

# 저가형 하이브리드 계통 연계 필터의 구성

김정훈, 김효선, 왕지명, 정대원\*, 양승학\*, 박성준  
전남대학교, 호남대학교\*

## Configuration of low-cost hybrid grid-connected filter

Jeong Hun. Kim, Hyo Seon. Kim, Zhi ming. Wang, Dae Won. Chung\*, Seung Hak. Yang\*,  
Sung Jun. Park  
Chonnam National University, Honam University\*

### ABSTRACT

최근 풍력발전등의 분산전원 설치가 많아짐에 따라 계통연계 인터페이스 필터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 인터페이스 필터는 LCL 필터인 경우가 대다수인데 그 제작과 설치 비용이 만만치않음이 현실이다. 그 중 코어와 코일의 복합체인 인덕터의 설치에 노력과 비용이 가장 크게 들어간다고 볼 수 있다. 본 논문은 최근의 하이브리드 타입의 코어에 착안하여 인덕터 설계에 있어서 페라이트/더스트코어 혹은 하이브리드타입 코어를 인입쪽의 인덕터(L1)요소로 하고 계통 인출쪽 인덕터(L2)를 규소강판으로 하는 혼합형 LCL 필터를 제안한다. 인입쪽의 L1C필터는 LPF로 작동하므로 L2를 저주파수용 규소강판으로 설계하여 결과적으로 비용을 저감함이 본 논문의 초점이다. 그 효과는 선형 재질을 사용한 PSIM 시스템 시뮬레이터를 활용하여 검증한다.

### 1. 서론

태양광, 연료전지, 풍력 등을 사용하는 신재생 에너지발전 시스템에는 직류 링크단을 입력으로 하여 제어할 수 있고 계통연계를 위한 교류 출력단 전류도 함께 제어할 수 있는 계통연계형 3상 PWM 전압형 인버터가 널리 사용된다. 일반적으로 이와 같은 인버터의 출력 전류에는 기본과 성분 이외에 스위칭 주파수와 정수배에 해당하는 고조파 성분이 포함되어 있다. 계통에 주입되는 전류의 고조파 성분을 줄이기 위해 인버터 출력단에 L 또는 LC 필터를 사용하게 되는데, 3차 지역 통과 필터와 같은 특성을 가지는 LCL 필터의 경우 L 또는 LC 필터에 비하여 낮은 필터 용량으로 더 높은 고조파 감쇄 효과를 보여 비용과 부피를 줄일 수 있다. 하지만 이 역시 파라미터 선정 과정이 복잡하고, 전류리플, 필터크기, 스위칭 리플 감쇄율, 필터 커패시터에 흐르는 무효전력 등의 많은 제약사항에 대하여 고려해야하는 단점을 가지고 있다.<sup>[1]</sup> 본 논문은 인버터단의 L과 계통단의 L의 코어 재료를 달리하여 하이브리드 형 LCL 필터를 제안한다. 인버터 단의 LC는 그것 자체로도 low pass filter의 역할을 하는바 뒷단은 그대로 저주파수용으로 쓰이는 코어 재료를 활용할 수 있다는 측면에 주목한 것으로서 기존의 LCL필터와 동일한 효과를 가지게 하면서도 비용을 줄일 수 있다는 점에 초점을 두었다.

### 2. 계통 연계형 LCL 필터의 구성과 시뮬레이션

#### 2.1 LCL 필터의 필요성

계통연계형 인버터는 스위칭 주파수로 인한 출력단에 고조파를 함유하고 있기 때문에 고조파 감소를 위한 수동필터가 필수적으로 필요하다.

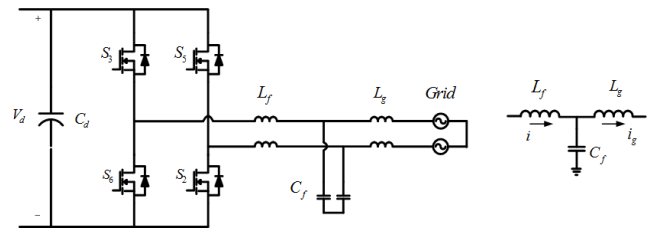


그림 1 단상 인버터와 LCL 필터의 구성

Fig. 1 single-phase inverter and Configuration of the LCL filter

#### 2.2 LCL 필터 파라미터의 결정 과정

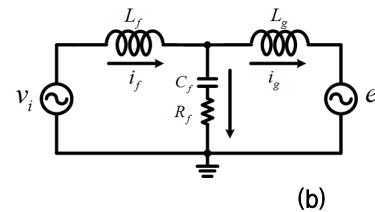


그림 2. LCL 필터 등가회로

Fig. 2 Equivalent circuit of the LCL filter

상기 그림은 LCL필터의 등가회로로써 LCL 필터링 이외에도 전류의 안정화를 위한 직렬저항이 포함되어 있다.

$$\frac{i(s)}{v(s)} = \frac{1}{L_f s} \frac{(s^2 + \frac{R_d}{L_g} s + z_{LC}^2)}{(s^2 + \frac{L_T R_d}{L_f L_g} s + w_{res}^2)} \quad (1)$$

$$z_{LC} = \frac{1}{\sqrt{L_g C_f}} \quad (2)$$

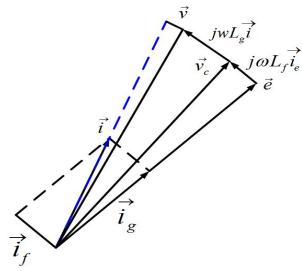


그림 3 LCL 필터의 페이저 다이어그램  
Fig. 3 phaser diagram of LCL filter

$$w_{res} = \sqrt{\frac{L + L_g}{LL_g C_f}} \quad (3)$$

$$\frac{i_g(s)}{v(s)} = \frac{1}{Ls + sL_g + s^2 L_g C_f L} = \frac{1}{Ls} \frac{L}{s^2 + LL_g C_f + L + L_g} \quad (4)$$

$$H(j\omega) = A \angle \phi \quad (5)$$

(1) (4)과정에서 전달함수가 구해지고 (5)는 주파수 영역에서 해석하기 위한 전달함수이다. 그 다음으로는 계통전류 제어의 안정성과 스위칭 고조파 성분에 대한 전류 감쇄 및 저차 고조파중 5고조파 성분에 대해 구속조건을 다음과 같이 설정해야 한다.

$$\frac{|Z| |I_R|}{e} < \alpha$$

$$|H(j\omega_s)| < \beta$$

$$|H(j5\omega_c)| < \gamma$$

이때  $\alpha = 0.27, \beta = 0.001, \gamma = 0.3$ 로 설정하여 설계한바 결과는  $L_f = 1.5\text{mH}, C_f = 80\mu\text{F}, L_g = 0.5\text{mH}$ 가 나왔다.

### 2.3 LCL 필터 시뮬레이션 환경

PSIM 시뮬레이션의 포화가능한 재질의 파라미터는 다음과 같이 결정하였다.

인버터쪽 L은 투자율 3000인 페라이트로 구성하였고 계통쪽 L은 투자율 5000의 규소강판으로 이뤄진 코어를 사용하였고 디멘션은 양쪽 모두 단면적  $1.24 \times 10^{-4}$ , 평균 자로 길이는 67mm가 되도록 설계하였다. 누설 인덕턴스는 각각 1퍼센트로 작게 설정하였다.

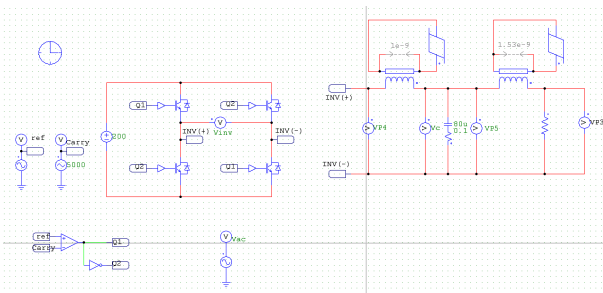


그림 4 간략화된 단상 인버터와 LCL 필터  
Fig. 4 Simplified LCL filter and single-phase inverter

상기 스키메틱은 PSIM의 마그네틱 엘리먼트를 이용한 것으로써 리니어 코어를 사용하였다.

### 2.4 LCL 필터 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과는 먼저 첫 번째 것은 L의 재질이 동일한 것에 의한 것이고 두 번째 것은 L의 재질이 하나는 페라이트 소재이고 다른 하나는 규소강 즉 하이브리드 타입에 의한 것이다.

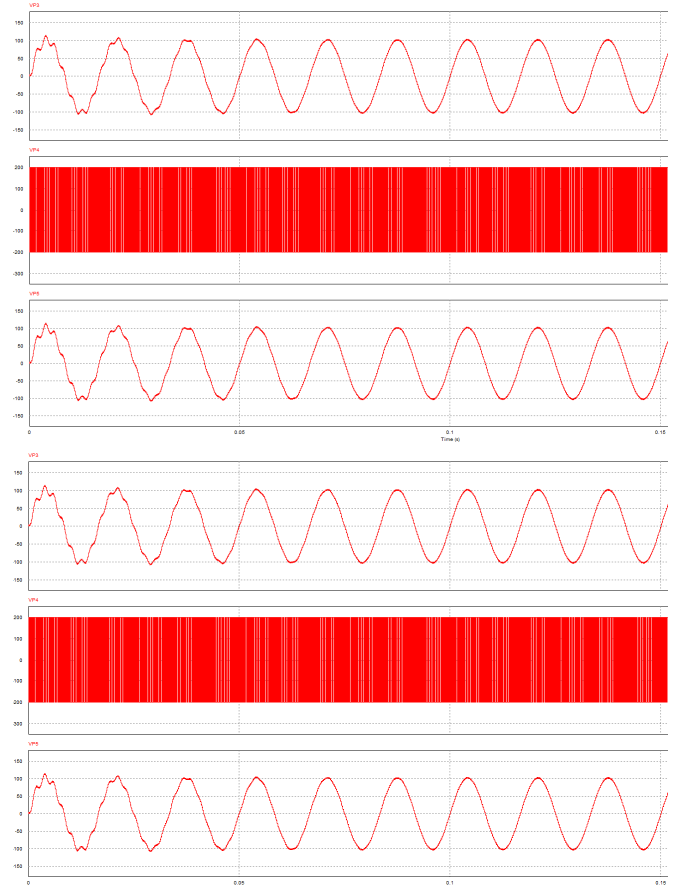


그림 5 간략화된 단상 인버터와 LCL 필터  
Fig. 5 Simplified LCL filter and single-phase inverter

예상했듯이 시뮬레이션 결과는 완전히 동일하게 나왔고 코어 재질을 다르게 설정할 수 있음을 알 수 있었다.

## 3. 결론

비선형 재질에 의한 시뮬레이션 결과가 나오지 않아 어렵지만 선형 재질에 의한 시뮬레이션 결과는 완전히 동일하게 나와서 계통쪽의 코어는 인버터단의 L과 다른 재질의 코어를 사용하여 전체적으로 LCL 필터의 가격을 저감시킬 수 있음을 시뮬레이션상 확인하였다.

## 참고 문헌

[1] 한철, 박병우, 양승학, 남해곤, 박성준  
전력전자학회, 전력전자학회 2011년도 학술대회 논문집 2011.7,  
page(s): 463 464