

# 계통연계형 인버터 병렬운전 시 LCL 필터 상호간섭 특성 연구

이 강, 조종민, 차한주  
 충남대학교 전기공학과

## A Study for Mutual Interference of LCL Filter under Parallel Operation of Grid-Connected Inverters

Gang Lee, Jongmin Jo, Hanju Cha

Department of Electrical Engineering, Chungnam National University

### ABSTRACT

본 논문은 LCL 필터를 사용하는 계통연계형 인버터의 병렬운전 조건에서 LCL 필터와 계통 임피던스 간의 상호간섭에 따른 공진특성을 분석하였으며, 시뮬레이션 및 실험을 통해 검증하였다. 인버터 병렬운전은 2대 조건을 고려하였으며, LCL 필터를 포함한 시스템 파라미터는 동일 조건으로 설정하였다. PCC 지점에 인버터 병렬운전 조건 시, 계통 임피던스 존재로 인해 각 인버터의 LCL 필터 간 상호간섭 영향이 발생하며 필터 공진주파수의 이동은 인버터 병렬연결 수와 계통 임피던스 크기와의 연관성을 분석하였다. PSIM을 통해 시뮬레이션하고, MATLAB/SIMULINK 2018a를 통해 검증한다. 실시간 디지털 시뮬레이터와 DSP 28377 제어보드 연동을 통해 2대 인버터 병렬운전 조건에서의 상호간섭 특성을 실험하였으며, 분석결과와 동일한 실험결과를 도출함으로써 해석의 타당성을 검증하였다.

### 1. 서 론

현대 생산과 삶의 요구로 인해 에너지에 대한 사람들의 요구는 계속 증가하고 있다. 현재 가용 에너지는 주로 석탄, 석유 및 천연 가스와 같은 재생 불가능한 화석 에너지이다. 많은 양의 에너지 수요가 화석 에너지를 고갈시킨다. 동시에 많은 양의 화석 에너지 소비로 심각한 환경 오염 문제가 발생했다. 따라서 새로운 에너지와 재생 에너지를 찾는 것이 인간 사회를 위한 유일한 길이 되었다. 화석 에너지의 부족과 환경 오염에 대처하기 위해 태양 에너지, 풍력 에너지 및 수력 에너지와 같은 재생 에너지의 개발이 주목을 받고 있다. 새로운 에너지 개발에 있어 인버터 기술이 특히 중요하며, 재생 가능 자원을 효율적으로 개발하기 위해서는 인버터의 기능과 특성을 숙달해야 한다.<sup>[1]</sup>

### 2. 계통연계형 인버터 병렬운전 시 LCL 필터 상호간섭 특성

분산 발전 시스템에서는 단일 인버터가 전력 수요를 충족시킬 수 없기 때문에 종종 두 개 이상의 병렬 작동 구조가 있다. 전력 변환 과정에서 좋은 품질 전류를 출력해야하기 때문에 스위칭 주파수가 10KHz 이상이므로 전류에 주파수가 높으며 전류의 출력은 고주파를 필터링해야한다. 본 논문에서 사용된 LCL 필터의 장점은 LCL 필터의 공진주파수 이상의 주파수에 대해 우수한 필터링 성능을 갖는다는 것이다. LCL 필터는 공

진특성을 갖고 병렬 인버터간에 순환 전류가 있기 때문에 병렬 작동 중에는 상호간섭이 있다. 그림 1은 LCL 필터 등가 회로이다<sup>[2]</sup>.

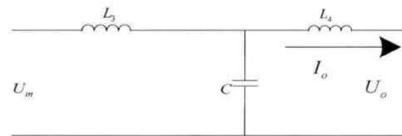


그림 1 LCL 필터 등가 회로

Fig. 1 LCL filter equivalent circuit

단일 인버터 작동 구조가 있는 경우 공진주파수가 식 (1)과 같다.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L_1 + L_2 + L_g}{L_1 \cdot (L_2 + L_g) \cdot C}} \quad (1)$$

병렬운전 인버터 작동 구조가 있는 경우 공진주파수가 식 (2)와 같다.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L_1 + L_2 + N \cdot L_g}{L_1 \cdot (L_2 + N \cdot L_g) \cdot C}} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에는 L1은 인버터측의 인덕턴스, L2는 계통측의 인덕턴스, C는 커패시터, Lg는 계통측 인덕턴스, N는 병렬운전 인버터 수량이다. LCL 필터의 공진 주파수가 시스템의 안정성에 영향을 영향하지 않도록하기 위해 본 논문의 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 과도 및 초기 과도 리액턴스 선정

Table 1 Selection of transient and initial transient reactances.

파라미터	값
L <sub>1</sub>	1.1 mH
L <sub>2</sub>	0.33 mH
L <sub>g</sub>	0.77 mH
C	10 uF
f	50Hz

식 (1)과 (2) 바탕으로 표 1의 파라미터 따라 인버터 병렬운전 시 LCL 필터 상호간섭 특성이 표 2와 같다.

표 2 인버터 병렬운전 시 LCL 필터 상호간섭 특성 결과  
Table 1 Result of mutual interference characteristic of LCL filter during parallel operation of inverter.

병렬운전 인버터 수량	공진 주파수
1	2146 Hz
2	1912 Hz

### 3. 계통연계형 인버터 병렬운전 모델링 및 검증

본 논문 사용한 시뮬레이션은 PSIM이다. 표 1의 파라미터 사용하고 표 2바탕으로 시뮬레이션을 한다. 그림 2는 단일 인버터 작동 구조가 있는 경우 회로 구조이다.

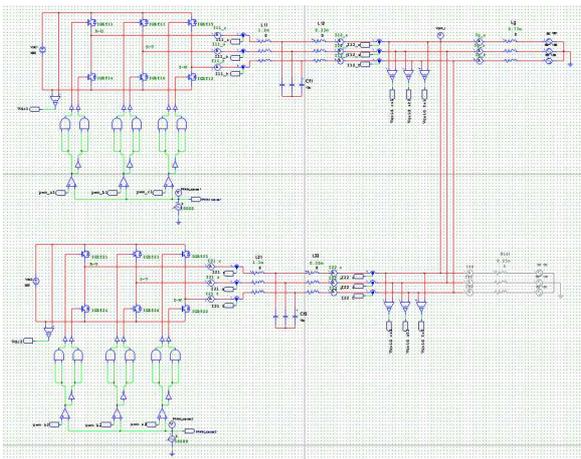


그림 2 계통연계형 인버터 회로 구조  
Figure 2 Grid-connected inverter circuit structure

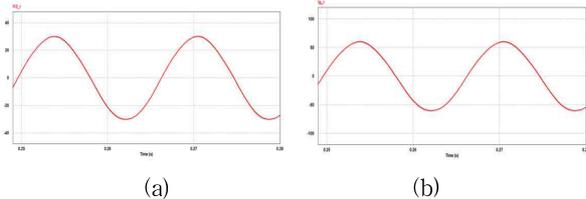
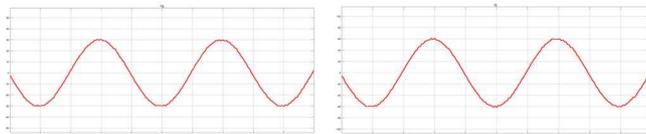


그림 3 PSIM 단일 및 병렬운전 인버터 작동 구조가 있는 경우 a상 전류 (a) 단일 (b) 병렬운전

Fig. 3 PSIM Comparison of a-phase current and resonant frequency with single

본 논문 사용한 검증 시뮬레이션은 MATLAB/SIMULINK 2018a 이다. PSIM 시뮬레이션으로 시뮬레이션을 한다.



1500 Hz (h30):	0.02	70.5°
1550 Hz (h31):	0.04	86.6°
1600 Hz (h32):	0.03	247.3°
1650 Hz (h33):	0.08	192.6°
1700 Hz (h34):	0.05	154.8°
1750 Hz (h35):	0.09	55.8°
1800 Hz (h36):	0.04	209.2°
1850 Hz (h37):	0.11	-75.2°
1900 Hz (h38):	0.06	65.1°
1950 Hz (h39):	0.02	-54.7°
2000 Hz (h40):	0.02	119.0°
2050 Hz (h41):	0.08	182.9°
2100 Hz (h42):	0.07	214.8°
2150 Hz (h43):	0.16	33.8°
2200 Hz (h44):	0.12	52.6°
2250 Hz (h45):	0.04	38.0°
2300 Hz (h46):	0.06	129.3°
2350 Hz (h47):	0.11	239.6°
2400 Hz (h48):	0.04	14.3°
2450 Hz (h49):	0.02	175.5°
2500 Hz (h50):	0.04	139.3°

(a)

1500 Hz (h30):	0.01	130.8°
1550 Hz (h31):	0.11	232.5°
1600 Hz (h32):	0.02	75.4°
1650 Hz (h33):	0.05	213.2°
1700 Hz (h34):	0.01	-19.4°
1750 Hz (h35):	0.10	210.6°
1800 Hz (h36):	0.02	189.6°
1850 Hz (h37):	0.15	1.8°
1900 Hz (h38):	0.05	25.5°
1950 Hz (h39):	0.00	-71.5°
2000 Hz (h40):	0.01	94.0°
2050 Hz (h41):	0.06	175.7°
2100 Hz (h42):	0.02	190.0°
2150 Hz (h43):	0.06	24.7°
2200 Hz (h44):	0.01	96.8°
2250 Hz (h45):	0.01	-47.1°
2300 Hz (h46):	0.01	227.9°
2350 Hz (h47):	0.02	-41.8°
2400 Hz (h48):	0.01	176.4°
2450 Hz (h49):	0.02	207.4°
2500 Hz (h50):	0.01	244.4°

(b)

그림 3 MATLAB 단일 및 병렬운전 인버터 작동 구조가 있는 경우 a상

### 전류 및 공진 주파수 비교 (a) 단일 (b) 병렬운전

Fig. 3 MATLAB Comparison of a-phase current and resonant frequency with single and parallel operation inverter operation structure

병렬 인버터의 수량이 증가함에 따라 공진 주파수가 2150Hz에서 1850Hz로 이동한다는 것을 시뮬레이션에서 알 수 있다. 이 결과로부터 인버터 병렬연계 시  $N \cdot L_g$ 에 해당하는 임피던스 영향으로 공진점이 이동한다는 분석 결과 검증한다.

### 4. 병렬운전 시 LCL 필터 상호간섭 특성의 실험검증

본 논문 사용한 실험 장비는 실시간 디지털 시뮬레이터와 DSP 28377 제어보드 연동을 통해 2대 인버터 병렬운전 조건에서의 상호간섭 특성을 실험하였다.

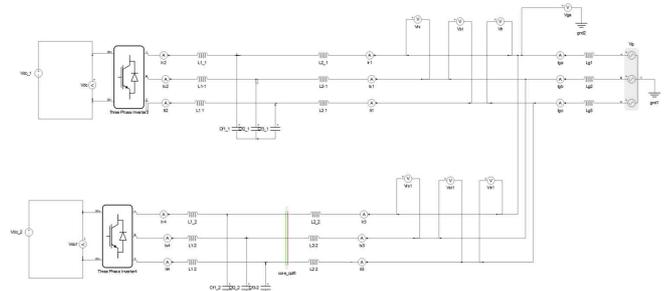


그림 4 계통연계형 인버터 회로 구조

Figure 2 Experiment structure and HILS Grid-connected inverter circuit structure

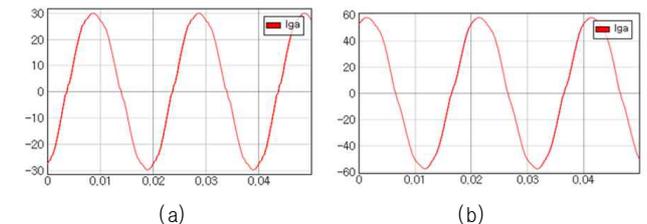


그림 3 실시간 디지털 시뮬레이터 실험 단일 및 병렬운전 인버터 작동 구조가 있는 경우 a상 전류 파형 (a) 단일 (b) 병렬운전

### 5. 결론

본 논문은 계통 임피던스의 존재로 인해 각 인버터의 LCL 필터간에 간섭 효과가 발생하고 인버터의 병렬연결 수량과 계통 임피던스 진폭 사이의 관계에 대해 필터가 분석된다는 시뮬레이션 및 실험을 통해 검증한다. 출력 파형을 분석하고 인버터 수량이 증가함에 따라 공진 주파수가 이동하는 것을 알 수 있다.

### 참고 문헌

[1] Analysis and Design of Stabilization Techniques for Distributed Generation Systems in Microgrid by Jongmin CHAPTER.5 2020.  
[2] Lamont A. Assessing the economic value and optimal structure of large-scale electricity storage[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2013,28(2):911-921