

# 비선형 부하 연결시 마이크로그리드 인버터의 고조파 보상을 위한 출력 전압 제어 방식

임경배<sup>1</sup>, 최재호<sup>1</sup>, 장주영<sup>2</sup>, 문상호<sup>2</sup>, 김재식<sup>2</sup>  
 충북대학교<sup>1</sup>, 포스코에너지<sup>2</sup>

## Inverter Output Voltage Regulation for harmonic compensation with non-linear load connection

Kyungbae Lim<sup>1</sup>, Jaeho Choi<sup>1</sup>, Juyoung Jang<sup>2</sup>, Sangho Moon<sup>2</sup>, Jaesig Kim<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> School of Electrical Engineering, Chungbuk National University, Chungbuk, Korea  
<sup>2</sup> POSCOenergy, Pohang, Korea

### ABSTRACT

본 논문은 인버터 독립운전모드에서의 출력 전압 제어 방식을 다루고있다. 본 논문은 계통 연계 모드와 독립 운전 모드간의 모드 전환이 가능한 계통 연계형 인버터 출력단에 비선형 불평형 부하 연결시 발생하는 출력전압 왜곡현상에 대처하기위해 기존에 주로 사용되는 PI 제어를 이용한 방식을 대신해 고정좌좌표계 또는 abc natural 프레임 하에서 사용되는 PR 제어를 사용하여 고조파 보상을 수행하였으며 추가적으로 계통 연계 모드시 외부 PR 출력 전류 루프와 내부 PR 출력 전압 루프를 가지는 제어기를 제안하였고 이러한 제어 방식이 계통 연계 모드의 출력 전압 THD 성능개선에 효과적임과 동시에 또한 모드 변환시의 동특성을 좀더 개선할 수 있다는 점을 입증하였다.

### 1. 서론

계통 연계형 인버터 전압 또는 전류 제어는 다양한 분산발전을 통합한 요소인 마이크로그리드의 지역적인 특성과 계통사고시 지역적 부하에 유동성있고 신뢰할 만한 전력 공급에 대한 요구가 점차 증대됨에 따라 최근 큰 이슈로 부각되고 있다. 출력 필터를 가진 인버터 독립 운전 모드에서의 전압 제어에서는 필터성분으로 인해 출력 임피던스가 Non-zero 의 특성을 가지기 때문에 빠르고 강인한 전압 제어가 필요되어지며 출력단에 비선형 부하 연결 시 부하측에서 발생하는 고조파로 인해 매끄러운 출력 전압 제어가 쉽지 않게 된다. 따라서 [1,2]는 외부 출력 전압 제어루프와 내부 전류 제어 루프로 구성되며 추가적으로 고조파 보상 제어팀을 추가하여 독립 운전 모드시 비선형 부하 연결에 의한 전압 왜곡에 대처하였다. 이제 이러한 독립 운전 모드시 고조파 보상 기법을 계통 연계 운전 모드로 확장시켜보자. 계통 연계 운전 모드에서는 인버터가 전류원으로 정의되기 때문에 인버터의 전류 제어가 필요되어지며 따라서 이러한 인버터 전류 제어를 위해서는 주로 단일 전류 제어 루프로 구성된 제어기가 사용되어진다. 하지만 그림 1과 같이 인버터 출력단에 연결된 지역적 부하가 비선형 부하일 때는 인버터의 전류 제어 뿐만 아니라 인버터의 출력 전압 제어도 고려되어야만 한다. 따라서 본

논문에서는 인버터 출력 전류 뿐만 아니라 출력 전압제어도 고려하여 P+ 다중 공진 제어기를 활용한 계통 연계 모드 뿐만 아니라 독립운전 모드에서도 사용가능한 캐스케이드 전류-전압 제어기를 제안하고 PSIM simulation tool 과 실험을 통해 제안된 방식이 전압 고조파 보상에 효력을 보임을 입증하였다[3].

### 2. 제어기 설계

앞서 언급한 것처럼 본 논문에서는 비선형 지역부하로 인한 고조파 발생에 대처하고자 P+ 다중 공진 전압 제어기를 사용하였으며 이는 식 (1) 과 같다.

$$C_{PR} = K_P + \sum_{h=1,5,7th} K_{ih} \frac{s}{s^2 + 2\omega_{cut} s + \omega_h^2} \quad (1)$$

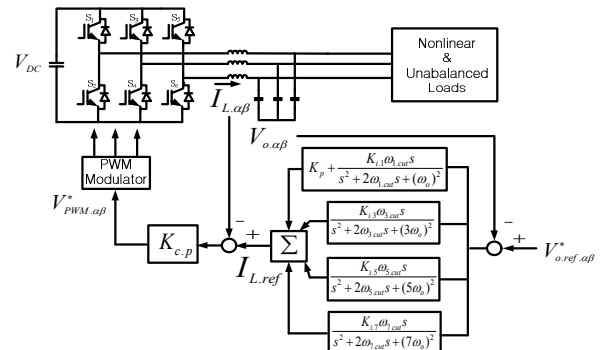


그림 1. P+ 다중공진제어기를 활용한 인버터 출력 전압 전제 제어 방식

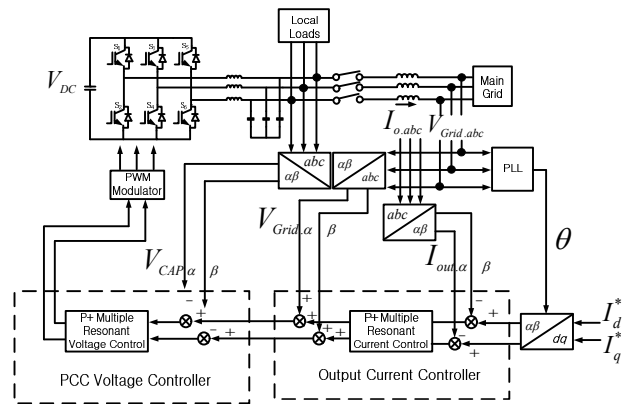


그림 2. 제안된 P+ 다중 공진 제어기를 활용한 캐스케이드 전류-전압 제어기 전체 제어방식

그림 1 은 P+다중 공진 제어기를 활용한 인버터 출력 전압 전체 제어 방식을 보여준다. 3 차 고조파 보상법은 그림상에서는 불평형 보상을 위해 추가되었으나 커패시터와 변압기가 델타형일 경우 충분히 상쇄되므로 생략 가능하다. 앞서 언급한 것처럼 본 논문에서는 비선형 지역적 부하 연결을 연결에 따른 출력 전압 왜곡 보상을 위해 P+ 다중 공진 제어기를 활용한 캐스케이드 전류-전압 제어기를 제안한다. 제안된 방식은 내부 출력 전압 제어기와 외부 출력 전류 제어기로 구성되며 모든 제어기는 비선형 지역 부하에 의한 전압, 전류 고조파 왜곡을 모두 고려하고자 P+다중 공진 제어기가 활용되었다. 그림 2 는 제안된 캐스케이드 전류-전압 제어기의 전체 제어 방식을 보여준다. 그리드 전압은 제어기가 그리드 전압의 변화에 대응하기 위해 전향 보상되었으며 전류의 지령값을 0 으로 설정하고 스위치를 개방함으로써 위의 제어기는 독립 운전 모드로서 동작되며 이때 모드 절환에도 불구하고 같은 제어기의 사용으로 인해 seamless 모드 절환 역시 가능하다.

### 3. 실험 및 시뮬레이션

이번 장에서는 독립 운전 모드와 계통 연계모드에서의 고조파 보상효과를 검증하고자 각각 실험과 PSIM 시뮬레이션을 통해 제안된 방식을 검증하고자 하였다. 표 1 은 이때의 시뮬레이션 파라미터를 보여준다.

표 1. 캐스케이드 전류-전압 제어기시뮬레이션 파라미터

Parameters		Value	Unit
Single current control gain	P gain	0.05	None
	Resonant gain (1st)	5	None
	Resonant gain (5th)	2	None
	Resonant gain (7th)	2	None
	Cut-off Freq ( $\omega_{1,5,7,cut}$ )	4,20,28	rad/s
Cascaded current-voltage Control gain	Current P gain	0.035	$\Omega$
	Current resonant gain (1st)	0.05	$\Omega$
	Current resonant gain (5th)	0.02	$\Omega$
	Current resonant gain (7th)	0.02	$\Omega$
	Voltage P gain	0.004	None
	Voltage resonant gain (1st)	50	None
	Voltage resonant gain (5th)	10	None
	Voltage resonant gain (7th)	10	None
Cut-off Freq ( $\omega_{1,5,7,cut}$ )	4,20,28	rad/s	

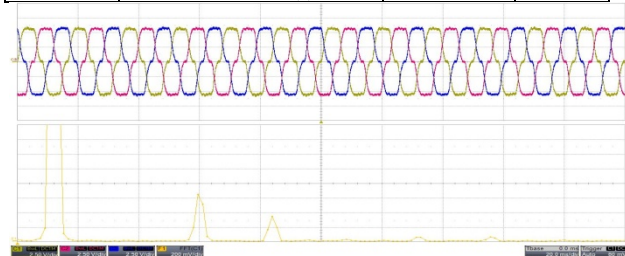


그림 3. PR 전압 제어기 구성시 실험 전압 파형(고조파 보상 X)

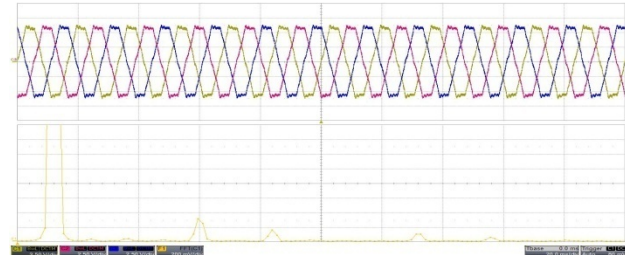


그림 4. P+ 다중 공진 전압 제어기 구성시 실험 전압 파형

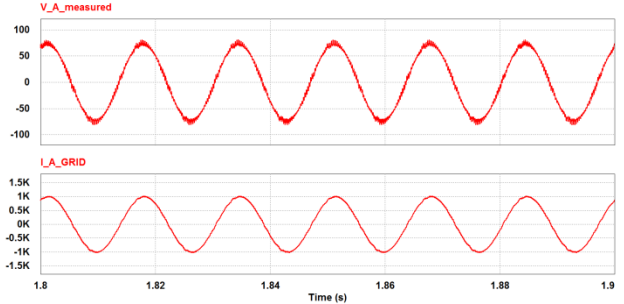


그림 5. 단일 전류 제어기 사용시 전압(위), 전류(아래)파형

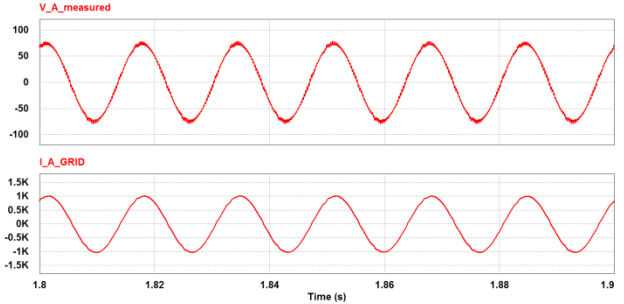


그림 6. 제안된 제어기 사용시 전압(위), 전류(아래)파형

그림 3 과 4 는 각각 독립운전 모드시 기본과 제어만을 사용할때와 고조파 보상을 추가할때의 전압 파형을 보여준다. 전압 THD 는 약 13.5%에서 6.3%로 개선되었다. 그림 5 와 6 은 각각 계통 연계 모드시 단일 전류 제어기를 사용할 때와 제안된 캐스케이드 전류-전압 제어기를 사용할때의 전압과 전류 파형을 보여준다. 보이는 바와 같이 기존 단일 전류 제어기를 사용할 때 THD 는 전압 약 5.61%, 전류 약 1.77%로 다소 높게 나타났다. 하지만 제안된 제어기를 사용하였을 때 출력 전압과 전류의 고조파 보상 모두 고려되어 전압 약 3.56%, 전류 약 1.85%로 기존 단일 전류 제어기 사용시보다 출력 전압이 개선된 형태를 보이며 출력 전류 고조파 보상 또한 적절하게 이루어지고 있음을 보여준다.

### 4. 결론

본 논문은 비선형 지역부하 연결 시 출력 전압 왜곡문제에 대처하고자 계통 연계 모드에서의 캐스케이드 전류-전압 제어기를 제안하였으며 제안된 방식은 기존 단일 전류 제어기에 비해 약간의 전류 THD 손해만으로도 더 나은 출력 전압 고조파 보상 성능도 가짐을 입증하였다.

### 참고 문헌

- [1] Dipankar De and Venkataramanan Ramanarayanan, "A Proportional + Multiresonant Controller for Three-Phase Four-Wire High-Frequency Link Inverter, *IEEE Trns. Power Electron.*, vol.25,no.4.2010
- [2] D. De and V. Ramanarayanan, "Decentralized parallel operation of inverters sharing unbalanced and non-linear loads," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, no. 12, pp. 1126-1132, 2010.
- [3]Tomas Hornik and Qing-Chang Zhong, "Power Quality in Microgrids," *Ph. D. Thesis*, University of Liverpool, 2010.