

마이크로그리드의 단독 운전시 전력품질 향상에 관한 연구

정태영\*, 백영식\*\*

경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 전력계통연구실

Improvement of the quality of power in Microgrid system which is operating in islanding mode

Taeyoung Jyung\*, Youngsik Baek\*\*

Powersystem Lab. Graduate school of electrical engineering and computer science Kyungpook national university

**Abstract** - 마이크로그리드 시스템은 계통측에 문제가 발생하게 되면 계통과 분리되어 독립운전 모드로 동작하게 된다. 이때 마이크로소스들은 계통운전원의 제어신호 없이 빠르게 마이크로그리드 내 부하들의 전력수요를 담당하여야 하며, 전력품질을 유지하면서 운전되어야 한다. 이 논문은 마이크로그리드가 독립운전 모드로 전환하여 운전되거나 독립운전 모드에서 부하 변동이 발생될 경우, 주파수를 일정하게 유지하면서 마이크로소스와 부하와의 전력수급 균형을 맞추기 위한 제어 방법을 제시하였다. 그리고 마이크로그리드에의 적용가능성을 알아보기 위하여 전력계통 과도현상 분석용 수치해석 프로그램인 EMTP/RV를 이용하여 모델링하고 시뮬레이션 하였다.

경우 주파수 변동은 기기의 오동작을 초래할 수도 있다. 이 논문에서는 마이크로그리드의 운전모드나 부하변동에 관계 없이 일정한 주파수를 유지하며, 인버터의 정격 출력 범위내에서 부하 분담운전이 가능한 마이크로소스의 제어를 제안하였다. 제안된 마이크로소스 제어기는 전력계통 과도현상 분석용 수치해석 프로그램인 EMTP/RV를 이용하여 모델링하였다. 그리고 시뮬레이션을 통하여 마이크로그리드에의 적용 가능성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 선진국을 비롯한 국내에서도 배전계통에 신재생에너지 전원의 도입을 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 미국, 유럽, 일본등 선진국에서는 신재생에너지 전원으로 구성된 소규모 전력공급시스템인 마이크로그리드에 대한 연구가 진행되어 왔다. 마이크로그리드는 계통에 연계되어 부하에 전력을 공급하게 되며, 필요에 따라 독립운전이 가능하도록 충분한 용량을 가진 2대 이상의 마이크로소스(MicroSource)와 저장장치, 그리고 부하가 혼재된 하나의 독립적인 전력망으로 정의한다[5][11]. 마이크로그리드는 어떠한 형태의 에너지 전원도 마이크로그리드 계통에 연결시킬 수 있어야 하며, 새로운 에너지 전원의 추가로 인해 보호협조, 신뢰도, 전력품질 문제 등 기존 계통의 운용에 영향을 주지 않아야 한다. 그리고 계통측 사고로 인한 보호기기의 동작으로 마이크로그리드가 계통과 분리되면, 마이크로소스들은 마이크로그리드 내 부하들의 전력수요를 담당하여야 하며 전력품질을 유지하면서 운전되어야 한다[6].

마이크로소스의 유효전력-주파수 droop제어는 마이크로그리드가 독립운전 모드로 운전될 경우, 외부에서의 제어 신호없이 빠르게 부하를 분담하여 출력을 변경하게 된다. 하지만 유효전력-주파수 droop제어의 경우 출력증가에 따라 주파수가 하강하는 특성을 가지기 때문에 약간의 주파수 변동을 감수하여야 한다. 그러나 전압, 주파수에 대한 고품질 전력공급이 요구되는 민감부하의

2. 본 론

2.1 마이크로소스의 제어시스템

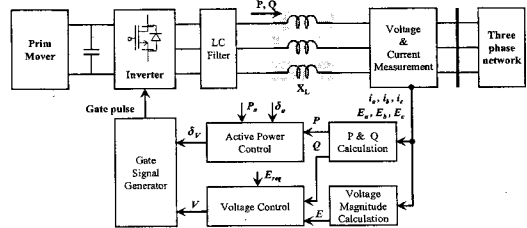


그림 1. 마이크로소스의 전체 제어 구조

인버터는 DC 를 AC로 변환하며 마이크로소스 운용의 주요 핵심부이다. 인버터 제어기는 마이크로그리드 운전 모드에 따라서, 그리고 마이크로그리드 내 부하변동에 효과적으로 응답할 수 있도록 설계하여야 한다. 특히 마이크로소스는 전압원으로 작동하므로 마이크로그리드에 연결되기 위하여 계통연계용 인덕터( $X_L$ )가 필요하다[7]. 이때 마이크로소스로부터 마이크로그리드로 전달되는 유효전력( $P$ ) 및 무효전력( $Q$ )은 식(1)~(3)으로 나타낼 수 있다[2].

$$\delta_p = \delta_v - \delta_E \quad (1)$$

$$P = \frac{VE}{X_L} \sin(\delta_p) \quad (2)$$

$$Q = \frac{V^2 - VE}{X_L} \cos(\delta_p) \quad (3)$$

여기서,  $\delta_p$  : 부하각(power angle),  $V$  : 인버터의 출력전압,  $E$  : 계통전압

식(1)~(3)과 같이 유효전력은 부하각  $\delta_p$ 에, 무효전력은 인버터의 출력전압 V의 크기에 의존하므로 전압형 인버터의 출력전압 크기와 위상을 제어함으로써 마이크로소스의 출력을 제어할 수 있게 된다[5].

## 2.2 유효전력 제어

마이크로그리드가 계통과 연계되어 운전될 경우 각 마이크로소스는 유효전력 출력 지시량에 따라 일정한 출력을 하여야 하며, 독립운전 모드에서는 자동으로 출력의 재조정량을 결정하여야 한다.

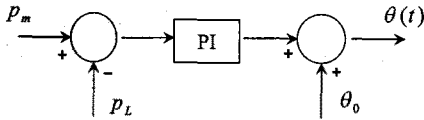


그림 2. 유효전력 제어기

그림 2. 는 마이크로그리드에 공급되는 유효전력을 제어하는 제어기블록도이다[8]. 이것은 다음 식 (9)로 나타낼 수 있다.

$$\theta(t) = (K_p + \frac{1}{sT_p})(P_m - P_L) + \theta_0 \quad (9)$$

여기서  $P_m$ 은 마이크로소스의 유효전력 출력 지시량,  $P_L$ 은 측정된 유효전력량,  $\theta_0$ 는 계통의 위상각이다. 이 제어 방식은 주파수는 일정하게 유지되지만 다수기의 마이크로소스가 병렬 운전 될 경우 유효전력의 부하분담 운전이 불가능하여 인버터의 정격출력을 초과하여 운전될 수 있다. [그림 6]

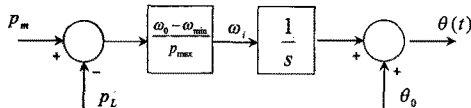


그림 3. 유효전력-주파수 droop 제어기

그림 3. 은 전력-주파수 droop을 이용한 유효전력 제어기 블록도이다[4]. 이 블록은 기존의 동기발전기에 사용되던 전력-주파수 droop 제어원리를 인버터 제어에 적용한 것으로 수식으로 표현하면 식(10)~(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega_i = \frac{\omega_0 - \omega_{\min}}{P_{\max}}(P_m - P_L) \quad (10)$$

$$\theta(t) = \theta_0 + \int_0^t \omega_i(t) dt \quad (11)$$

마이크로그리드가 계통과 연계운전 시 계통에서 유효전력을 공급받는 경우, 계통과 분리되어 독립운전 모드로 운전될 경우 마이크로그리드는 과부하 상태가 되어 주파수가 떨어지게 된다. 제어시스템에서는 droop 설정치에 비례해서 연료제어 기준 신호를 증가시켜준다. droop 제어는 출력증가에 대해 주파수가 하강하는 특성을 가진다. [그림 7]

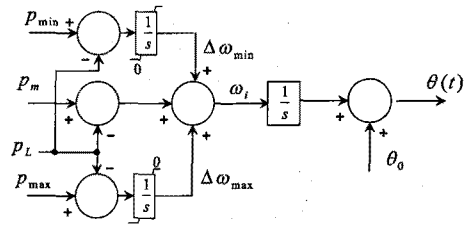


그림 4. 제안된 유효전력 제어기

그림 4. 는 제안된 유효전력 제어기의 블록도이다. 이것은 다음 식 (12)와 같이 나타 낼 수 있다.

$$\theta(t) = \theta_0 + \int_0^t [(P_m - P_L) + \Delta\omega_{\max} + \Delta\omega_{\min}](t) dt \quad (12)$$

제안된 제어기는 독립운전 모드의 마이크로그리드 내에 다수기의 마이크로소스가 병렬 운전할 경우, 인버터의 정격 유효전력 출력을 초과하여 운전되는 마이크로소스의 유효전력 출력값을 인버터의 정격으로 제한하고 부족한 유효전력은 다른 마이크로소스에서 공급하게 해준다.

## 2.3 사례 연구

제안된 제어기는 마이크로그리드에의 적용 가능성을 검증하기 위하여 그림 5. 와 같이 EMTP/RV를 이용하여 마이크로소스와 마이크로그리드를 모델링하고 시뮬레이션 하였다. 모델링된 마이크로그리드는 14kW의 용량을 가지는 2기의 부하와 15kW 11.25kVar의 용량을 가지는 2기의 마이크로소스로 구성되어 있다. 마이크로소스의 전력계산, 전압크기 계산, 전압 및 유효전력 제어는 기존 논문[4][6]을 참고하였고, PWM 스위칭 인버터 모델이 아닌 이상적인 인버터 모델[8]을 기반으로 시뮬레이션 하였다.

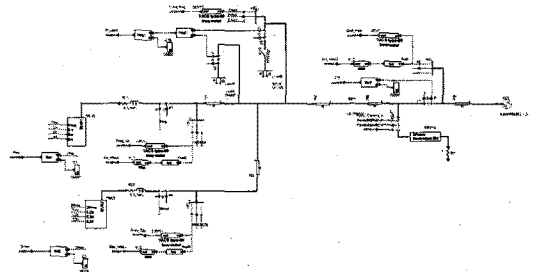


그림 5. 마이크로그리드의 EMTP/RV 모델

시뮬레이션은 다음과 같이 가정하였다. 최초 마이크로그리드는 계통과 연계되어 운전되며, 부하는 14kW이다. 각 마이크로소스는 0.6p.u. 와 0.8p.u. 의 유효전력 출력 지시에 따라 운전되며, 부하의 수요를 초과하는 유효전력은 전력계통으로 공급된다. 5초에 계통측에 사고가 발생하여 2cycle 후 차단기가 동작하고 독립운전 모드로 전환되게 된다. 독립운전 모드에서 8초에 마이크로그리드내의 부하가 28kW로 증가된다.

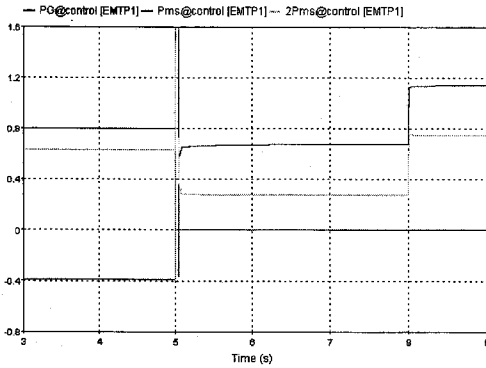


그림 6. 유효전력 출력 : 유효전력 제어기

기존의 유효전력제어를 이용한 시뮬레이션의 결과는 그림 6. 과 같다. 마이크로그리드와 계통과의 연계운전시 유효전력 출력지시량에 따라 정상적으로 출력이 되고 있으며, 계통의 사고로 인하여 독립운전 모드로 전환시 계통으로 공급되던 유효전력만큼 각 마이크로소스의 출력이 정상적으로 감소하였다. 하지만 부하가 증가하였을 경우 한기의 마이크로소스가 인버터의 출력 정격을 넘는 것을 볼 수 있다.

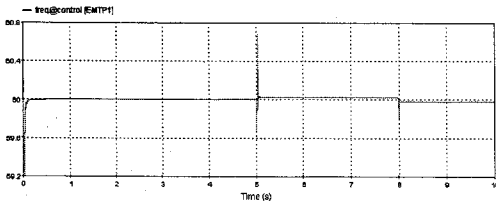


그림 7. 마이크로그리드 주파수 : 전력-주파수 droop

전력-주파수 droop을 사용할 경우 droop 설정치에 따라 각 마이크로소스의 출력변화량을 조정하여 인버터의 정격 출력 범위 안에서 분담 운전을 할 수 있지만 그림 7. 에서와 같이 약간의 주파수 증가나 감소를 감수해야 한다.

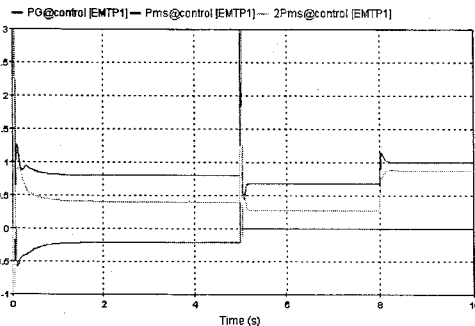


그림 8. 유효전력 출력 : 제한된 유효전력 제어기

제한된 유효전력 제어기는 8초에 부하가 증가하였을 때 그림 8. 과 같은 특성을 보여준다. 1기의 마이크로소스는 출력이 인버터 정격으로 제한되고, 부족한 유효전력은 나머지 마이크로소스에서 출력을 증가시켜 부하

와 전력 수급균형을 맞추게 된다. 아래 그림 8. 은 제한된 제어기를 사용하여 시뮬레이션 하였을 때, 마이크로그리드의 주파수를 보여준다.

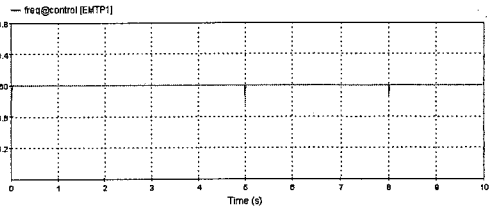


그림 8. 마이크로그리드 주파수 : 제한된 유효전력 제어기

### 3. 결 론

마이크로그리드가 계통과 분리되어 독립운전으로 전환될 경우, 또는 독립운전 시 부하가 증감할 경우 마이크로소스의 제어방식에 따라 마이크로그리드의 주파수 변동이 발생하거나 인버터의 정격 유효전력 출력을 초과하여 운전되는 것을 알 수 있었다. 제한된 마이크로소스의 제어기는 사례연구를 통하여 주파수 변동없이 인버터의 정격 유효전력 출력 범위내에서 운전되는 것을 알 수 있었다. 이것은 3상 평형 시스템을 가정한 이상적인 인버터 모델에서의 시뮬레이션 결과이며, 마이크로소스의 경제적인 운전을 고려하지 않았다. 앞으로 3상 불평형 시스템과 실제 전원의 모델링을 포함한 인버터의 스위칭 모델을 시뮬레이션 하고자 한다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성 사업의 연구결과입니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] R. H. Lasseter and P. Piagi, "Microgrid : A conceptual Solution", PESCC'04, Aachen, Germany, June 20-25, 2004.
- [2] P. M. Anderson and A. A. Fouad, "Power system control and stability", IEEE Press, 2003.
- [3] J. D. Glover and M. S. Sarma, "Power system analysis and design", Brooks/Cole, 2002.
- [4] R. H. Lasseter and P. Piagi, "Control and Design of Microgrid Components, PSERC Publication, 2006.
- [5] R. H. Lasseter, "Microgrid", IEEE PES Winter Meeting, January, 2002.
- [6] T.Y. Jyung, K.Y. Kwon, Y.S. Baek, and K.M. Son, "On the modeling and simulation of PMSM based Microsource for operation in a Microgrid, ICEE Conference, Japan, Jul.6-10, 2008
- [7] Venkataramanan, G. Iiindala, M "Microgrids and sensitive loads", Power Engineering Society Winter Meeting, 2002. IEEE, Volume : 1, 27-31 Jan. 2002.
- [8] R. H. Lasseter and P. Piagi, "Providing premium power through distributed resources", IEEE, Hawaii international conference on system sciences, 2000.
- [9] Northern Power System Inc., Waltsfield, VT [http://www.northernpower.com/pdf/pr\\_Microgrid.pdf](http://www.northernpower.com/pdf/pr_Microgrid.pdf)
- [10] R. H. Lasseter and P. Piagi, "Providing premium power through distributed resources", IEEE Conference, Hawaii, Jan 4-7, 2000.
- [11] EMTP-RV Help Docs, <http://www.emtp.com>