

# 고조파 필터 및 인버터의 용량을 고려한 분산전원 시스템의 역률 제어에 관한 연구

논 문
58-11-11

## A Study on Power Factor Control of Inverter-based DG System with Considering the Capacity of an Active Harmonic Filter and an Inverter

김 영 진\* · 황 평 익\*\* · 문 승 일†  
(Young-Jin Kim · Pyeong-Ik Hwang · Seung-Il Moon)

**Abstract** - Electric power quality in power transmission/distribution systems has considerably been deteriorated with the increase in the capacity of distributed generators (DGs). It is because inverters, connecting DGs to conventional power grids, tend to generate harmonic current and voltage. For harmonic mitigation, a large amount of research has been done on passive and active filters, which have been operating successfully in many countries. This paper, therefore, presents how to adopt the filters to an inverter-based DG, with considering a system consisting of both inverter-based DG and harmonic filters. In particular, this paper describes the simulation results using the PSCAD/EMTDC: firstly, the relationship between total harmonic distortion(THD) of current and output power of DG; secondly, the harmonic mitigation ability of passive and active filters. The system, furthermore, is obliged to satisfy the regulations made by Korean Electric Power Corporation(KEPCO). In the regulations, power factor should be maintained between 0.9 and 1 in a grid-connected mode. Thus, this paper suggests two methods for the system to control its power factor. First, the inverter of DG should control power factor rather than an active filter because it brings dramatic decrease in the capacity of the active filter. Second, DG should absorb reactive power only in the range of low output power in order to prevent useless capacity increase of the inverter. This method is expected to result in the variable power factor of the system according to its output power.

**Key Words** : Power Quality, DG, Inverter, Active Filter, THD, Power Factor, Capacity of an Active Filter and an Inverter

### 1. 서 론

최근 전 세계적으로 신재생 에너지를 이용한 소규모 분산전원(Distributed Generator)에 대한 관심이 집중되면서, 기존 전력 계통에 연결되는 분산전원의 용량이 지속적으로 증가하고 있다. 특히, 2017년에는 전 세계 풍력 발전기 및 태양광 발전기의 설치 용량이 각각 75,781 MW, 22,760 MW에 이를 것이라고 예상되며, 이는 2003년과 비교하였을 때 각각 9 배와 37 배 이상 증가한 수치이다[1].

전력변환 인버터(Inverter)는 이러한 분산전원을 전력 계통에 연계하기 위해서 필요한 기기로서, 동작 속도가 빠르고 정밀한 제어가 가능한 반면, 비선형적 특성으로 인하여 출력 전류에 고조파를 발생시킨다. 고조파 전류는 정격 출력 전류에 비해 상당히 작은 크기이지만, 주파수에 따라 변동하는 계통 임피던스(Impedance)와 만나서, 계통의 전압에 예측하기 힘든 고조파를 야기할 수 있다. 이는 계통에 연계된 다른 전기기기의 성능에 악영향을 미치는 물론, 보호계전기의 오동작을 유발하며, 인버터 스스로도 고조파에 민감하게 반응하여 동작에 제한을 받는다.

분산전원의 설치 용량이 점점 증가함에 따라서, 분산전원 내 인버터에 의한 고조파는 계통 전체의 전기 품질을 저하시킬 수 있다. 특히, 분산전원의 출력이 낮을수록 고조파로 인한 문제가 더욱 심각한 것으로 보고되었다[2,3]. 풍력과 태양광 등을 이용한 분산전원의 출력이 날씨에 매우 의존적이어서, 분산전원이 하루 중 상당한 시간을 저출력으로 운전될 수 있다는 사실을 고려할 때, 인버터 기반 분산전원의 안정적인 계통 연계를 위한 고조파 저감 대책 마련은 필수적이라 할 수 있다. 고조파를 저감시키는 방법으로는 고조파 필터(Harmonic filter), UPQC(Unified Power Quality Conditioner), 멀티펄스 컨버터(Multipulse converter), 단권변압기 등을 이용하는 다양한 방법들이 지금까지 널리 연구되어 왔다[4,5]. 본 논문에서는 수동 및 능동 필터를 이용하여 고조파를 저감시키고자 한다.

고조파 필터는 고조파 발생원 근처에 가깝게 설치되어 다른 전기기기가 영향을 받기 전에 고조파를 제거하여야 한다. 또한 필터가 고조파 발생원과 근접한 위치에 설치되었을 때, 고조파 저감 효과가 가장 크다[6]. 따라서 인버터 기반의 분산전원과 고조파 필터로 이루어진 통합 시스템의 운영 방안에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 편의상 이러한 통합 시스템을 분산전원 시스템으로 정의하도록 한다.

한국전력공사가 2005년에 제시한 '분산형 전원 배전계통 연계 기술기준'에서는 분산형 전원 발전설비의 역률을 계통 연계지점에서 0.9 이상으로 유지하라고 규정하고 있다[7]. 분산전원 시스템이 이러한 역률 규정을 만족하기 위해서는 고조파 능동 필터 또는 분산전원의 인버터가 역률 제어 기능

\* 준 회원 : 서울대 공대 전기·컴퓨터공학부 석사과정  
\*\* 정 회원 : 서울대 공대 전기·컴퓨터공학부 박사과정  
† 교신저자, 정회원 : 서울대 공대 전기·컴퓨터공학부 교수  
E-mail : moonsi@plaza.snu.ac.kr

접수일자 : 2009년 8월 20일

최종완료 : 2009년 9월 7일

※ 본 논문은 본 학회 2009년 하계학술대회 학술위원회에서 우수논문으로 선정되어 편집위원회 심사 후 본 논문지에 게재 되었음.

을 담당하여야 한다. 이 두 기기 중 어느 것이 역률 제어를 담당하느냐에 따라서 분산전원 시스템이 필요한 고조파 필터의 용량이 큰 차이가 난다. 또한 분산전원의 출력이 따라 역률을 어떻게 제어하는지에 의해서 시스템이 필요한 인버터의 용량이 결정된다.

이에 본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 1 MW의 인버터 기반 분산전원에 의한 고조파 현상을 모델링하고, 이를 검증 및 분석하였다. 또한 고조파를 저감하기 위한 수동 및 능동 필터를 구현하였다. 이를 바탕으로 분산전원의 계통 연계 기술기준 중 역률 및 고조파 규정을 만족하면서, 동시에 능동 필터 및 분산전원의 인버터 용량을 최소화하기 위한 분산전원 시스템의 역률 제어 기법을 제안하였다.

2. 인버터 기반 분산전원의 모델링 및 고조파 분석

2.1 PSCAD/EMTDC를 이용한 PWM 전압형 인버터 모델링

본 논문에서는 PWM 전압형 인버터로 구성된 정격 1 MW, 0.69 kV의 분산전원을 전력계통 동적해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 구현하였다. 분산전원 모델링에 사용된 인버터의 제어 블록은 그림 1과 같다[8].

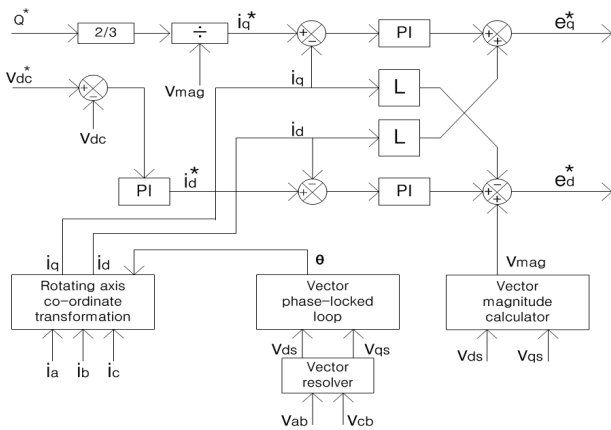


그림 1 분산전원의 PWM 전압형 인버터 제어 블록  
Fig. 1 The control scheme for PWM voltage inverter in a DG

인버터 출력단에 설치된 LC 필터를 통과하여 얻어진 전류( $i_{a,b,c}$ )와 전압( $V_{ab,cb}$ )을 위 제어 블록의 입력 값으로 사용하였으며, 인버터의 스위칭 소자로는 IGBT를 이용하였다. 그림 1의 PWM 인버터 제어에서 d축 전류( $i_d$ )는 DC link 커패시터의 전압( $V_{dc}$ )을 1 kV로 일정하게 유지함으로써 분산전원의 유효전력을 제어한다. 반면에 q축 전류( $i_q$ )는 무효전력을 제어하여 분산전원의 역률을 조정한다.

2.2 분산전원의 인버터에 의한 고조파 측정 및 분석

이와 같은 인버터 모델을 이용하여 구현한 분산전원을, 그림 2에서 보는 것과 같이, 무한 모선을 포함하여 총 9개의 모선으로 구성된 방사형(radial) 계통에 연계하였다. 이 때 인버터 정격 용량의 효율적인 사용을 위해 분산전원이 공급

또는 흡수하는 무효전력은 0으로 제어하였다. 또한 부하(Load 1~3)에 의한 고조파 영향을 배제하기 위하여, 일정한 전력을 소비하는 3상 교류 부하를 이용하여 모의를 진행하였다[9].

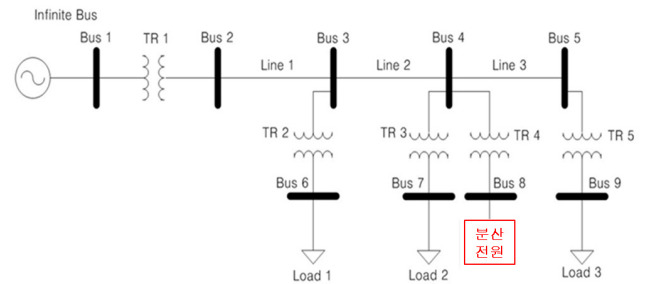


그림 2 인버터 기반 분산전원의 모의용 연계 계통  
Fig. 2 The test system for the designed DG

모의 결과, 분산전원의 전 출력 영역에서 계통 연계지점 (Bus 8)의 전압은 0.97~1.02 pu로, 전압이 ±4 % 이상 변동하지 않도록 규정하는 분산전원 연계 기술기준을 만족한다[5].

또한, 발전모선 Bus 8에서 측정한, 분산전원의 출력에 따른 전류의 THD(Total Harmonic Distortion)는 그림 3과 같다. 그림에서 보는 것과 같이, THD는 분산전원의 출력(P)에 지수 함수로 반비례하여, 저출력일수록 THD가 매우 높게 나타난다. 그림 3의 세로축은 로그 스케일을 적용한 것이다.

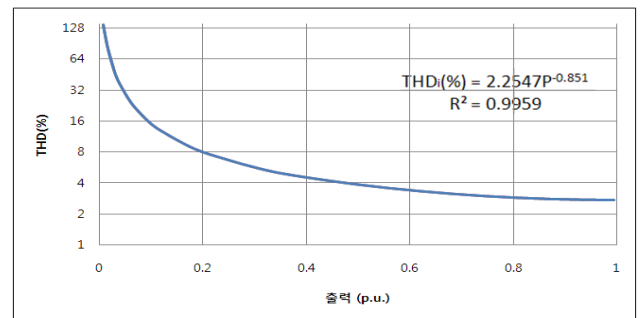


그림 3 Bus 8에서 측정한 분산전원 출력에 따른 전류의 THD(%)  
Fig. 3 THD(%) measured at Bus 8 according to active output power of the inverter-based DG

인버터 기반 태양광 발전기를 포함하는 전력 계통의 경우, 태양광 발전기와 연계지점에서 전류의 THD와 발전기 출력(P) 사이의 관계는 식 (1)과 같이 표현될 수 있다. 또한 현재 대표적인 태양광 발전기용 인버터들에 의해서 발생된 고조파를 실측한 자료를 바탕으로 계산된 식 (1)의 A와 B는 표 1과 같은 값을 가진다[3].

$$THD (\%) = AP_{pu}^{-B} \tag{1}$$

그림 3에서 알 수 있듯이, 앞서 구현한 인버터 기반 분산전원 모델의 THD도 식 (1)과 같은 관계식을 가지며, A와 B는 각각 2.2547과 0.851로, 이는 표 1에 제시된 값과 매우 유사하다.

표 1 대표적인 태양광 발전기용 인버터들의 THD 평균 실측값

Table 1 Statistics of the average values of THD of PV inverters

Inverter	A	B
Sunny Boy 2400	2.6	0.78
Tauro PRM3	2.1	0.85
Sun Profi 2400	2.0	0.77
Ingecon Sun 2500	4.4	0.75
Solete 2500	3.0	0.92

3. 고조파 저감을 위한 수동 및 능동 필터 모델링

3.1 수동 필터 모델링

수동 필터는 선로에 병렬로 연결된 R, L, C 성분으로 고조파 제거와 함께 부하에 무효전력 공급 및 전압 안정도 향상을 위해 사용된다. 일반적으로 수동 필터는 5차, 7차, 11차 이상의 고조파를 제거하는 각각의 필터를 병렬로 연결한 형태이며, 각 필터의 R, L, C 성분의 값은 식 (2)를 통해 얻을 수 있다[10].

$$X_C = \frac{V^2}{Q_c} \quad X_L = \frac{X_C}{h_n^2} \quad X_n = \sqrt{X_L X_C} \quad R = \frac{X_n}{Q} \quad (2)$$

식 (2)에서 V는 연계지점에서의 정격 전압, Q<sub>c</sub>는 수동 필터의 무효전력 보상량, h<sub>n</sub>은 제거하려는 고조파의 차수, Q는 Quality factor를 의미한다. 따라서 수동 필터를 설계하기 위해서는 먼저 차수별 고조파의 발생량을 분석해야 한다. 그림 4는 그림 2의 모의용 계통에서 분산전원의 출력이 정격 1 MW의 5 % 이상 30 % 이하일 때, Bus 8에서 측정된 고조파를 7차, 9차, 11차 이상으로 나누어서, 기본파에 대한 고조파 각각의 상대적 크기를 나타낸 것이다. 그림 4에서 보듯이, 11 차수 이상의 전류 고조파 비중이 다른 차수에 비해 상당히 큰 값을 가지므로, 이를 중점적으로 저감하도록 수동 필터가 설계되어야 한다.

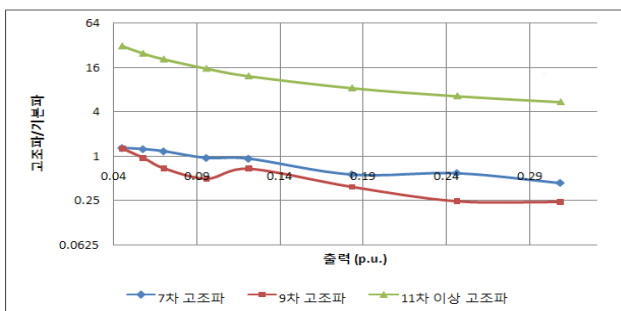


그림 4 Bus 8에서 측정된 분산전원 출력에 따른 차수별 고조파의 크기

Fig. 4 THD of 7th, 9th, and over 11th harmonics resulting from the inverter-based DG

또한, 수동 필터가 공급하는 무효전력에 의한 계통 전압의 과도한 상승을 방지하기 위해서, 수동 필터의 무효전력

총 공급량을 분산전원의 정격 출력 1 MW의 15 %인 150 kVar로 제한하였다. 그 결과, 차수별 고조파 필터의 용량 및 R, L, C 값은 표 2와 같다.

표 2 설계된 수동 필터의 차수별 용량 및 R, L, C 값  
Table 2 The capacity and parameters of passive filters

고조파 필터	용량 (kVar)	R (Ω)	L (mH)	C (μF)
5차	20	-	2.5	111.4
7차	20	-	1.3	111.4
11차 이상	110	1	0.095	612.8

모의용 계통의 발전모선 Bus 8에 분산전원과 함께 수동 필터를 연계한 경우, 인버터에 의한 고조파를 효과적으로 제거할 수 있었으며, 수동 필터 설치에 따른 연계지점의 전압 상승은 0.016 pu에 불과하였다.

3.2 능동 필터 모델링

능동 필터는 분산전원 인버터에 의한 출력 전류의 고조파 제거 및 계통 연계지점에서의 역률 제어의 역할을 담당하고, 연결 방법에 따라 크게 직렬 능동 필터와 병렬 능동 필터로 나누어지며, 이 둘을 동시에 사용하기도 한다[10]. 본 논문에서는 그림 5에서 보는 것과 같이, 수동 필터와 마찬가지로 능동 필터를 계통에 병렬로 연결하였다.

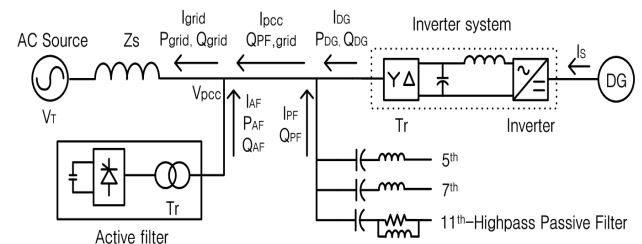


그림 5 인버터 기반 분산전원 및 고조파 필터를 포함한 분산전원 시스템

Fig. 5 The DG system including an inverter and harmonic filters

능동 필터를 모의용 계통의 연계지점에 수동 필터 없이 단독으로 연결한 경우, 분산전원의 출력이 0.1 pu 이상인 영역에서는 고조파가 효과적으로 제거되었다. 반면에, 0.1 pu 이하의 저출력 영역에서는 출력 전류의 THD가 계통 연계 기술기준을 만족하지 못하였는데, 이는 출력 전류에 비해 능동 필터 내부 트랜지스터의 스위칭으로 인한 고조파 전류의 크기가 상대적으로 증가하였기 때문이다[11]. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 논문에서는 그림 5와 같이 수동 필터와 능동 필터의 복합 운영 방식을 사용하였다. 그림 5는 앞서 1장에서 정의하였던, 인버터 기반의 분산전원과 수동 및 능동 필터로 이루어진 분산전원 시스템을 나타낸다.

병렬 능동 필터는 그림 5의 분산전원 시스템에서 연계지점을 지나는 전류(I<sub>grid</sub>)의 파형이 정현파가 되도록 한다. 이를 위해 사용하는 병렬 능동 필터의 제어 블록은 그림 6과 같다[12].

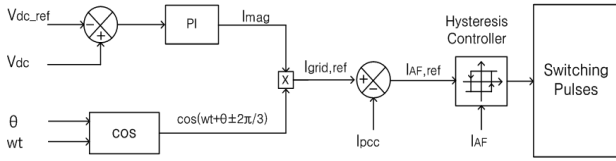


그림 6 능동 필터의 제어 블록  
Fig. 6 The control scheme for an active filter

그림 6에서 능동 필터는  $I_{AF,ref} = I_{grid,ref} - I_{dcc}$ 의 관계식을 바탕으로 히스테리시스 제어 방식을 이용한다. 이 때  $I_{grid}$ 의 크기는 능동 필터의 DC link 커패시터 전압( $V_{dc}$ )을 일정하게 유지할 수 있는 값으로 결정된다. 또한  $I_{grid}$ 의 위상각( $\theta$ )은 연계지점의 역률 제어 방법에 따라 달리 결정되는데, 이는 4장에서 자세히 살펴보기로 한다.

4. 분산전원 시스템의 역률 제어

한국전력공사가 규정한 분산전원 연계 기술기준에 의하면, 연계지점에서의 역률은 0.9와 1 사이에서 유지되어야 한다[5]. 그림 7은 그림 5의 분산전원 시스템에서 유효전력 및 무효전력의 흐름을 보여준다. 고조파 필터가 공급하는 유효전력은 분산전원의 출력( $P_{DG}$ )에 비해 무시할 정도로 작으며, 편위상 화살표 방향을 양의 방향으로 정의하였다.

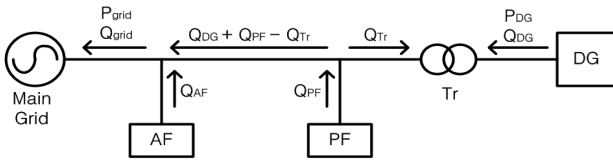


그림 7 분산전원 시스템에서의 유효전력과 무효전력의 흐름  
Fig. 7 Active and reactive power flows in the DG system

$$Q_{grid} = Q_{DG} + Q_{AF} + Q_{PF} - Q_{Tr} \tag{3}$$

$$= Q_{DG} + Q_{AF} + 150 - \alpha P_{DG}$$

식 (3)은 그림 7에서 계통에 유입되는 무효전력( $Q_{grid}$ )을 계산한 것이다. 식 (3)의 두 번째 등식에서 비례상수  $\alpha$ 는 분산전원의 출력( $P_{DG}$ )이 높을수록 인버터 시스템의 변압기( $Tr$ )가 흡수하는 무효전력( $Q_{Tr}$ )도 커지는 것을 나타낸다. 일반적으로 능동 필터의 용량이 수동 필터의 용량보다 작으며, 또한 분산전원 인버터의 정격 용량을 효율적으로 이용하고, 인버터로 인한 손실을 줄이기 위하여 분산전원의 무효전력( $Q_{DG}$ )을 0으로 제어하는 경우, 식 (4)가 성립한다.

$$Q_{grid} \cong 150 - \alpha P_{DG} \tag{4}$$

식 (4)는 수동 필터가 일정하게 공급하는 무효전력 150 kVar로 인하여, 특정 출력 이하에서는 분산전원 시스템의 역률이 0.9 이하가 되는 것을 보여준다. 모의 결과, 분산전원의 출력에 따른 역률은 그림 8과 같다. 따라서 연계 기술기준을 만족하기 위해서 고조파 능동 필터 또는 분산전원의 인버터에 의한 분산전원 시스템의 역률 제어가 필요하다.

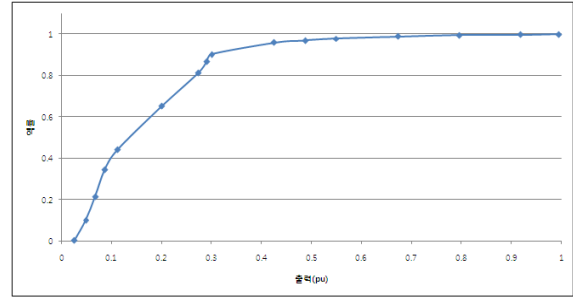


그림 8 분산전원의 출력에 따른 분산전원 시스템의 역률  
Fig. 8 Simulation results of power factor according to active output power of the DG system

4.1 역률 제어 방법에 따른 능동 필터의 용량 산정

능동 필터의 손실을 고려하지 않았을 경우, 역률 제어 방법에 따라 능동 필터가 공급 또는 흡수해야 하는 무효전력 ( $|Q_{AF}|$ )을 표 3에 수식적으로 나타내었다.

표 3 분산전원 시스템의 역률 제어 방법에 따른 능동 필터의 용량

Table 3 The capacity of the active filter according to different power factor control methods

역률 제어	$\theta$	$ Q_{AF} $
능동 필터	$\angle V_{dc} + \delta$	$ Q_{PF} - Q_{Tr} - P_{grid} \tan \delta + Q_h $
분산 전원	$\angle I_{dcc}$	$ Q_h $

$Q_{Tr}$ 은 그림 5의 인버터 시스템 내부의 변압기에 의해서 흡수되는 무효전력을,  $Q_h$ 는 고조파 저감을 위해서 능동 필터가 공급 또는 흡수하는 무효전력을 의미한다. 또한  $\theta$ 는  $I_{grid}$ 의 위상각을,  $\delta$ 는  $I_{grid}$ 와  $V_{dcc}$  사이의 위상차를 의미한다.

분산전원의 출력이 같을 때, 두 역률 제어 방법 모두에서  $Q_h$ 는 비슷한 수준이다. 그러므로 연계지점의 역률을 능동 필터가 제어하는 경우, 일부 출력 영역을 제외한 대부분의 출력 영역에서 능동 필터가 훨씬 더 많은 무효전력을 공급 또는 흡수해야 한다. 이는 분산전원 시스템이 필요로 하는 능동 필터의 용량이 매우 증가한다는 것을 의미한다.

그림 9는 모의 결과 분산전원의 출력에 따라 능동 필터가 흡수 또는 공급하는 무효전력의 크기를 역률 제어 방법별로 보여준 것이다. 능동 필터 및 인버터의 손실과  $Q_h$ 의 영향을 무시하면, 그림 9는 표 3의 식을 이용하여 이론적으로 계산하여 얻은 그래프와 매우 유사하다. 그림 9에서 알 수 있듯이, 능동 필터가 고조파 저감뿐만 아니라 역률 제어까지 담당할 경우, 분산전원 시스템을 전 출력 영역에서 역률 1로 운전하기 위해서, 능동 필터의 용량은 약 130 kVar 이상이 필요하다. 또한 역률을 0.9로 운전할 경우에는 약 360 kVar 이상이 소요된다. 반면에, 분산전원이 역률을 제어하고, 능동 필터는 고조파 저감의 역할만을 담당할 때, 능동 필터는 약 12 kVar 정도의 용량만으로도 분산전원의 전 출력 영역에서 고조파를 제거하기에 충분하다. 따라서 능동 필터의 용량을 최소화하기 위해서는 능동 필터가 아닌, 분산전원의 인버터가 연계지점의 역률을 제어하여야 한다.

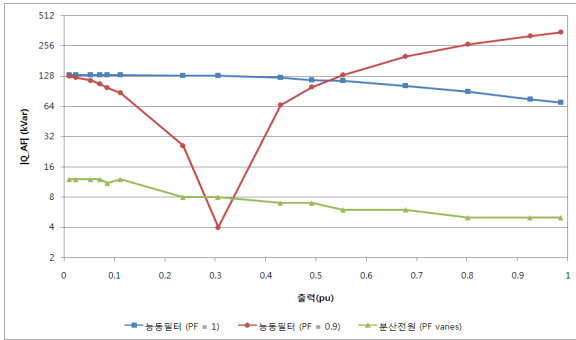


그림 9 분산전원 출력과 역률 제어 방법에 따른 능동 필터의 용량

Fig. 9 Simulation results of the capacity of the active filter

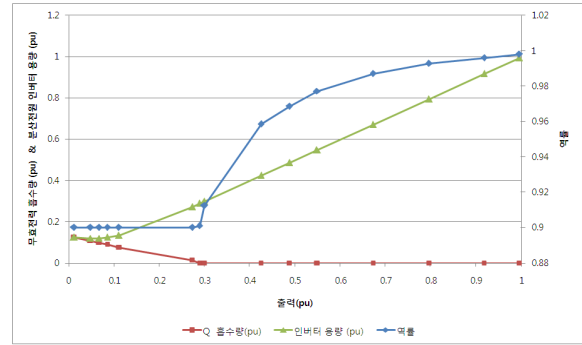


그림 10 분산전원 인버터의 용량을 고려한 역률 제어시 출력에 따른 무효전력 흡수량, 역률 및 인버터 용량

Fig. 10 Simulation results of the proposed power factor control method

#### 4.2 분산전원의 인버터 용량을 고려한 무효전력 제어

분산전원의 인버터에 의한 연계지점의 역률 제어시, 분산전원은, 앞서  $Q_{DG}$ 를 0으로 제어한 경우와 달리, 계통의 무효전력을 흡수하여야 한다. 이 때 분산전원이 흡수하는 무효전력과 분산전원 인버터의 용량은 각각 식 (5)와 (6)과 같다.

$$-Q_{DG} = Q_{PF} + Q_{AF} - Q_{Tr} - Q_{grid} \quad (5)$$

$$|S| = \sqrt{P_{DG,max}^2 + (Q_{PF} + Q_{AF} - Q_{Tr,full-load} - P_{grid,max} \tan \delta)^2} \quad (6)$$

식 (6)에서 알 수 있듯이, 분산전원 시스템이 출력에 상관없이 일정한 역률을 유지할 경우, 인버터의 용량은 분산전원의 최대 출력( $P_{DG,max}$ )보다 큰 값을 가져야 한다. 즉, 고정 역률을 사용하는 분산전원 시스템의 최대 출력이 1 MW일 때, 인버터의 용량은 1 MVA 이상이 필요하다.

따라서 연계 기술기준 중 역률 규정을 만족함과 동시에 인버터의 용량을 최소화 하기 위해서, 인버터가 분산전원의 출력( $P_{DG}$ )에 따라 무효전력( $Q_{DG}$ )을 다르게 제어하는 방식을 제안한다. 즉, 역률이 0.9 이상을 만족하는 출력 영역에서는 인버터가 분산전원에 의해서 흡수되는 무효전력을 0으로 제어한다. 반면에 역률이 0.9 이하로 감소하는 출력 영역에서는 수동 필터에 의해 공급되는 무효전력( $Q_{PF}$ )을 분산전원이 일부 흡수하도록 제어하여, 연계지점의 역률을 0.9 이상으로 유지한다. 이와 같이 저출력 영역에서만 분산전원이 무효전력을 흡수하도록 하여 분산전원 시스템을 가변 역률로 운영할 때, 필요한 인버터의 용량은  $P_{DG,max}$  와 같다.

그림 10은 이와 같은 무효전력 제어 방법을 이용하여 모의한 결과로서, 분산전원 출력에 따른 무효전력 흡수량 및 역률을 나타낸다. 역률이 0.9 이하로 감소하는 0.27 pu 이하의 출력 영역에서는 분산전원이 무효전력을 흡수함으로써, 역률을 0.9로 유지한다. 이 때 인버터를 통과하는 피상전력은 다소 증가하지만, 이는 인버터의 용량 1 MVA에 영향을 미치지 않는다.

그림 11은 분산전원 시스템이 이와 같은 역률 제어 기법을 이용하였을 때, 연계지점 Bus 8에서 측정된 전류의 THD를 나타낸 것이다. 그림 3과 비교하면, 전 출력 영역에서 수동 및 능동 필터가 고조파를 크게 저감한 것을 알 수 있다.

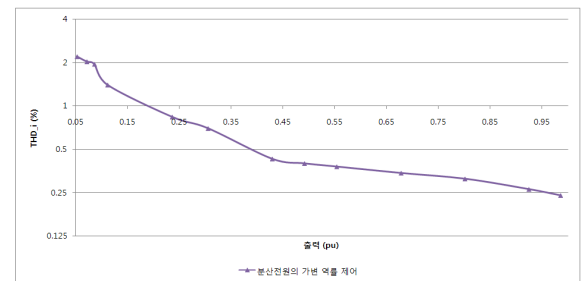


그림 11 고조파 필터로 인한 출력에 따른 전류 THD(%)의 감소

Fig. 11 THD(%) measured at Bus 8 according to active output power of the DG system

### 5. 결 론

본 논문에서는 계통 연계형 인버터 기반 분산전원의 모델을 구현하여, 출력에 따른 THD를 측정하였다. 또한 이를 검증하기 위한 수동 및 능동 필터를 설계하였고, 분산전원 시스템의 역률 제어 방법에 따른 능동 필터의 용량을 살펴 보았다. 그 결과, 능동 필터는 고조파 저감을, 분산전원의 인버터는 역률 제어를 각각 담당하도록 제어하였을 때, 능동 필터의 용량을 크게 감소시킬 수 있었다. 또한 인버터의 용량을 증가시키지 않으면서, 동시에 한국전력공사가 제시한 역률 제약조건을 만족하기 위해서, 저출력 영역에서만 분산전원이 수동 필터의 무효전력 공급량 일부를 흡수하도록 하는 방법을 제안하였다. 마지막으로 이와 같은 가변 역률 제어 방법을 이용하여, 분산전원 시스템을 모의 계통에 연계 운전하였을 때, THD를 측정하여 수동 및 능동 필터가 분산전원의 인버터로 인한 고조파를 효과적으로 저감하였음을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 에너지자원인력양성사업의 지원으로 명지대학교 분산전원복합운용연구센터를 통해 수행된 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.



참 고 문 헌

[1] Joel Makower, Ron Pernick, "Clean Energy Trends 2008", Clean Edge, 2008

[2] J. Thongpron, et al., "Study of a PV - Grid Connected System on its Output Harmonics and Voltage Variation", Asian J. Energy Environ., Vol. 5, pp. 59-73, 2004

[3] M. Sidrach-de-Cardona, J. Carretero, "Analysis of the current total harmonic distortion for different single-phase inverters for grid-connected pv-systems", Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 87, pp. 529-540, May 2005

[4] Alex Domijan, Jr., E. Embriz-Santander, "Harmonic Mitigation Techniques for The Improvement of Power Quality of Adjustable Speed Drives(ASDs)", Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1990. APEC '90, Conference Proceedings 1990., Fifth Annual, pp. 96-105, March 1990

[5] Bhim Singh, G. Bhuvaneswari, Vipin Garg, "Harmonic Mitigation Using 12-Pulse AC-DC Converter in Vector-Controlled Induction Motor Drives", IEEE Transactions on power delivery, Vol. 21, pp. 1483-1492, July 2006

[6] 이동원, 여상민, 김철환, "배전 계통에서 단상 컨버터에 의한 고조파 영향 분석 및 저감 대책에 관한 연구", 2009 대한전기학회 전력기술부문회 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 76-78, 2009

[7] 한국전력공사 배전처 "분산형 전원 배전계통 연계 기술기준", 2005

[8] C. Schauder, H. Mehta, "Vector analysis and control of advanced static VAR compensators", IEE PROCEEDINGS-C, Vol. 140, pp. 299-306, July 1993

[9] Z. Lubosny, Wind Turbine Operation in Electric Power Systems: Advanced Modeling, Springer, Jan. 2003.

[10] Jos Arrillaga, Neville R. Watson, Power System Harmonics, Wiley, Dec. 2003

[11] 김영진, 황평익, 문승일, "능동 필터와 수동 필터를 이용한 태양광발전의 고조파 저감 기법의 비교", 2009 대한전기학회 전력기술부문회 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 64-66, 2009

[12] Jayanti Navilgone Ganesh, "Unified power quality conditioner for grid integration of wind generators", Ph. D. thesis, School of Electrical Engineering Systems, Dublin Institute of Technology, 2008.

저 자 소 개

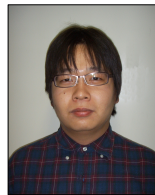


김 영 진 (金永眞)

1981년 8월 30일생. 2007년 서울대 전기컴퓨터공학부 졸업. 2008년~현재 동대학원 석사 과정.

Tel : 02-880-7257

E-mail : carpediem@powerlab.snu.ac.kr



황 평 익 (黃珲益)

1981년 2월 16일생. 2006년 서울대 물리학과 졸업. 2006년~현재 동대학 전기컴퓨터공학부 석박사 통합 과정.

Tel : 02-886-3101

E-mail : hpi@powerlab.snu.ac.kr



문 승 일 (文承逸)

1961년 2월 1일생. 1985년 서울대 전기공학과 졸업. 1989년, 1993년 미국 Ohio State Univ. 석사, 박사학위 취득. 1993년~1997년 전북대학교 조교수, 1997년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수

Tel : 02-880-1821

E-mail : moonsi@plaza.snu.ac.kr