

# 마이크로그리드의 seamless transfer를 위한 비례공진 제어기반의 간접 전류 제어 기법

임경배, 고승우, 최재호  
충북대학교

## PR control based indirect current control method for seamless transfer of microgrid

Kyungbae Lim, Seungwoo Ko, Jaeho Choi

<sup>1</sup> School of Electrical Engineering, Chungbuk National University, Chungbuk, Korea

### ABSTRACT

본 논문은 마이크로그리드의 seamless mode transfer를 위한 부하 위치에 따른 고조파 보상 기능을 가진 간접 전류 제어기법을 다루고 있다. 분산 발전 기반의 마이크로그리드는 계통 연계 모드와 독립 운전 모드시 각각 전류 제어기와 전압 제어기로 정의되며 각 모드에서 고품질의 전력공급을 위하여 강인한 제어기가 필요해진다. 이때 계통 왜곡이나 비선형 부하의 연결등은 시스템의 전력 품질 악화를 초래할 수 있으며 이러한 문제를 해결하고자 많은 연구가 진행되었다. 본 논문에서는 계통연계 모드 뿐만 아니라 독립 운전 모드에서도 사용 가능한 비례공진 제어 기반의 간접 전류 제어기법을 제안하였고 부하 위치에 따른 고조파 보상 기법과 안정적인 모드변환을 동시에 고려하였다. 또한 비례 공진 제어기의 실용적인 모델을 사용함으로써 때때로 야기되는 독립 운전시의 전압 크기 감소에 대한 대책으로 적용이 간편한 전압 회복 기법도 추가되었다. 결과적으로 비선형 부하를 공급하기 위한 제안된 방식은 계통 연계와 독립 운전 모드에서 안정적인 전력 공급과 모드 전환 특성을 가짐을 PSIM 시뮬레이션을 통해 입증되었다.

### 1. 서론

태양광, 풍력, 연료 전지등의 신재생 에너지를 기반으로 하는 분산발전을 통합한 요소인 마이크로그리드는 유동성있고 신뢰할 만한 전력 공급이 가능하다는 측면에서 최근 각광받고 있으며 이때 각각의 에너지원들은 인버터를 통해 계통과 연결된다. 계통 연계 모드시 마이크로그리드는 계통에 대하여 보조 전력원으로 동작하게 되며 이러한 이유로 계통 연계형 인버터는 전류 제어를 수행함과 동시에 계통 연계 운전의 제한된 전류 고조파 범위 내에서 전력을 공급할 의무를 지니게 된다. 반대로 계통 사고나 전락적으로 독립 운전이 필요할 시, 마이크로그리드는 static switch를 개방함으로써 독립 운전 모드로 전환되며 이때 마이크로그리드는 계통과의 연계 없이 모든 지역적 부하 전체의 수요를 담당해야 하기 때문에 전압원으로 정의된다. 두 모드에 대한 전력품질 연구가 기존에 활발하게 이루어져 왔으며 최근에는 두 모드 사이의 전환 구동 시의 전력품질에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. [1]에서는 각각 계통연계에서 전류

제어기, 독립운전모드에서 전압제어기를 사용하고 있으며 서로 다른 제어기를 사용하기 때문에 출력 전압과 전류가 모드 전환 시 동특성이 영향을 받았다. [2]에서는 sine & cosine table에 기초한 간접 전류 제어방식을 사용하고 있다. 이때 두 모드에서 같은 제어기를 사용하고 있기 때문에 모드 전환시 출력 전압 품질이 [1]에 비해 대폭 향상되었다. [3,4]에서는 시스템 특성을 고려하여 설계된 리미터와 안정적인 모드 전환 특성을 동시에 고려한 간접전류 제어기법이 소개되었다. 하지만 제안된 방식을 통해 seamless mode transfer가 가능하다 할지라도 독립운전모드시의 전압이 정상상태에서 정격 값과 차이를 두고 지령치가 결정된다는 점에서 한계를 지닌다.

본 논문에서는 위와 같은 사항들을 고려하여 비례 공진 제어를 기반으로 한 간접 전류 제어 방식을 제안한다. 제안된 방식은 모드 전환 시 seamless transfer가 가능하도록 설계되었고 추가적으로 간단히 적용 가능한 독립 운전모드시의 출력 전류 전압 매그니튜드 추종법을 추가하여 독립 운전 모드시에도 출력 전압 매그니튜드가 지령치로서 동작하도록 하고자 하였다. 제안된 방식은 PSIM 시뮬레이션을 사용하여 검증되었다.

### 2. 제어기 설계

그림 1은 본 논문에서 사용된 비례 공진 제어 기반의 간접 전류 제어기를 보여준다. 이 제어기는 [5]를 기준으로 설계된 내부 출력 전압 제어기와 외부 출력 전류 제어기를 통해 구성되었으며 두 모드와 모드 전환시에도 같은 제어기를 사용함으로써 seamless transfer를 보장하고 있다. 그림에서 확인가능 하듯,

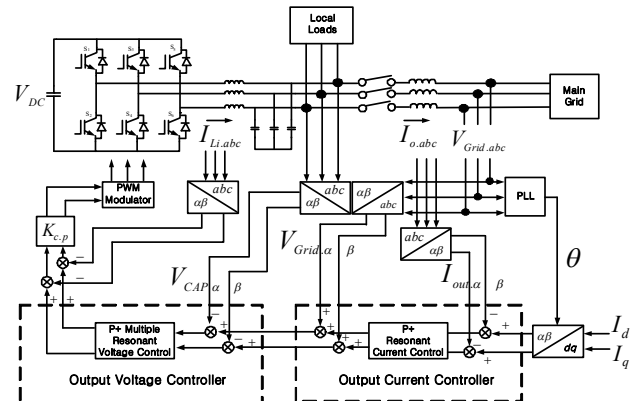


그림 1. Seamless mode transfer를 활용한 제안된 제어방식

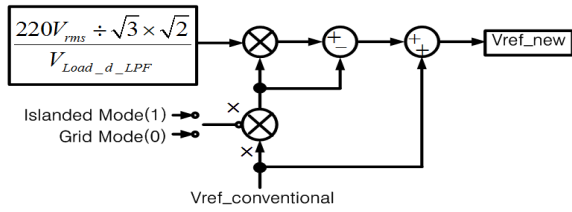


그림 2. 제안된 지령 전압 조정 방식

출력 전류 제어기는 기본파만을 고려한 비례 공진 제어기로 구성되어 있고 내부 출력 전압 제어기는 고조파 텀을 고려한 비례 다중 공진 제어기로 구성되어 있다. 이는 출력 전압에 대한 고조파 감소가 결과적으로 출력 전류의 고조파 감소에도 영향을 주기 때문에 두 제어기 모두에서 고조파 보상을 해야할 필요성을 갖지 않는다. 추가적으로 서론에서 언급한 것처럼 간접 전류 제어 방식에서는 독립 운전 모드의 전압 매그니튜드 추동이 큰 이유로 부각된다. [3,4]의 경우 출력 값이 지령 값 보다 크게 되어 문제가 되었다면 [5]의 경우는 독립운전 모드 시 실용적인 PR 제어기가 갖는 감쇄효과에 의해 출력 전압이 지령치보다 약간 낮게 형성되는 경향을 보인다. 따라서 그림 2 와 같이 이러한 실용적 PR 제어기의 약점에도 불구하고 출력 부하 전압이 정격 값을 유지하도록 지속적으로 전압 지령치를 수정해주는 방법이 제안되었다. 제안된 방식은 별도의 제어기의 추가 없이도 실제 지령치와 출력 값과의 비교를 통해 지령 전압  $V_{Grid\_af}$  에 전향 보상함으로써 간단히 적용 가능하다.

### 3. 시뮬레이션

표 1 은 시뮬레이션에 사용된 시스템 파라미터를 보여준다. 각 제어기 게인들은 시스템 공진과 위상 여유 등의 고려로 획득되었다. 그림 3 은 제안된 방식을 사용하지 않은 출력 전압, 전류 시뮬레이션을 보여준다. 보여지는 바와 같이 0~0.5 초, 1~1.5 초까지 인버터는 계통연계모드로 운전되고 0.5~1 초까지는 독립운전 모드로 구동된다. 그림에서 확인 가능하듯 0.5 초까지는 인버터가 지령 출력 전류를 충족하여 운전되다가 ①에서 독립 운전으로의 변환에 대한 지령이 내려지면 출력 전류의 지령치를 0 으로 변환하며 출력 전류가 감소한다. ②에서 static switch 를 off 하여 인버터와 계통과의 연결을 끊는다. ③에서 독립 운전 모드로 동작하는 인버터는 계통연계로 모드로 변환되고 이때 static switch 를 on 하고 지령 전류는 0 에서 다시 공칭 값으로 바뀐다. 이때 static switch 가 on 되는 시점과 지령 전류의 변화에 대한 시퀀스는 static switch 가 먼저 on 되어야 하며 두 시점 사이의 시간차는 출력 전압의 과도 특성을 변화시키지 않는다. 여기서 주목할 점은 인버터의 운전이 계통연계 → 독립운전 → 계통연계모드로 바뀌면서 출력 전압이 일정하게 유지된다는 점이다. 이는 인버터가 두 모드에서 하나의 제어기만으로 구동되기 때문이다. 그림 4 는 각각 기존의 방식과 제안된 조정 전압 방식을 사용 하였을 때의 부하전압 d 축 매그니튜드 값을 보여준다. 기존의 방식은 독립 운전 모드에서 출력 전압 저하현상을 보이지만 4-(b)와 같이 제안된 방식을 사용하였을 때 독립운전 모드에서 정격 전압 추종 능력 및 과도특성이 개선된 것을 확인할 수 있다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameters	Value	Unit	
DC link voltage	400	V	
Rated output voltage	220	Vrms	
Switching frequency	5	kHz	
Filter capacitor Cf	15	uH	
Filter inductor Li, Lg	2, 1	mH	
Rated output current Id	14	A	
Output Current Controller	P gain(Kpi)	2	$\Omega$
	Resonant gain	100	$\Omega$
	Cut-off Freq ( $\omega_{1cut}$ )	4	rad/s
Output Voltage Controller	P gain(Kpv), P gain(Kcp)	0.0354, 23	$\Omega^{-1}, \Omega$
	Resonant gain (1st)	38	$\Omega^{-1}$
	Resonant gain (5th)	76	$\Omega^{-1}$
	Resonant gain (7th)	76	$\Omega^{-1}$
Cut-off Freq ( $\omega_{1,5,7cut}$ )	4, 20, 28	rad/s	

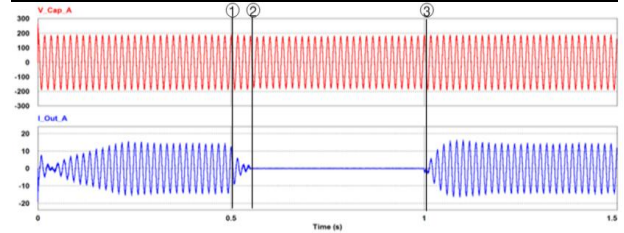
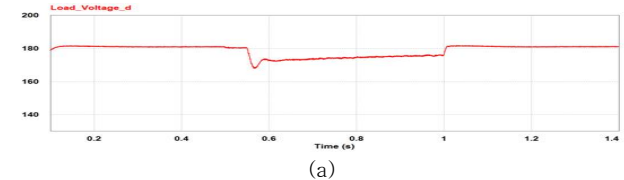
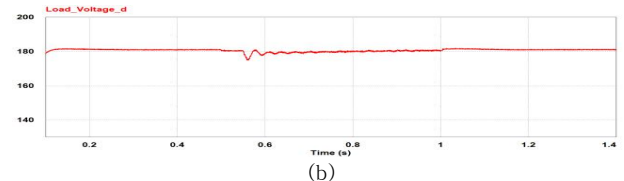


그림 3. 제안된 지령 전압 조정법을 적용하지 않은 간접 전류 제어기 시뮬레이션 (계통연계->독립운전->계통연계)



(a)



(b)

그림 4. (a) 그림 3 의 독립운전모드 영역 (b)제안된 방식을 사용해 조정된 독립운전모드의 전압 매그니튜드

### 4. 결론

본 논문에서는 독립운전 시 출력 전압 매그니튜드 조정 기법이 추가된 비례공진제어기반의 간접 전류 제어기를 통해 독립 운전 모드에서도 신뢰할만한 전력 품질을 갖는 seamless transfer를 갖는 제어가 가능함을 보였다. 제안된 방식은 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증되었고 향후 실험을 통해 재검증될것이다.

### 참고 문헌

- [1] R. Teodorescu and F. Blaabjerg, "Flexible control of small wind turbines with grid failure detection operating in stand-alone and grid-connected mode," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 19, no. 5, pp. 1323-1332, 2004.
- [2] J. Kwon, S. Yoon, and S. Choi, "Indirect current control for seamless transfer of three-phase utility interactive inverters," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 2, pp. 773-781, 2012.
- [3] Zeng Liu and Jinjun Liu, "Indirect current control based seamless transfer of three-phase inverter in distributed generation," *IEEE Trans. on Power Electronics.*, vol. 29, no. 7, pp.3368-3383, 2014.
- [4] Zeng Liu, Jinjun Liu, and Yalin Zhao, "A Unified control strategy for three-phase inverter in distributed generation," *IEEE Trans. on Power Electronics.*, vol. 29, no. 3, pp. 1176-1190, 2014.
- [5] 임경배, 김동환, 최재호, "계통연계형 인버터를 위한 비례다중공진제어 기반의 캐스캐이드 전류-전압 제어기 설계," 2014 전력전자학회 추계학술대회 논문집, pp.135-136,2014.