

마이크로그리드의 운용 알고리즘에 관한 연구

박 현석, 노 대석
한국기술교육대학교
e-mail: dsrho@kut.ac.kr

A Study on the Operation Algorithm for Micro-Grid

Hyeonseok Park, Daeseok Rho
Korea University of Technology and Education

요 약

최근, 이러한 주변정세는 차세대의 배전계통이 다수의 Micro-grid들로 구성될 것이라고 하는 예상을 전문가들로부터 제기되기에 이르렀다. 그러나 제안된 Micro-grid는 몇몇의 분산전원과 전력품질을 보상하는 기기, 그리고 통신제어설비와 부하들로 구성된다는 기본적인 내용에 지나지 않는다. 본 논문에서는 소형동기발전기(Micro Synchronous Generator), PWM컨버터, 대용량 커패시터, PWM인버터, SSB(Solid State Breaker) 로 구성되는 Micro-grid의 Topology와 모델링 방법, 그 운전 알고리즘을 제안하고, 이를 시뮬레이션을 통하여 제안된 Micro-grid의 기능을 검증하기로 한다.

1. 서 론

전력산업의 구조개편과 더불어 분산전원의 배전계통연계운용 및 전력품질이 전력회사의 배전사업자, 구역전기사업자, 전기공급 신뢰도와 밀접한 관계에 있는 산업용 수용가들에게 많은 관심을 불러일으키고 있다. 최근, 이러한 주변정세는 차세대의 배전계통이 다수의 Micro-grid들로 구성될 것이라고 하는 예상을 전문가들로부터 제기되기에 이르렀다. 그러나, 제안된 Micro-grid는 몇몇의 분산전원과 전력 품질을 보상하는 기기, 그리고 통신제어설비와 부하들로 구성된다는 기본적인 내용에 지나지 않는다. 따라서, 본 논문에서는 수용가에 고신뢰 고품질의 전력공급을 가능하게 하는 차세대 전력공급네트워크인 Micro-grid의 Topology와 그 운전 알고리즘을 제안한다.

구조는, 평상시에는 연계되어 있는 전력계통과 전력을 쌍방간 거래를 할 수 있고, 비정상상태시에는 그 원인을 신속하고 확실히 검출하여 연계계통과 분리됨과 동시에 Micro-grid 구내부하에 대하여서는 독립적으로 전력을 안정하게 공급할 수 있는 형태로 하였다. 물론, 이것은 분산전원의 계통연계조건도 만족해야 한다. 여기서 말하는 비정상상태시란 연계계통상의 각종 사고로 순시전압저하(Voltage sag), 순시전압상승(Voltage swell), 순시정전(Interruption), 단독운전(Islanding) 현상 등이 발생된 상태를 의미한다.

따라서, 상기와 같은 기능의 Micro-grid를 실현하기 위해서 소형동기발전기(Micro Synchronous Generator), PWM컨버터, 대용량 커패시터, PWM인버터, SSB(Solid State Breaker) 및 부하로 구성되는 그림 1의 점선 내와 같은 Micro-grid의 기본구조를 제안한다.

2. Micro-grid의 기본구조(Topology)

본 논문에서 제안하고자 하는 Micro-grid의 기본

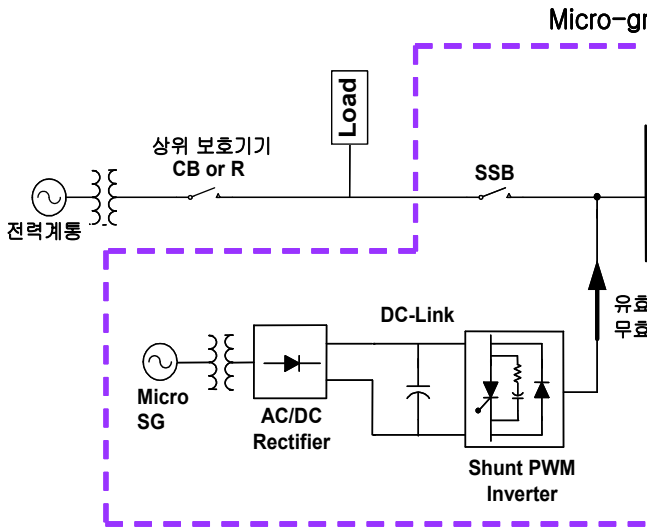


그림 1. 제안된 Micro-grid의 기본 구조(Topology)

기본적 동작으로서는 먼저 동기발전기에 의하여 발전된 교류전력이 AC/DC 정류기를 통과하여 비교적 대용량 커패시터 DC link에 저장되는 데, 이 DC Link는 발전기와 인버터간의 에너지버퍼 역할을 담당하게 된다. 그 다음에 연결되어 있는 병렬 PWM 인버터는 공급된 직류전력을 상용주파수의 교류전력으로 변환시켜 연계된 전력계통에 유효전력공급, 무효전력 및 고조파 보상운전, Micro-grid 총괄제어도 겸하게 한다. 한편, 연계계통과 Micro-grid의 접속점인 연계점(Point of Common Coupling)에 설치되어 있는 SSB(Solid State Breaker)는 비정상 상태에서 나타나는 순시저전압, 순시과전압, 순간정전, 과주파수, 부족주파수 등의 현상을 검출하는 보호기능 갖추고, 이의 검출시 즉시 계통과 해열하고, 이를 인버터의 총괄제어반으로 신호를 보내도록 한다. 이 때, 연계계통이 정상상태로 복귀되었을 때, 이를 감지하여 인버터 제어반에 알리고 제어신호를 받아 연계계통에 동기투입 한다.

3. Micro-grid의 운용 알고리즘

Micro-grid는 분산전원과 같이 기존의 전력계통에 연계될 경우, 다음의 기본 조건을 만족해야한다.

- a. 전압, 주파수의 허용범위 내에서 연계계통이 정상적으로 운전될 경우, 연계 운전할 수 있되, 역조류도 허용되나, 비정상상태시는 역 조류가 허용되지 않는다.
- b. 연계계통의 전력품질을 저하시키는 안 된다.
- c. 연계계통의 사고 시, 즉시 분리되도록 한다.

- d. 연계계통으로부터의 전원공급이 중지되었을 경우, 즉시 분리되도록 한다.

상기의 기본 조건에서 먼저, a와 b의 경우에 대해서 살펴보도록 한다. Micro-grid는 전원과 부하와 기타 보상제어장치 등으로 구성되어, 구내부하에 항상 고신뢰 고품질의 전력을 공급해야함과 동시에 필요에 따라서는 재정적 수익을 위하여 연계계통과 전력을 거래하여야 하므로 Micro-grid로부터 연계계통으로 전력을 판매하는 역 조류가 허용되어야 한다. 이러한 정상상태의 연계운전에서는 연계계통의 전력품질을 저하시켜서는 안 되므로 역률유지를 위한 무효전력보상, 고조파 왜율 유지를 위한 고조파 보상 등의 운전기능이 필요하다. 그러나, 비정상상태 발생시는 이를 즉각적으로 중지할 필요가 있다. c의 경우는 Micro-grid로부터 계통 고장점에 대한 고장전류의 공급이 이루어지므로 기존 계통의 보호방식에 영향을 미쳐 신속한 고장 구간의 분리를 불가능하게 한다. d의 경우는 사고 직후 상위 차단기(CB 또는 리클로우저)의 재폐로 직전 및 선로유지보수시의 인위적 선로차단상태 시 발생할 수 있는 Micro-grid의 전력공급에 의한 단독운전상태 방지를 위해서 필요하다. 이와 같은 연계계통의 비정상상태 시 상기의 조건들을 만족하기위해서 IEEE Std. 1547 및 한국전력 분산전원 계통연계기준에서는 비정상상태시 계통으로부터 즉각 분리되도록 하는 조건을 표 1과 같이 제시하고 있다.

표 1. 비정상상태 시 나타나는 전압에 대한 분산전원의 연계계통분리시간

전압 범위 (기준 전압에 대한 비율 %)	분리 시간 (초)
$V < 50$	0.16
$50 \leq V < 88$	2.00
$110 < V < 120$	1.00
$V \geq 120$	0.16

전술의 분산전원 계통연계조건을 만족하면서 Micro-grid 구내부하에 대하여서는 항상 고신뢰 고품질의 전력을 공급할 수 있는 다음과 같은 2가지의 운전모드를 제안한다.

(1) 연계운전모드

정상상태에서는 Micro-grid 구내 및 연계계통에

전력을 공급하되, 연계점에서의 역률 및 고조파 왜율을 규정범위내로 유지하기 위하여 무효전력 보상 및 고조파보상운전을 동시에 수행하도록 인버터를 제어한다. 이 때, 소용량 마이크로 동기발전기의 출력제어는 인버터가 요구하는 대로 출력을 낼 수 있도록 하는 부하추종운전의 정주파수 운전모드로 한다. 한편, 계통에서 발생하는 비고의적 단독운전현상을 검출하는 기능으로서 무효전력변동을 최대치 5%인 삼각파형태로 주어 0.5초내로 검출하여 SSB로 하여금 계통과 분리되도록 한다.

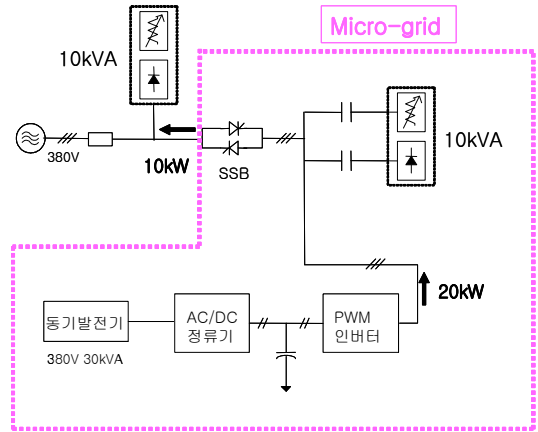


그림 2. 시뮬레이션 대상의 Micro-grid 계통

(2) 독립운전모드

순시저전압, 순시과전압, 순간정전, 과주파수, 부족주파수의 현상이 발생할 경우 이를 즉각 검출하여 SSB에 의하여 1/2 사이클 이내 연계계통과 분리되도록 하고, 인버터는 즉각 Micro grid 구내부하를 담당하여 운전할 수 있는 정전압정주파수의 부하추종운전모드로 전환한다. 이 때, 소용량 마이크로 동기발전기의 출력제어는 연계 운전모드와 동일하게 한다.

따라서, 본 논문의 Micro-grid의 운전제어 알고리즘을 다음과 같이 정리될 수 있다.

<Step 1> Micro-grid는 정상상태에서 연계운전모드로 운전하되, 역조류 및 출력제어를 수행한다. 역률조정을 위한 무효전력제어, 고조파보상을 위한 고조파보상운전을 병행한다.

<Step 2> 전압이상 또는 비고의적 단독운전을 검출하게 되면 SSB에 분리하도록 명령하고, 인버터 독립운전모드로 전환한다.

<Step 3> 정상상태가 검출되면 SSB 투입되면서 연계운전모드로 전환하여 운전한다.

4. 시뮬레이션 및 결과 분석

모델계통은 그림 2를 기준으로 하여 PSCAD/EMTDC로 모델링 하였고, 그 회로정수는 다음의 표와 같이 하였다.

표 2. Micro-grid 및 연계계통의 회로정수

전원전압	380V, 60 Hz	
전원측 임피던스	0.001 Ω, 10 mH	
직류커패시터	3300 μF	
DC 기준전압	700 V	
인버터 필터 L, C	600 μH, 40 μF	
Micro-grid 구내부하 (10kVA)	다이오우드정류기부하 R, L	20 Ω, 1 mH
	선형부하 R, L	40 Ω, 50 mH
계통측 부하 (10kVA)	다이오우드정류기부하 R, L	20 Ω, 1 mH
	선형부하 R, L	40 Ω, 50 mH

시뮬레이션 대상의 운전상태는 먼저 Micro-grid 구내부하(Pload) 10 kW, 계통측부하 10kW를 연계계통에서 모두 공급하는 것으로 하였다. 이 때에는 그림 3에서 Micro-grid인버터출력(Pinv)이 0kW, 연계점에서 Micro-grid 쪽으로 공급하는 전력(Psrc)가 10kW임을 알 수 있다. 점차로 Micro-grid인버터 출력이 증가하여 Pinv 20kW일 경우, Micro-grid 쪽에서 연계계통으로 공급하는 전력이 10kW 즉, Psrc가 -10kW(역조류)으로 됨을 알 수 있다.

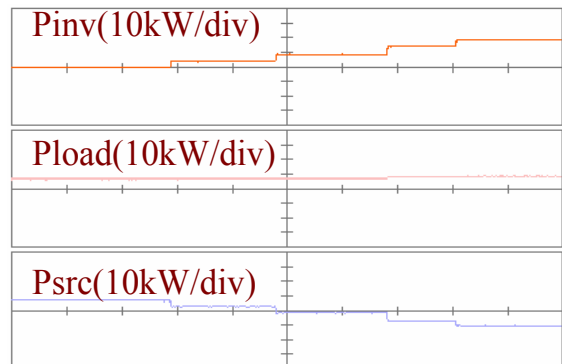
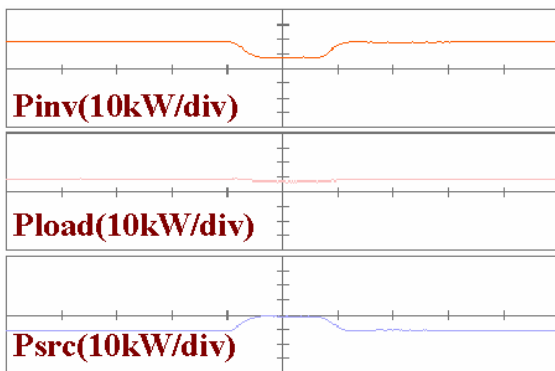
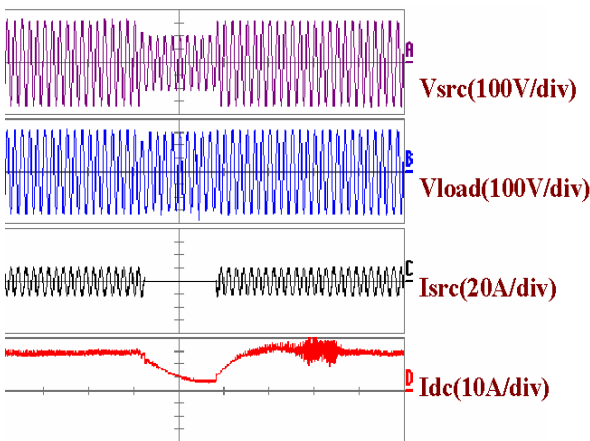


그림 3. Micro-grid의 출력특성

그림 4에서는 역조류 10kW가 있는 상태에서 약 10 사이클의 순시전압강하가 발생하였을 시, 1/2사이클 내로 Micro-grid 는 연계계통과 분리되어 구내부하에 계속적으로 전력을 공급할 수 있는 독립운전상태로 운전되고 있음을 보이고 있다. 그림 (a)에서는 Pinv 20kW으로 운전하고 있는 상황에서 순시전압저하 발생시 계통과 분리되면서 그 독립운전출력이 10kW로 감소되고, 다시 정상복귀되었을 경우 다시 20kW로 연계운전하고 있음을 알 수 있다. 그림 (b)는 연계계통전압(Vsrc), Micro-grid 구내부하전압(Vload), 연계점에서의 전류(Isrc), DC link 전류(Idc)를 각각 나타내고 있다.



(a) 전력의 변화특성



(b) 전압의 변화특성

그림 4. 연계계통 30% 순시전압강하 후 복귀시 Micro-grid 계통의 운전특성

5. 결론

본 논문에서는 정상시에는 연계되어 있는 전력계통과 전력을 쌍방간 거래를 할 수 있고, 비정상상태 시에는 그 원인을 신속하고 확실히 검출하여 연계계

통과 분리됨과 동시에 Micro-grid 구내부하에 대하여서는 독립적으로 전력을 안정하게 공급할 수 있는 형태의 Micro-grid 운전 알고리즘을 제안하였다. 그리고, 제안된 Micro-grid를 모델계통에 연계하여 정상시 및 비상시에 대한 시뮬레이션을 수행함으로써 연계운전 및 독립운전시 안정하게 전력을 공급할 수 있음을 제시하였다.

참고문헌

- [1] J. Hasegawa, et al., "FRIENDS에 있어서의 전력 개질센터의 내부구성", 일본전기학회 논문지B, 118-B권 11호, pp. 1292-1301, 1998.
- [2] 기초전력공학공동연구소, 다품질배전시스템에 관한 기초연구, 중기-01, 2000. 9.
- [3] Kundur. P, Power System Stability and Control, Chapter 4, McGraw-Hill Inc, 1993
- [4] Gish. W.B, "Small induction generator and synchronous generator constants for DSG isolation studies," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.1, April 1986, pp. 231-239.
- [5] H. Akagi, Y. Kanazawa, and A. Nabae, "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components," IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 1A-20, No.3, May/June 1984, pp. 625-630.