz(그림13)와 1200Hz(그림15)를 갖는 LCR필터만 설치한 경우보다 고조파가 더 감

소하였다. 그림 17은 인버터 부하단 출력전압의 FFT 분석 결과를 보여준다. LC트랩과 LCR필터를 설치한 경우 스위칭 주파수와 그 이외의 주파수 대역에서 부하단 출력전압 고조파가 감소함을 알 수 있다. 그림 18은 출력전압과 출력전류의 FFT분석 결과를 보여준다. 그림 18(a)는 3~99차까지의 출력전압 FFT분석 결과이고, 그림 18(b)는 3~21차까지의 출력전류 FFT분석 결과이다. 결과에서 보듯이 제시된 LC트랩필터와 LCR필터를 함께 설치할 경우 설치하지 않은 경우와 LCR필터만 설치한 경우에 비해 출력전압 고조파는 현저히 감소하였고, 출력전류 고조파 또한 감소됨을 알 수 있다.

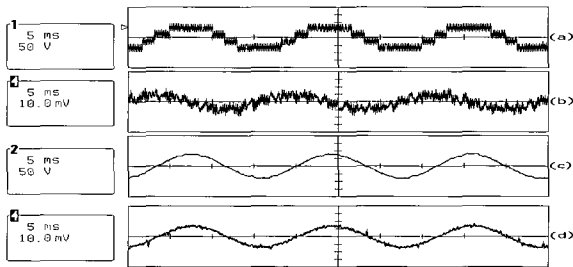


그림 16 LC트랩과 LCR필터가 있는 인버터 출력파형  
 (a)  $V_a$ (b)  $i_c$ [1A/div] (c)  $V_o$  (d)  $i_o$  [5A/div]  
 Fig. 16 Inverter output waveforms with LC trap and LCR filter  
 (a)  $V_a$ (b)  $i_c$ [1A/div] (c)  $V_o$  (d)  $i_o$  [5A/div]

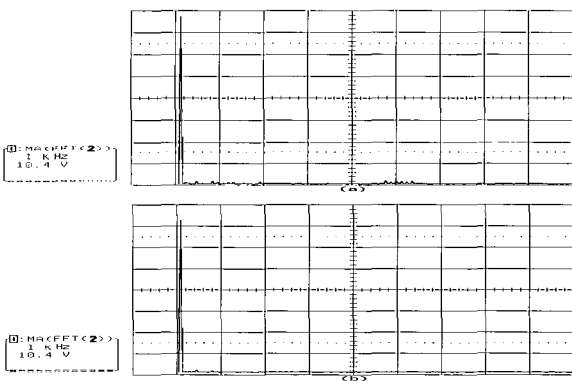
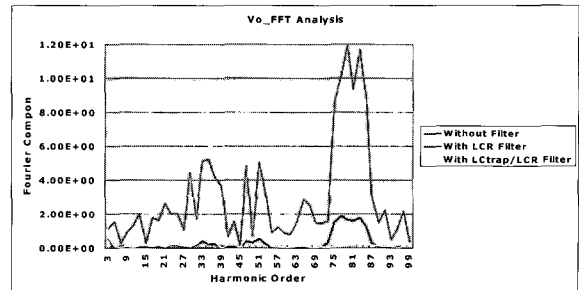


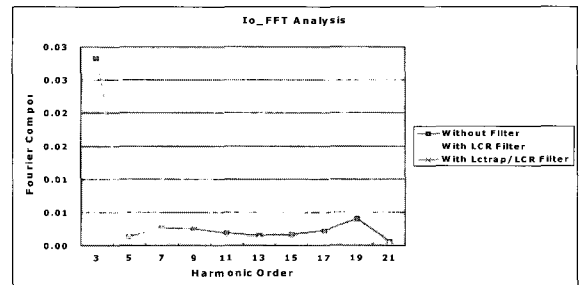
그림 17 인버터 출력전압 FFT  
 (a) LCR필터만 설치한 경우 (b) LC트랩/LCR필터를 설치한 경우  
 Fig. 17 Output voltage FFT of the inverter  
 (a) With LCR filter (b) With LC trap and LCR filter

표 2는 99차와 21차까지의 출력전압과 출력전류의 THD분석 결과를 보여주고 있다. 제시된 LC트랩 필터를 함께 설치함에 따라 THD는 더 감소함을 알 수 있

다. 그림 18과 표2의 고조파 및 THD분석은 Voltech사의 PM-3000a power analyzer를 이용하여 측정하였다.



(a)



(b)

그림 18 출력전압과 전류의 FFT분석 결과  
 (a)  $V_o$ \_FFT (b)  $I_o$ \_FFT  
 Fig. 18 FFT analysis results of output voltage and current  
 (a)  $V_o$ \_FFT (b)  $I_o$ \_FFT

표 2 THD 분석 결과  
 Table 2 The results of THD analysis

		Without Filter	With LCR Filter	With LC trap/LCR Filter
THD	$V_o$	59.8	8.63	3.55
[%]	$I_o$	27.6	4.13	3.47

## 5. 결론

본 논문은 단상 NPC멀티레벨 인버터의 출력 LCR필터 및 LC트랩 필터의 종속 접속 설계 방법을 제시하였다. 그리고 시뮬레이션과 실험을 통하여 얻어진 출력전압 및 출력전류 THD와 FFT분석을 통해 그 효과를 확인하였다. LCR필터만 설치한 경우는 설치하지 않은 경우에 비해 출력전압과 출력전류의 고조파가 감소하였으나, 스위칭 주파수 대역에서는 여전히 고조파가 발생하였다.

따라서 논문에서 제시한 LC트랩 필터를 LCR필터와 함께 설치함으로써 출력전압의 스위칭 주파수 대역에

서 노이즈를 감소시킬 수 있었다. 그리고 LC트랩필터를 LCR필터와 함께 설치한 경우, LCR필터가 낮은 차단주파수와 큰 제동 저항값을 갖지 않아도 효과적인 필터링을 나타냄을 확인하였다.



**이재학(李在鶴)**

1965년 3월 29일생. 1989년 중앙대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박).

**참 고 문 헌**

- [1] Hanigovszki. N, Poulsen. J, Blaabjerg. F., "A novel output filter topology to reduce motor overvoltage", Industry Applications, IEEE Transactions on, Vol 40, May-June. 2004, pp:845~852.
- [2] Yilmaz. Sozer, David A. Torrey, Suhan Reva, "New inverter output filter topology for PWM motor drives", Power Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 15, Nov. 2000, pp: 1007~1017.
- [3] 김수홍, 김윤호, 방상석, 김광섭, "NPC 멀티레벨 인버터의 고조파 분석 및 출력필터 설계", 전력전자학회 논문지 제 11권 제 2호, 2006. 4, pp: 135~141.
- [4] 최경진, 전태원, 이흥희, 노의철, 김홍근, "PWM인버터의 출력 LC필터에 의한 공진전압 억제 기법", 전력전자 학술대회 논문집(1), 2004, pp:415~419.
- [5] Jung-Hui Cheng, Witulski. A.F., "Simple design of selected 3-element converters by scaling the solution of the LC parallel resonant converter", APEC '96. Vol. 1, pp: 284~290.

**저 자 소 개**



**김수홍(金洙弘)**

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



**김윤호(金倫鎬)**

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