

# 3상 PWM 전압형 컨버터의 LCL필터 설계

정철현, 박승훈, 최명수, 조춘호\*, 김성곤\*\*, 김태웅  
 경상대학교, (주)한국항공우주산업\*, (재)자동차융합기술원\*\*

## LCL Filter Design of 3 Phase PWM Voltage Type Converter

Chul Hyun Jeong, Seung Hoon Park, Meong Soo Choi,  
 Choon ho Cho\*, Seong Gon Kim\*\*, Tae Woong Kim  
 Gyeongsang National University, Korea Aerospace Industries\*, JIAT\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 3상 PWM 전압형 컨버터의 LCL필터 설계기법을 제안한다. 3상 전압형 컨버터는 스위칭으로 인한 고조파를 함유하고 있기 때문에, 입력측 고조파 감소를 위한 수동필터가 필수적이며, 용량, 입력역률, 입출력 조건 등 여러 가지 파라미터를 필요하기 때문에 설계하는 데에 어려운 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 LCL필터의 최적 설계기준을 제안하며, 이에 대한 유효성을 입증하기 위해 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증한다.

### 1. 서론

전력품질에 대한 관심이 증가하고 예에 대한 제제가 심해지면서 3상 PWM 전압형 컨버터의 사용범위가 지속적으로 증가하고 있다. 3상 PWM 전압형 컨버터는 임의의 교류전원을 부하가 요구하는 형태의 직류전원으로 변환시키는 전력변환시스템이다. 지금까지 전압형 컨버터는 주로 토폴로지와 제어기법에 대해서 중점적으로 연구를 진행해서 많은 연구결과가 도출되었다. 이에 비하여 최근에는 시스템의 안정성을 증가시킬 수 있는 방안에 대해서 관심이 증가하고 있다.

본 논문에서는 임의의 교류전원을 별도의 정류회로 없이 6개의 스위치를 이용하여 승압된 직류전압을 출력하고 스위칭소자를 기반으로 계통의 입력전류위상을 제어하여 역률제어(PFC; Power Factor Correction)가 가능한 3상 PWM 전압형 컨버터에 대하여 기존 L필터보다 저가격과 작은 부피로 고조파를 저감시킬 수 있는 LCL필터의 설계기준을 도출하여 적용하고, PSIM기반 시뮬레이션해석을 통해 유효성을 검증한다.

### 2. 3상 PWM 전압형 컨버터

3상 PWM 전압형 컨버터는 입력단에 LCL 필터, 출력단에 전해커패시터, 그리고 6개 스위치(역병렬 다이오드와 구성된 스위칭소자)로 입력전압 및 전류, 그리고 출력전압을 검출하여 입력역률 및 출력전압을 제어하도록 구성한다.

여기서 PLL을 기반으로 입력전압 위상정보를 추정하여 입력전류 PFC 제어가 가능하도록 구성하였고, 또한 스위칭으로 인한 고조파전류 억제하기 위해 수동 L필터 대신에 수동 LCL필터로 구성하여 입력 수동필터의 사이즈 및 가격을 고려한

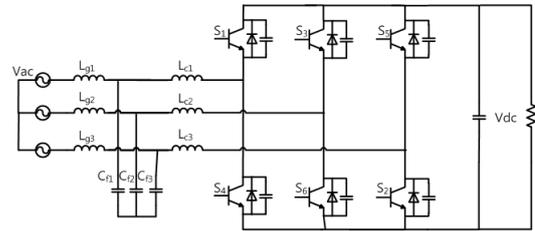


그림 1 LCL 입력필터로 구성된 3상 PWM 전압형 컨버터

### 3. LCL필터 설계기법

계통, 입력 LCL 필터, 그리고 전압형 컨버터로 구성된 전체 등가회로는 그림 2와 같이 도시할 수 있다.

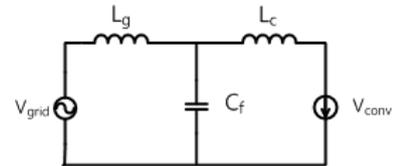


그림 2 입력 LCL필터를 가진 전압형 컨버터 등가회로

LCL필터의 설계에 있어서 우선 정격전력  $P_n$ , 입력전압  $V_{rms}$ , 스위칭주파수  $f_{sw}$  일 때 기저임피던스  $Z_b$ 와 기저커패시터  $C_b$ 는 아래 식(1) 및 식(2)를 통하여 계산하게 된다.

$$Z_b = \frac{V_{rms}^2}{P_n} \tag{1}$$

$$C_b = \frac{1}{\omega_b Z_b} \tag{2}$$

$$\omega_b = \omega_n \tag{3}$$

컨버터측 인덕터  $L_c$ 는 인덕터 설계사양을 고려해서 식(4) 및 식(5)를 통하여 계산하고 필터 커패시터  $C_f$ 는  $L_c$ 와 식(1)을 통하여 구한 기저임피던스를 기반으로 식(6)에 의해 계산하게 된다.

$$L_{min} = \frac{(1-D) \times D^2}{2f_{sw}} \times R_{out} \tag{4}$$

$$L_c = 1.25 \times L_{min} \tag{5}$$

$$C_f = \frac{L_c}{Z_0^2} \quad (6)$$

댐핑저항  $R_d$ 는 공진전류를 억제하기 위해 적절히 설정해야 한다. 공진주파수에서 L과 C의 임피던스가 동일하기 때문에 공진이 발생하게 된다. 따라서 공진을 저감하기 위해서 댐핑저항  $R_d$ 는 식(7)을 통하여 계산하게 된다. 계통측 인덕터  $L_g$ 에 병렬로  $R_d$ 를 연결하여 입력측의 임피던스를 작게 하고 공진전류는  $R_d$ 로 흘러 공진을 억제해준다.

$$R_d = \frac{\sqrt{L_g L_c C_f}}{2C_f \zeta \sqrt{L_g + L_c}} \quad (7)$$

고조파 감쇄비 HAR에 따라 입력측 인덕터  $L_g$ 를 식(6)을 통해 구한 컨버터측 인덕터  $L_c$ 와 식(10)을 기반으로 계산한다.

$$\frac{i_g(h_{sw})}{i(h_{sw})} = \frac{1}{|1+r(1-ax)|} \quad (8)$$

$$r = \frac{1+i(h_{sw})/i_g(h_{sw})}{ax-1} \quad (9)$$

$$L_g = r \times L_c \quad (10)$$

$$a = L_c \times C_b \times \omega_{sw}^2 \quad (11)$$

$$x = \frac{L_c \times \omega_b}{Z_0} \quad (12)$$

#### 4. 시뮬레이션

PSIM 기반시뮬레이션 회로 구성도는 그림 1과 같고, 3상 전압형 컨버터의 사양 및 LCL필터 설계기법을 통하여 계산된 LCL 필터 사양은 표 1에 보여준다.

시뮬레이션 결과 그림 3은 3상 PWM 전압형 컨버터의 입력전압, 지령출력전압 및 출력전압 시뮬레이션 파형을 그림 4(a)는 L필터인 경우 3상 PWM컨버터의 계통측 전류파형을 그림 4(b)는 LCL필터인 경우 계통측 전류파형을 보여준다. 그림5는 LCL필터로 구성된 3상 PWM컨버터의 입력역률제어시의 입력전압 및 입력전류 파형을 보여준다.

표 1. 시스템 사양

parameter	value	parameter	value
입력전압	380VAC	출력전압	700VDC
스위칭주파수	10kHz	출력전력	4.9kW
입력 인덕턴스 (LCL필터인 경우)	1.2mH	컨버터측 인덕턴스 (LCL필터인 경우)	1mH
필터커패시턴스 (LCL필터인 경우)	2.2uF	입력 인덕턴스 (L필터인 경우)	1.2mH
댐핑저항	32Ω	부하저항	100Ω

#### 5. 결론

본 논문에서는 3상 PWM 전압형 컨버터의 LCL필터 설계기준을 도출하여 제시하였으며, 시뮬레이션 해석을 통해 유효성

을 검증하였다. 그리고 L필터만으로 구성된 입력필터의 경우 시스템용량이 커질 경우에 필터 크기도 매우 커지게 되어 전체 시스템의 부피 및 무게가 커지며 가격도 상승되게 되어 LCL 필터를 도입하였고 L 및 C에 의한 공진현상을 억제하기 위해 댐핑저항을 계통측 인덕터에 병렬로 연결하여 구성하였다.

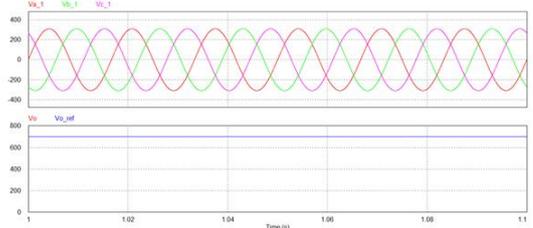


그림 3 3상 PWM 전압형 컨버터의 시뮬레이션 파형: (상) 3상 입력전압, (하) 지령출력전압 및 출력전압

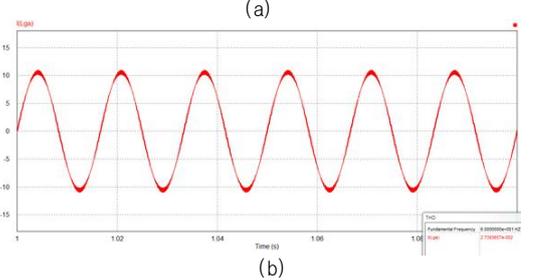
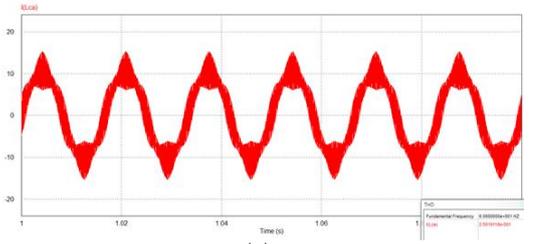


그림 4 입력필터의 구성에 따른 3상 PWM 컨버터의 계통측 전류파형: (a) L필터인 경우. (b) LCL 필터인 경우

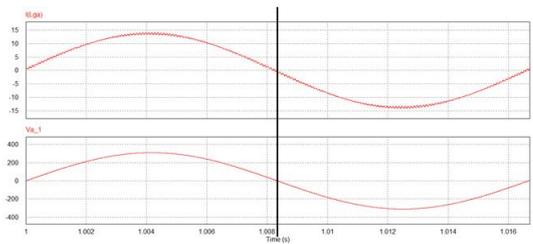


그림 5 LCL필터로 구성된 3상 PWM 컨버터의 입력역률제어시의 입력전압 및 입력전류 파형

#### 참고 문헌

- [1] 모동영, "매트릭스컨버터의 입력필터 설계," 경상대학교 석사학위논문, pp.38-44, 2010
- [2] 김형섭, 임원상, 김장목, 이동춘, 이교범, "3상 AC/DC PWM 컨버터의 전압센서 고장진단," 대한전기학회 학술대회 논문집, pp. 301 303.2012